



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



AKILLI KONTROL YÖNTEMLERİ İLE
TRAFİK SİNYALİZASYON KONTROLÜ

Anas A. M. HARB

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Anabilim Dalı

Ağustos-2019

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Anas A. M. HARB tarafından hazırlanan “Akıllı Kontrol Yöntemleri ile Trafik Sinyalizasyon Kontrolü” adlı tez çalışması 06/09/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan
Prof. Dr. Mehmet CUNKAŞ

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Hakan TERZİOĞLU

Üye
Prof. Dr. Cemil SUNGUR

İmza







Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK
Enstitü Müdürü

Dr. Öğr. Üyesi Akif DURDU bu tez çalışmasının ikinci danışmanıdır.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all materials and results that are not original to this work.

İmza

Anas A.M. HARB

Tarih: 06.09.2019



ÖZET

YÜKSEK LİSANS

AKILLI KONTROL YÖNTEMLERİ İLE TRAFİK SİNYALİZASYON KONTROLÜ

Anas A.M. HARB

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hakan TERZİOĞLU

2019, 63 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Hakan TERZİOĞLU

Prof. Dr. Cemil SUNGUR

Prof. Dr. Mehmet CUNKAŞ

Ulaşım araçları, insanların ihtiyaçlarını ve mallarını bir alandan diğer bir alana taşımak amacıyla kullanılan araçları ifade eder. Bu araçlar, eski çağlardan günümüz zamanına kadarki tüm araçları içerir. Trafikteki araç sayılarının artması, kullanılan yollar ,etrafındaki alanların yetersizliği ve bu yolların genişletilememesi veya alt/üst yollar yapılamaması sebebiyle akıllı trafik sinyalizasyon sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde, trafik sistem mekanizmalarının sabit zamana bağlı olması sebebiyle trafik kontrolü yeterli değildir. Zaman kaybını ve ekonomik sorunları engelleyebilmek için birtakım akıllı yöntemler ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmada dört yollu bir kavşaktaki trafik ışıklarının akıllı denetimi için günün belirli saatlerinde toplanmış gerçek verilere dayanarak Bulanık Mantık (BM) yönteminin ve Petri Ağlarının (PA) uygulaması yapılmıştır. BM'nin ve PA'nın performansları, klasik (sabit süreli) performansları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre hem ekonomi hem de zaman açısından petri ağ yöntemi nin en iyi sonucu verdiği görülmüştür. PA 755 sn'de 849 araç, BM 910 sn'de 375 araç ve klasik yöntemde 920 sn'de 341 araç geçişi gerçekleştiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Mantık, Trafik Işıkları Kontrolü, Akıllı trafik Sinyalizasyonu, Petri Ağları, sabit süreli trafik kontrolü.

ABSTRACT

MS/THESIS

TRAFFIC SIGNALING CONTROL WITH INTELLIGENT CONTROL METHODS

Anas A.M. HARB

Konya Technical University

Institute of Graduate Studies Department of Electrical - Electronic Engineering

Advisor: Asst. Prof. Dr. Hakan TERZİOĞLU

Year, 63 Pages

Jury

Asst. Prof. Dr. Hakan TERZİOĞLU

Prof. Dr. Cemil SUNGUR

Prof. Dr. Mehmet CUNKAŞ

Means of transport, used to transport people's needs and goods from one area to another. These tools include all the tools from ancient times to the present. Intelligent traffic signaling systems are needed due to the increase in the number of vehicles in the traffic, the insufficiency of the areas around the roads used and the inability to expand these roads or lower / upper roads. At present, traffic control is not sufficient due to the fixed time of the traffic system mechanisms. A number of intelligent methods have emerged to prevent time loss and economic problems.

In this study, Fuzzy Logic (BM) method and Petri Nets (PA) were applied based on the actual data collected at certain times of the day for intelligent control of traffic lights at a four-way intersection. The performances of the BM and PA were compared with the classical (fixed-time) performances. According to the results obtained, both the economy and the time of the petri-net method is seen in the first place. Then the fuzzy logic method and finally the classical method were observed. According to the results obtained, both the economy and the time of the petri netting method gave the best results. It was observed that 849 vehicles were passing in PA 755 s, 375 vehicles in BM 910 s and 341 vehicles in 920 s in the conventional method.

Keywords: Fuzzy Logic, Traffic Lights Control, Intelligent Traffic Signaling, Petri Nets, fixed time traffic control.

ÖNSÖZ

Çalışma konusu seçiminde, çalışmanın planlanmasında ve değerlendirilmesinde büyük katkılarını gördüğüm, engin bilgilerinden yararlandığım danışman hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Hakan Terzioğlu ve Dr. Öğr. Üyesi Akif DURDU'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca çalışmam süresince ilgi ve desteklerini esirgemeyen tüm aileme teşekkür ediyorum.

Anas A.M. HARB
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER TABLOSU	ix
TABLolar LİSTESİ	x
KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	4
3. TRAFİK IŞIKLARI VE TARİHÇESİ	10
3.1. Trafik Işıklarının Tarihçesi	10
3.2. Trafik Kontrol ve Koordinasyonu.....	11
3.2.1. Trafik kontrol çeşitleri	11
3.2.1.1. Sabit zaman kontrolü	11
3.2.1.2. Dinamik kontrol	12
4. BULANIK MANTIK DENETLEYİCİSİ	14
4.1. Bulanık Mantık Denetleyicilerin Tercih Sebepleri	15
4.2. Klasik Kümeler	16
4.3. Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonları	18
4.4. Bulanık Mantık Üzerindeki İşlemler	20
4.4.1. Birleşim ‘OR’	20
4.4.2. Kesişim ‘AND’	21
4.4.2. Tümlleme	21
4.5. Bulanık Mantık Unsurları	22
4.5.1. Bulanık kontrol kuralları.....	23
4.4.2. Bulanık çıkarım.....	24
4.4.2. Durulaştırma	26
4.4.2.1. En büyüklerin ortası yöntemi (EBO).....	26
4.4.2.2. Ağırlık merkezi yöntemi (AM).....	27
4.4.2.3. İki Bölümlü Alan Merkezi Yöntemi (İBAM).....	27
5. PETRİ AĞLARI	29

5.1. Petri Ağının Tanımı	31
5.2. Geçiş Ateşleme Kuralı	33
5.3. Petri Ağlarının Temel Parçaları	34
5.4. Petri Net Grafiği.....	36
5.5. İşaretli Petri Ağları.....	37
5.6. Petri Ağ Özellikleri	38
5.6.1. Erişilebilirlik	38
5.6.2. Güvenlik.....	39
5.6.3. Canlılık.....	39
5.6.4. Sınırlılık Özelliği	40
5.6.5. Kapsanabilirlik Özelliği	40
5.6.6. Süreklilik Özelliği	40
5.7. Zamanlanmış Petri Ağları (TPN).....	42
5.8. Renkli Petri Ağları	42
5.9. Stokastik Petri Ağları.....	43
6. MATERYAL VE YÖNTEM.....	44
6.1. Bulanık Mantık Yöntemi ile Akıllı Trafik Sinyalizasyonunun Çalışması.....	44
6.1.1. Bulanıklaştırma	45
6.1.2. Kural Tabanı	47
6.1.3. Durulaştırma	49
6.2. Petri Ağlar Yöntemi ile Akıllı Trafik Sinyalizasyonunun Çalışması	49
6.2.1. Petri Net Grafiğinin Çalışma Prensipleri	51
7. BULGULAR VE TARTIŞMALAR	53
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	58
KAYNAKLAR	59

ŞEKİLLER TABLOSU

Şekil 4.1. Bulanık mantık ile boole mantık arasındaki fark	15
Şekil 4.2. Bir üniversitede klasik fakülte üyeleri.....	17
Şekil 4.3. Üçgen üyelik fonksiyonu.....	19
Şekil 4.4. Yamuk üyelik fonksiyonu.....	19
Şekil 4.5. Gaussian üyelik fonksiyonu.....	20
Şekil 4.6. Bulanık birleşim işlemlerinin grafiksel gösterimi.....	21
Şekil 4.7. Bulanık kesişim işlemlerinin grafiksel gösterim.....	21
Şekil 4.8. Tümlleme işleminin grafiksel gösterimi.....	22
Şekil 4.9. Bulanık mantık denetleyicisi.....	22
Şekil 4.10. Bulanık operatörlerin geometrik gösterimi.....	23
Şekil 4.11. EBO durulaştırma yönteminin gösterimi.....	27
Şekil 4.12. Ağırlık merkezi durulaştırma yönteminin gösterimi.....	27
Şekil 4.13. İBAM durulaştırma yönteminin gösterimi.....	28
Şekil 5.1. Kapalı-Açık geçişi için durum geçiş şeması.....	30
Şekil 5.2. Kapalı-Açık geçişi için Petri net grafiği.....	31
Şekil 5.3. Durum 1 için ateşleme öncesi ve sonrası.....	35
Şekil 5.4. Durum 2 için ateşleme öncesi ve sonrası.....	35
Şekil 5.5. Durum 3 için ateşleme öncesi ve sonrası.....	35
Şekil 5.6. Durum 4 için ateşleme öncesi ve sonrası.....	36
Şekil 5.7. Petri net grafik örneği.....	36
Şekil 5.8. Petri ağları ile H ₂ O, suyun moleküler formülü.....	41
Şekil 6.1. Sıhha kavşağı.....	44
Şekil 6.2. Sistemin cadde seçimi için Mamdani tip bulanık mantık modeli.....	45
Şekil 6.3. Cadde seçiminde giriş üyelik fonksiyonları.....	46
Şekil 6.4. Cadde seçimi için çıkış üyelik fonksiyonları.....	47
Şekil 6.5. Yeşil ışık süresi için giriş üyelik fonksiyonları.....	47
Şekil 6.6. Cadde seçimi için kural tabanı.....	48
Şekil 6.7. Yeşil ışık süresi için kural tabanı.....	48
Şekil 6.8. Petri ağı yöntemiyle tek kavşak kontrolü.....	50
Şekil 6.9. Tek kavşak için petri net grafiği.....	51
Şekil 6.10. Petri ağının başlangıç işlemi.....	51
Şekil 6.11. Trafik kontrol beyin kısmı.....	52

TABLULAR LİSTESİ

Çizelge 4.1. Klasik mantık-bulanık mantık arasındaki temel farklılıklar.....	18
Çizelge 6.1. Araçların sayısına göre yoğunluk ayırımı.....	45
Çizelge 7.1. Birinci çalışma, saat 12:00 Sıhha kavşağındaki caddelere ait 20 devir için bulanık mantık yöntemiyle elde edilen veriler.....	53
Çizelge 7.2. İkinci çalışmada, saat 16:00 Sıhha kavşağındaki caddelere ait 20 devir için bulanık mantık yöntemiyle elde edilen veriler.....	54
Çizelge 7.3. Üçüncü çalışmada, saat 20:00 Sıhha kavşağındaki caddelere ait 20 devir için bulanık mantık yöntemiyle elde edilen veriler.....	54
Çizelge 7.4. Birinci çalışma, saat 12:00 Sıhha kavşağındaki caddelere ait 20 devir için petri ağ yöntemiyle elde edilen veriler.....	55
Çizelge 7.5. İkinci çalışma, saat 16:00 Sıhha kavşağındaki caddelere ait 20 devir için petri ağ yöntemiyle elde edilen veriler.....	55
Çizelge 7.6. Üçüncü çalışma, saat 20:00 Sıhha kavşağındaki caddelere ait 20 devir için petri ağ yöntemiyle elde edilen veriler.....	56
Çizelge 7.7. Birinci çalışma, saat 12:00 Sıhha kavşağındaki caddelere ait 20 devir için klasik yöntemiyle elde edilen veriler.....	56
Çizelge 7.8. İkinci çalışma, saat 16:00 Sıhha kavşağındaki caddelere ait 20 devir için klasik yöntemiyle elde edilen veriler.....	57
Çizelge 7.9. Üçüncü çalışma, saat 20:00 Sıhha kavşağındaki caddelere ait 20 devir için klasik yöntemiyle elde edilen veriler.....	57
Çizelge 8.1. Sonuçların karşılaştırılması	58

KISALTMALAR

BM	: Bulanık Mantık
PA	: Petri Ağları
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
Sn	: Saniye



1. GİRİŞ

Bir grup insanın, kapalı bir odada sıcak bir tartışmaya girdiğini hayal edelim. Diyaloğu yürütecek kimse olmadığı takdirde bu tartışma büyük sorunlara dönüşebilir. Böyle bir kontrol dışı durumda, sadece gürültü ve rastgele oluşan çığlıkları duyacaksınız. Bunun nedeni, odadaki herkesin aynı anda sırasını başkasına çevirmek istemesi ve her birinin diğer taraftaki bireylerin ne istediğini düşünmeden ve kendilerini ifade etmesine imkan tanımadan kendi görüşünü dayatmaya çalışmasıdır. Böyle bir atmosferde, bahsedilen tartışmanın neticesi ancak büyük bir kavgadır. Şimdi, aynı durumun yollarda meydana geldiğini düşünelim ve odadaki insanları basit şekilde, işlek kavşakta bulunan bir grup araçla değiştirelim. Eğer insanlar araçlarını yolda seyir eden diğer araçlara dikkat etmeden rastgele kullanırlarsa, bu durum; kazalara neden olabileceği gibi, ağır yaralanmalar, kalıcı hasarlar veya ölümlerle sonuçlanan felaketleri beraberinde getirebilir. Yol koordinatörlerinin rolünü oynayan trafik lambaları, yolda otomobillerin akışını kontrol etmekte ve meydana gelebilecek kazaların önlenmesine yardımcı olmaktadır.

Hava kirliliğine neden olan yapay kaynaklar; ısınmaya dayalı hava kirliliği, sanayiye bağlı hava kirliliği, motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliği şeklinde üç başlık altında toplanabilir. Her üç kaynaktan da, özellikle fosil yakıtların (petrol ve petrol ürünleri, kömür ve doğalgaz) kullanılması sonucunda oluşan gazlar atmosfere karışmaktadır. Atmosfere karışan gazların %80-85'i fosil yakıtlardan kaynaklanmaktadır. Fosil yakıtların oluşturduğu karbondioksit gazı (CO₂), günümüzde en çok araçlardan salınmaktadır. Motorlu taşıtlardan çıkan gazlar, atmosfere salınan karbondioksitin %31'ini oluşturur. Bu gaz nedeniyle ekolojik sistem bozulmakta, insanların ve diğer canlıların hayatına, yaşam alanlarına ciddi derecede zarar gelmektedir. Zararların azaltılması adına fosil yakıtların gereksiz tüketiminin minimum seviyeye indirilmesi gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda çeşitli çalışmalar tasarlanmış ve uygulamaya konulmuştur. Trafik tıkanıklık halini gösterdiğinde, bekleyen araçlardan salınan CO₂, hareket halindeki araçlara oranla daha fazla hava kirliliğine sebep olmaktadır. Benzinli ya da dizelli araçlar 100 km'de 100gm CO₂ salınım yapmaktadır. Günde 100 km'lik yol yapan araç ise 10 kg CO₂ salınım yapmaktadır (Ford, 2018).

Trafik ışıkları sürücülerin ve yayaların bildiği evrensel bir dil olmakla beraber şekilleri değişebilir; ancak sarı, kırmızı ve yeşil renkleri tartışılmaz. Trafik tıkanıklığı,

trafik ışıkları keşfedilmeden önce, insanlar ulaşım için binek hayvanları kullandıklarındaki zamana kadar uzanmaktadır. Bu tıkanıklığı önlemek veya en az seviyeye indirmek amacıyla 1860'ta İngiliz demiryolları Şirketi'nin yöneticisi John Pick Knight, trenin durmasını veya hareket etmesini sağlayacak bir demiryolları sistemi önermektedir (Elaf, 2016). Ancak sistemin parçası lamba, bir polis memuru yüzünde patlayınca, "insan hayatı güvenliği" gerekçesiyle tüm proje yaklaşık 40 yıl boyunca durdurulmuştur. 20. yüzyılın başında ise, Amerika Birleşik Devletleri'nde otomobillerin yaygın bir şekilde üretilmeye ve kullanılmaya başlanması üzerine, trafik yoğunluğu ortaya çıkmış, kazalar ve hasarların hızla artmasıyla güvenliğin sağlanması amacıyla acil bir sisteme ihtiyaç duyulmuştur. Bunun üzerine bilim insanları yeni bir düzen keşfetmek amacıyla bazı teoriler geliştirmeye başlamışlardır. 1910'da Amerikalı mucit Ernest Serene tarafından otomatik bir kontrol sistemi tanıtılmıştır. 1912'de polis Leicester Farnsworth Weir tarafından elektrik sinyalleri icat edilmiştir. Weir'in fikri, kavşakların ortasındaki trafiği düzenlemek için dört yönden elektrik sinyallerini içeren bir sütun yerleştirilmesi ve bu sütunun elektrik gücünü sokaktaki direklerden çekmesi sağlanarak, sinyallerin manuel olarak çalıştırılmasıydı. Weir ile birlikte sinyallerin gelişimi için birkaç mucit tarafından çalışmalar devam etmiş, en sonunda William Butch isimli bir polis, "sürücülerini uarmak için turuncu ışık" fikrine ulaşmıştır.

Toplu taşıma araçlarına olan rağbetin azalması ve trafikte kişisel araba sayısının artmasıyla birlikte trafik yoğunluğu oluşmaktadır. Yoğunluk, özellikle nüfusun fazla olduğu metropol kentlerde ciddi sorunları beraberinde getirir. Ekonomik sorunlar, hava kirliliğinin artması ve yaşam kalitesini önemli derecede düşürmesi gibi pek çok açıdan insan hayatını sekteye uğratmaktadır.

Trafik tıkanıklığı çözümü için ortak bir yaklaşım; yollar ve köprüler gibi daha fazla altyapı oluşturmaktır. Bununla birlikte, son yıllarda altyapı oluşturmak gittikçe zor hale gelmektedir. Zorluğun sebebi; sadece yüksek maliyetler değil, aynı zamanda gittikçe azalan alanlar ve yeni yollar inşa edilmesinin çevreye verdiği zararlardır. Zararların azaltılması düşüncesinden yola çıkarak sinyalizasyon sistemleri, hem zaman hem de enerji sarfiyatının önüne geçebilecek bir yöntem olarak önerilmektedir. Araç yoğunluğuna göre süreler belirleyebilen bu sinyal sistemi, trafik tıkanıklığı ve yoğunluğunun kontrol edilmesi açısından önemli görülmektedir. Karayolu trafiğinin kontrol edilmesinde öncelikli amaç, yaya ve taşıt emniyetinin tesis edilmesi ve trafik kazalarının önlenmesidir. Bunun yanı sıra, ulaşım sorunlarının neden olduğu sosyal ve ekonomik problemlerin çözümündeki önceliklere bağlı olarak; gecikmelerin azaltılması,

ortalama ulaşım hızının artırılması ve yakıt tüketiminin azaltılması gibi daha birçok fayda da amaçlanabilir. Bütün bu amaçlara ulaşmaya çalışmak, trafiğin kontrolü ile elde edilmek istenen yararları maksimum seviyeye çıkarmak anlamına gelmektedir.

Trafik lambalarının literatürdeki karşılığı; trafiğin durması, devam etmesi, çakışan yönler için trafik öncelik hakkının düzenlenmesi için yönlendirilen bir elektrik kontrol cihazıdır. Trafik lambalarının koordineleri üzerine çeşitli çalışmalar yapılmış olup halen bu çalışmaların tasarımı ve uygulaması devam etmektedir. Çalışmalar üzerine yoğunlaşanlar bazı trafik lambası modelleri geliştirmişlerdir. Modellerden birisi kuyruk trafik lambası modelidir. Bu modelde araçlar trafik ışıklarıyla kontrol edilen bir kavşağa varır, ardından bir sıra oluşturur.

Zamanlama planlarını iyileştirmek amacıyla kaydedilen verilere dayanarak geliştirilen bugünkü geleneksel denetleyiciler, artık zamana göre değişen trafik yoğunluğu ve yolda artan araç sayısı nedeniyle trafik kavşaklarındaki tıkanıklığı ve bu tıkanıklığın kötü sonuçlarını önlemeye çözüm olamamaktadır. İnsan düşüncesine uyum sağlayarak ulaşımı yönlendirecek trafik denetleme mekanizmaları, Bulanık mantık, PLC ve Petri net ağları gibi teknikler kullanılarak tasarlanmaktadır.

Bu tezde 4 yollu bir kavşağın trafik ışıkları için hem akıllı denetleyiciler, hem de klasik (sabit zaman) denetleyicisi ile kontrol çalışması yapılmıştır. Akıllı denetleyici olarak bulanık mantığı ve petri ağları kullanılmıştır. Bulanık mantığında, Mamdani sistem modellemesi esas alınmıştır. İkinci yöntem ise MATLAB programında bulunan petri ağları araçları ile yapılmıştır. Bu iki yöntem sayesinde araba sayısına göre yolu seçip yeşil ışığın süresinin değişiminin sağlandığı gözlemlenmiştir. Sabit zaman yöntemiyle trafik ışıklarının dört kavşak için belli bir sırayla yanıp sönmesi gözlenmiştir. Sonuç olarak tek kavşak için üç yöntemde elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda petri ağlarının, Bulanık mantık ve klasik yöntemlere göre daha iyi bir sonuç verdiği ve daha çok aracın geçiş sağladığı görülmüştür.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu tezin konusuyla ilgili olarak literatürde bulunan bazı akademik çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Öztürk ve Bektaş (2004) çalışmasında, Ankara şehrinin merkezindeki kavşakların sabah ve akşam saatlerindeki trafik yoğunluğu gözlenmiştir. Yoğunluğun azaltılması amacıyla araçların bekleme süresini azaltabilmek, devir süresi ve yeşil süresi tayin edebilmek için matematiksel bir model geliştirilmiştir (Öztürk & Bektaş, 2004).

Murat (1996) çalışmasında, trafik tıkanıklığını önlemek için, Denizli’de bulunan “Topraklık Kavşağı” ve “Vilayet Kavşağı”ndaki trafik yoğunluğunun zirve yaptığı sabah ve akşam saatlerinde, araç sayımı yapılmıştır. Sayım sonuçları dikkate alınarak, ilgili kavşaklar için optimum sinyal süreleri belirlenmiştir. Bu süreler Topraklık kavşağı için 89 sn ve Vilayet kavşağı için ise 103 sn olarak belirlenmiştir (Murat, 1996).

Demirci (2007)’nin çalışmasında, dört yönlü bir trafik kavşağı sinyalizasyon sistemi, bulanık mantık yöntemi ile yapılmıştır. Çalışmada, trafik yoğunluğu elektronik devreler ile sanal olarak oluşturulmuş ve deney sistemi bu düzenek ile denenmiştir. Çalışma sonucunda, sadece sabah trafiğinde normal trafik sinyalizasyonu, bulanık mantık denetimi ile yapılan trafik sinyalizasyonuna göre gecikme ve bekleme parametrelerinde % 19’luk bir üstünlük sağlamıştır. Fakat diğer tüm durumlarda bulanık denetimli trafik sinyalizasyon sistemi, normal sisteme göre gecikme ve bekleme parametrelerinde en az % 45’ lik üstünlük sağlamıştır (Demirci, 2007).

Normanyo, Dodoo-Quartey, & Adetunde (2009), trafik ışık sinyalini veya dur lambasını; yol kavşaklarında, yaya geçitlerinde, araçların ve yayaların hareketini kontrol eden diğer yerlerde konumlandırılan bir sinyal cihazı olarak tanımlamıştır. Ayrıca, Trafik ışıkları normalde üç ana ışığa sahiptir: Kırmızı, "Dur" anlamına gelen ışık, "git" anlamına gelen yeşil ışık ve "mümkünse dur" anlamına gelen sarı ışık. Trafiği kontrol etmek için kullanılan iki ortak strateji vardır: Sabit Zamanlı (FT) tabanlı trafik ışığı kontrol mekanizması ve Gerçek Zamanlı (RT) tabanlı trafik ışığı algoritması (Normanyo, Dodoo-Quartey, & Adetunde, 2009).

Bradley'e (2004) göre insan beyni, nöron adı verilen hücrelerden oluşmaktadır. Her hücre bazı girdileri kabul eder ve ardından girdilerin toplam değerine bağlı olarak, sinir bir çıkışın olup olmayacağına karar verir. Beyinde bir arada bulunan pek çok sayıda nöron, insanların farklı kararlar almalarını sağlamaktadır. Yapay sinir ağları, beyin çalışmasına benzer bir yolu takip etmektedir. Biyolojik bir nöronda mesajlar,

sinaps adı verilen boşluklar üzerinden, hücreden hücreye geçer. Mesajlar, hücelere girdikten sonra dendritler boyunca ilerlemektedir. Hücre çıktısını ürettikten sonra, bir akson boyunca bir çıktı mesajı gönderilir. Biyolojik nöronlarda bir sinir ağındaki nöron, çıktıları hesaplamak için girdi kümesine ihtiyaç duyar. Yapay sinir ağları, trafik ışıklarının süresine karar vermelerini sağlamaktadır (Bradley, 2004).

Turky, Ahmad, Yusoff, & Sabar (2009), trafik yoğunluğu kontrol sistemine dinamik trafik kontrolü girişlerine dayalı akıllı bir yeşil aralık tepkisi sağlamak ve böylece geleneksel trafik kontrolörlerinin verimsizliğinin üstesinden gelmek için Genetik Algoritma Modeli'ni sunmaktadır. Bu sayede, her şeritte bulunan sensörlerden araç sayısı dört yönde okunduğunda, iki şerit kavşağında ve yaya yol kavşağında motive edildiğinde zorluklar çözülmektedir. Genetik algoritma; optimizasyon, programlama, ekonomi, bilgisayar destekli tasarım gibi özellikler sayesinde, pratik uygulamalarda iyi seçenek olması açısından kritik bir rol oynamaktadır. Ayrıca gözlemci veya denetleyici bulunmasını gerektirmemesi nedeniyle bu yöntem seçilmiştir. Bununla birlikte, önceden eğitim gerektirmeyen genetik algoritma, sürekli olarak çözüm üretme kararlarının yenilenmesine izin vermektedir. Tek bir çözümü uyumlaştırmaya çalışmak yerine, kromozom olarak kodlanmış bir aday çözüm popülasyonu üzerine çalışmaktadır. Bu kromozomlar, eldeki problem için bağımsız değişkenleri temsil eden ayrı ayrı genlerden oluşur (Turky, Ahmad, Yusoff, & Sabar, 2009).

Sheraz, Abbas, & Noor (2009), sabit zamanlı modellere dayanan geleneksel trafik sinyal kontrolü yöntemlerinin, değişken ve karmaşık trafik durumuyla etkin bir şekilde başa çıkamadığını öngörmüştür. Herhangi bir trafik akışı, analiz oluşturmadan, sinyali değiştirmek için önceden ayarlanmış döngü süresine göre model alır. Sabit çevrim süresinden dolayı, bu sistemler hangi kesişimin daha fazla trafik yüküne sahip olduğunu dikkate almaz. Bu sebeple daha uzun süre yeşil ışık yanmalı ya da tam döngü süresinden daha önce sona ermelidir. Bulanık kural tabanlı denetleyicilerin, bu gibi senaryolarda trafik ışığı sisteminin iyi yöneticileri olduğu kanıtlanmıştır. Bulanık denetleyicilerin optimum karar alma yetenekleri mevcuttur. Bu algoritmalar, araçların bekleme sürelerini azaltarak, insan güvenliği ve ekonomik verimliliği sürekli olarak geliştirmektedir. Sonuç olarak bulanık denetleyiciler, sinyalleri daha etkili hale getirir ve trafik akışını kolaylaştırır (Sheraz, Abbas, & Noor, 2009).

J. Wang, Gao, & Wang, (2004)'in mantığı, "daha fazla", "daha az", "daha uzun" vb. gibi terimlerle ilgili resmi bir yöntem sunulması üzerinedir ve bu yöntemi "kuzeyden güneye daha fazla trafik varsa, ışıklar daha uzun süre yeşil kalmalıdır"

şeklinde ifade etmiştir. Bulanık mantık denetleyicisi, bir sonraki duruma geçmeden önce trafik ışığının belirli bir durumda kalmasını gerektiren süreyi belirler. Durumların sırası önceden belirlenir, ancak belirli bir yönde trafik yoksa denetleyici bu durumu atlayabilir. İlerleyen ve bekleyen araçların miktarı; birçok, orta ve hiçbiri gibi bulanık değişkenlere bölünür. Değişkenlerin belirli bir durumdaki aktivasyonu bir üyelik işlevi tarafından verilir, bu nedenle sırada 5 araba olduğunda, bu, "çoğu" ve "% 75" ortalamasının % 25'inin aktivasyonu ile sonuçlanabilir. Mevcut durumun süresinin uzatılıp uzatılmayacağını belirlemek için bulanık kurallar kullanılır. Deneyle bulanık mantık denetleyicilerinin, trafiğin daha düzenli akmasına izin verip, bekleme süresini azalttığı görülmüştür. Bir dezavantaj; kontrolörün, bulanık değişkenler için önceden ayarlanmış miktar değerlerine bağımlılığıdır. Bu duruma göre toplam trafik miktarı değişir ve doygun bir noktaya ulaşırsa, sistemin bozulmasına neden olabilir (J. Wang, Gao, & Wang, 2004).

Khalid, (1996), bulanık mantık teknolojisine dayalı akıllı trafik ışıkları kontrol tasarımı ve uygulaması açıklanmıştır. Bu teknolojiye dayanan yalıtılmış bir trafik bağlantısının durumunu simüle etmek için bir yazılım geliştirilmiştir. Doğada oldukça grafiksel, Windows sistemini kullanır ve kavşakta farklı trafik koşullarının simülasyonuna izin verir. Bulanık mantık denetleyicisi ile geleneksel sabit zaman denetleyicisi arasında bir karşılaştırma yapılabilir. Simülasyon sonuçları, bulanık mantık denetleyicinin daha iyi performans gösterdiğini ve daha uygun maliyetli olduğunu göstermektedir (Khalid, 1996).

Kulkarni & Waingankar (2007) kavşakta trafik kontrol edilmesi için bir proto tipi sistem VB6 Matlab aracı kullanılarak dizayn edilmiştir. Trafik kavşağı VB6'da simüle edilir ve trafik parametreleriyle ilgili veriler VB6 ortamında toplanır. Uzatma süresine ilişkin karar Matlab aracı kullanılarak alınır. Bu karar, Matlab'da VB6 ortamından ithal edilen araçların Varış ve Sıralarına dayanmaktadır. Sabit trafik kontrolünü kullanan araçların yaşadığı gecikme süresi bulanık trafik kontrol etkinliğini gözlemlemek için karşılaştırılır. Visual Basic 6 ortamında yalıtılmış bir Trafik Kavşağı simülasyonu yapılmıştır. Bulanık denetleyicinin sabit denetleyiciden daha etkili olduğu gözlenmiştir (Kulkarni & Waingankar, 2007).

Demirci & Karakuzu (2010) bu çalışmada geliştirilen trafik ışığı simülatörü kullanılarak, araç girişlerinin simülatör tarafından tedarik edildiği yerlerde, sabit süreli (konvansiyonel) trafik ışığı kontrol denetleyicisi ve bulanık mantık tabanlı trafik ışığı kontrol denetleyicisinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak , sabahları geleneksel

trafik sinyalizasyonunun yalnızca toplam bekleme süresi için % 19 üstünlüğe sahip olduğu görülebilir, ancak diğer zaman aralıkları ve kategoriler için, bulanık trafik sinyalizasyonuna kıyasla performansı daha kötüdür. Bazı durumlarda, bulanık denetleyicili trafik sinyalizasyonu, geçen araç sayısı için geleneksel trafik sinyalizasyonuna göre % 48 üstünlüğe sahiptir. Trafik en yoğun olduğunda bekleme süresi için geleneksel yöntemden % 66 daha üstün performans göstermiştir (Demirci & Karakuzu , 2010) .

Alam & Pandey (2015), gerçek zamanlı trafik kontrolü için iki aşamalı bir trafik ışığı sistemi önermiştir. İzole edilmiş sinyalizasyon bir trafik ışığının fazını ve yeşil zamanını dinamik olarak yönlendirmeyi amaçlayan Alam, farklı trafik akış oranlarında ortalama araç gecikmesini azaltmak amacıyla; kavşakta iki trafik acil durum karar modülü (TUDM) ve uzatma süresi karar modülü (ETDM) nü kullanmıştır. İlk aşamada TUDM, tüm kırmızı evreler için aciliyeti hesaplamaktadır. Acil durum derecesine dayanarak, geçiş yapmanın bir sonraki adımında karşılaşılan önemli trafik aciliyeti için kırmızı ışık devri oluşturur. İkinci aşamada, ETDM, yeşil ışığı hesaplar; araç sayısına bağlı olarak çalışan acil faz, uzatma süresine bağlıdır. Bahsedilen yazılım, bulanık mantığa dayalı izole edilmiş bir sinyal birleşim biriminin durumunu simüle etmek için Matlab'ta geliştirilmiştir. Bulanık mantık kullanan iki kademeli trafik ışık sistemi, sistemin esnekliği sayesinde sabit zaman sistemi kullanan modellerden, hatta araçla çalıştırılan sistemlerden daha iyi performans göstermiştir (Alam & Pandey, 2015).

Taha & Ibrahim (2012), yaptıkları çalışmalarda, bulanık mantık tabanlı trafik yönetim sisteminin test edilmesi ve değerlendirilmesi için tasarlanmış bir simülasyon ortamı fikrini ortaya atmışlardır. Kullanıcı, birden fazla şeritli trafikte, izole edilmiş kavşak veya kavşak ağını simüle edebilir. Ayrıca girdi parametrelerini belirtebilir, trafik akışını kontrol eden bulanık kurallar oluşturabilir ve çıktı parametrelerini inceleyerek modelin verimliliğini takip edebilir. Bir grafik kullanıcı ara birimiyle yapılan simülasyon, araç hareketlerinin animasyonunu da dâhil ederek görselleştirilmesini sağlamıştır (Taha & Ibrahim, 2012).

Jha & Shukla (2014), çalışmasında trafik modeli ve trafik denetleyicisi modelini Matlab yazılımını kullanarak geliştirmiştir. Tek çıkışlı ve çok girişli kuyruk teorisi modelini çalışmasında temel almaktadır. Matlab'ta ‘‘SimEvent’’ araç kutusu kullanılmıştır. Trafik denetleyicisi, Matlab'ta bulanık mantık uygulaması yöntemi kullanılarak geliştirilmiştir. Acil araç hareketini algılayan sensörler ambulans, itfaiye,

polis vb. araçlara öncelik vermekte ve durumun aciliyetine ve şekline göre tercih edilen sinyali iletmektedir (Jha & Shukla, 2014).

Barzegar & Mehrabian (2011) tarafından ana caddelerde kesişimi kontrol eden yeni bir model sunulmuştur. Her bir kavşak için akıllı trafik ışıkları sağlanması fikrine dayalı modelde, trafik ışıkları trafik yoğunluğunu tahmin edebilmekte, kontrol merkezine parametreleri gönderebilmekte ve kontrol merkezinden de alabilmektedir. Bu kavşak kontrol sistemi sistem performansının doğruluğunu izleyebilmek için CPN modelleme aracıyla simüle edilebilmektedir. Renkli Petri Net (CPN), sistemdeki olası kusurları gidermek amacıyla farklı sistemlerin simülasyonu için kullanılabilir ve hatta çeşitli giriş parametrelerinin incelenmesine fırsat sağlamaktadır (Barzegar & Mehrabian (2011)).

List & Cetin (2004), yapmış olduğu çalışmada, sinyalleşmiş kavşakların kontrolünü modellemek için Petri ağlarının (PN) kullanımına odaklanmaktadır. PN, sekiz fazlı bir trafik sinyali kontrol cihazının uygulanmasına bağlı bir modeldir. Kontrol PN modelinin yapısal analizi, modelin trafik işletme emniyet kurallarını nasıl uyguladığını göstermek için gerçekleştirilmiştir (List & Cetin, 2004).

Barzegar, Davoudpour, Meybodi, Sadeghian, & Tirandazian (2011), çalışmalarında trafik işaretlerini kesişim noktalarından etkin bir şekilde kontrol etmek için, öğrenen otomata dayalı uyarlamalı bulanık renkli Petri Net sistemi sunmuşlardır. Önerilen algoritmanın temeli, bulanık mantık ve öğrenen otomatın birleşiminden oluşmaktadır. Öğrenen otomat, bulanık sistemdeki üyelik işlevlerini düzenlemek için kullanılmaktadır. CPN'lerin hassas hesaplama gücü vardır, ancak pratik olarak yüksek seviyeli programlama dilleri daha iyi yapısal özelliklere sahip oldukları için daha fazla modelleme sağlarlar (Barzegar, Davoudpour, Meybodi, Sadeghian, & Tirandazian, 2011).

David & Alla (1998) çalışmalarında, sinyalle edilmiş trafik kavşaklarının ve bağlı kavşak ağlarının kontrol ve performans analizini yapmak için Petri modellerinin ve araçlarının geliştirilmesine odaklanmaktadır. Petri ağlarının trafik ağı sorunlarına yönelik birçok araç için tek bir temsil olma potansiyeli tartışılmaktadır. Bu araçlar, kentsel trafik ağı kontrolü sağlamak için; kontrol tasarımı, analiz, modelleme, performans değerlendirmesi ve doğrudan kontrol kodu oluşturulmasını sağlamaktadır. Performans değerlendirmesi amacıyla kentsel trafik ağının renkli bir Petri ağı modeli sunulmuş ve bu ağ tartışılmıştır. Alt ağları göstermek için altı kesişen kentsel ağ örneği verilmiştir ve alt ağların birlikte nasıl çalıştığının gösterilmesi için bir örnek adım

verilmiştir. Bu ağ, çeşitli kontrol stratejilerinin performansını değerlendirmek için POSES kullanan bir simülasyonda girdi olarak kullanılmıştır. Böylelikle arabaların trafikte bekleme sürelerinin azaldığı görülmüştür (Alla & David, 1998).

Kontrol (sinyal planı), istatistiksel veriler kullanılarak önceden hesaplanmaktadır (Askerzade & Mahmood, 2010), Bu plana göre trafik ışıklarının sürelerini değiştirmek için önceden ayarlanmış döngü süresini kullanmaktadır (sabit süre). Trafik ışıkları, yol geçişlerinin güvenliğini sağlamanın yanı sıra optimum kontrol stratejisinin uygulanması şartıyla, ağdaki tüm araçlar tarafından harcanan toplam sürenin en aza indirilmesini sağlamaktadır. Trafik süreçleriyle ilgili gerçek zamanlı verilerin kontrolü veya modifikasyonunu belirlemek amacıyla kullanıldığı belirtilmiştir. Dedektörler tarafından toplanan verilerden yararlanarak en yaygın kullanılan trafik kontrol stratejilerinden biri olan harekete geçirilmiş sinyal kontrolü, gerçek trafik durumuna göre daha uyumludur. Sinyal kontrol kararı, trafik durumu göz önüne alınarak bir dizi kurala göre yapılmaktadır.

Bu çalışmada tek kavşak için Bulanık mantık ve Petri net ağları yöntemi uygulanacaktır. Bulanık mantık ve Petri net denetleyicileri uygulanırken, diğer çalışmalardan farklı olarak sadece yoğunluğa göre yeşil ışık süresinde kalibrasyon olmayacaktır. Yolların trafik ışıkları da arabaların yoğunluğuna göre yanıp sönecek ve belli bir sırayı takip etmeyecektir.

3. TRAFİK IŞIKLARI VE TARİHÇESİ

Trafik ışıkları trafik akışının en önemli parçasıdır. Amaçları sürücülere ve yayalara yön vermek ve özellikle kavşaklarda trafiği sorunsuz bir şekilde yönetmektir. Uygun trafik ışıkları kavşak verimliliğinin optimize edilmesini ve kavşakların güvenli kullanılmasını sağlar. Trafik kontrol sinyallerinin başlangıcı, 1868'in başlarında Londra'da elle yapılan semaforlara dayanır. İlk trafik sinyali Amerika'da kullanılmıştır. Bu sinyalin amacı kazaları durdurmaktır (Highway, 2008). Ancak, trafik ışıkları zaman içinde değişmiştir. 1923'te Garrett Morgan Morgan trafik sinyalinin lisansını almıştır (Bullock, ve Urbanik, 1999).

3.1. Trafik Işıklarının Tarihçesi

Trafik ışığının evrimi, yaklaşık 200 yıl öncesine kadar gider, ancak bugünkü bilinen güvenilir sistem haline gelmeden önce, bir dizi tasarım kusurları oluşmuştur. 20. yüzyılın başlarında, New York Beşinci Caddesi'ndeki sokak tıkanıklığı o kadar kötüydü ki, 57. ve 34. caddelere ulaşmak 40 dakika sürmekteydi. Atlar, arabalar, yayalar, sokak araçları, bisikletler ve otomobiller tüm şehrin sokakları boyunca sınırlı alanda rekabet içindeydi. Çarpışmaların çok yaygın olması ve özellikle otomobillerin yolu yönetmeye başlaması üzerine caddeyi seçen üst düzey mağazalar için kötü trafik kötü iş anlamına gelmekteydi (Çağlayan, 2014), Londra'da 1868 yılında ilk olarak yeşil ve kırmızı trafik ışıkları kullanılmaya başlanmıştır. O dönemde motorlu araçlar henüz icat edilmemişti. İnsanlar mallarını bir yerden diğerine taşımak için at arabaları kullanmaktaydı. At arabaların yoğun olduğu yollarda gaz lambasıyla trafiği düzenlemeye çalışmaktaydılar. Bu sorunlar üzerine 1914'te ABD'de demir yolu sinyalizasyonu için ilk elektrikli trafik lambası kullanılmıştır (Öztürk & Bektaş, 2004) (Buldu, 1996) (Onat, 1996). New York şehrinde 1918 yılında bugün kullanmış olduğumuz trafik ışıklarına benzeyen üç renkli trafik lambası kullanılmıştır. İngiltere'de 1920 yılında benzer bir sistem kurulmuştur ((Öztürk & Bektaş, 2004) (Buldu, 1996) (Onat, 1996). Gareth Morgan tarafından 1923 yılında ilk trafik ışığı üretilmiştir. Avrupa ülkelerinde 1924 yılından sonra bu sistemler kullanılmaya başlanmıştır. 1925 yılında Avustralya'da bulunan Melbourne şehrinde ilk elektromanyetik trafik kontrolü kullanılmıştır (Öztürk & Bektaş, 2004) (Buldu, 1996) (Onat, 1996).

1977 yılında Pappis ve Mamdani tarafından bir çalışma sunulmuştur. Bu çalışma Bulanık mantığına dayanmaktadır. İki yollu, tek şeritli ve tek kavşak için tasarlanmıştır (Pappis & Mamdani, 1977),1984 yılında Nakatsuyama tarafından Pappis ve Mamdani çalışmasına dayanarak ard arda iki kavşak için bir çalışma sunulmuştur. 1993 yılında aynı çalışma Favilla tarafından çok şeritli tek bir kavşak için yapılmıştır.

3.2. Trafik Kontrol ve Koordinasyonu

Trafik ışıklarının normal işlevi, trafiğin mümkün olduğunca sorunsuz ve güvenli bir şekilde ilerlemesi ile yayaların yollardan geçerken korunmasını sağlamak için gelişmiş kontrol ve koordinasyon gerektirir. Bunu gerçekleştirmek için, basit saat mekanizmalarından, yolu kullanan insanlar için gecikmeyi en aza indirgeyen, kendi kendini ayarlayan karmaşık bilgisayarlı kontrol ve koordinasyon sistemlerine kadar farklı kontrol sistemleri kullanılmaktadır. Trafik kontrolörleri, birlikte gruplanmış hareket yönleri olan faz kavramını esas alırlar (Abouraad & Elsenaar, 2006)Örneğin, basit bir kavşak iki aşamaya sahip olabilir: Kuzey / Güney ve Doğu / Batı. Her yönde ve her sol dönüş için bağımsız kontrol ile 4 yönlü bir kesişme, sekiz faza sahiptir.

3.2.1. Trafik kontrol çeşitleri

Birçok farklı uygulama, trafik akış kontrolü için kullanılmaktadır. Ancak bu uygulamaların yapıları iki ana yöntemeye dayanır. Bunlar sabit zaman ve dinamik kontrol yöntemleridir (Abouraad & Elsenaar, 2006)

3.2.1.1. Sabit zaman kontrolü

En basit kontrol sistemi bir zamanlayıcı (sabit zaman) kullanır: Sinyalin her fazı, bir sonraki fazın gerçekleşmesinden önce belirli bir süre boyunca sürer. Bu model trafik durumuna bakılmaksızın kendini tekrar eder. Birçok eski trafik ışığı kurulumu hala bu yöntemleri kullanmaktadır. Bununla birlikte, bir kesişimin sinyal zamanlaması, gün boyunca değişen baskın akışlara adapte edilemediği için dezavantajları olan bir kontrol sistemidir. (Ebrahimi, Seifnaraghi, & Ince, 2009)

3.2.1.2. Dinamik kontrol

Dinamik veya harekete geçirilmiş sinyaller, değişen trafik koşullarına uymak için zamanlamalarını ve fazlarını otomatik olarak ayarlamak üzere programlanmıştır. Sistem, kesişme noktasından geçen araçların gecikmesini en aza indirmek amacıyla zamanlamayı ve sinyal aşamasını ayarlar. Ayrıca, bir trafik ışığının kontrol stratejisini, gün içindeki zamana, haftanın gününe veya bir kesişme noktasında meydana gelen olağan dışı bir durum gibi diğer özel koşullara bağlı olarak değiştirmek için sıkça kullanılır. Kontrolör işlemcisi, araçların veya diğer yol kullanıcılarının mevcut olup olmadığını bildiren sensörler aracılığıyla sinyal zamanlamasını belirlenen limitler dahilinde programlar. Yoğun trafik çeken bir kavşak için daha fazla zaman verebilir veya yeşil ışık bekleyen çok az trafik bulunan veya hiç olmayan bir fazı kısaltabilir veya atlayabilir. Bu noktada kullanılan detektörler üç sınıfa ayrılmaktadır: Yola gömülü detektörler, yol üzerindeki detektörler ve motorsuz araçları algılayan detektörler (Friesz, Luque, Tobin, & Wie, 1989)

Yola Gömülü Detektörler

Bu detektörler karayolunun içine veya altına gömülür. Endüktif Detektör döngüleri en yaygın kullanılan tiptir. Işıktaki bekleyen trafik varlığını algılamak için yolda gömülü sensörler, boş bir yola yeşil bir sinyal verildiğinde, bu sinyale verilen zamanı azaltabilirler. Düşük trafik yoğunluğunda veya sensörlerin arızalanması halinde sıklıkla yedek bir zamanlayıcı olarak da kullanılır. Sensör halkaları tipik olarak metal detektörleri ile aynı şekilde çalışır. Ancak küçük araçlar veya düşük metal içeriğine sahip olan araçları algılayamayabilir. Eğer kontrol sisteminin parçası olarak bir zamanlayıcı yoksa bu tür algılanamayan araçlar süresiz olarak beklemek durumunda kalabilirler (Delibaşoğlu, Kösesoy, & Akbaş, 2011)

a. Yol Üzerindeki Detektörler

Yolun kesilmesi ve endüktif döngülere gömülmesinden ziyade, yol üstü sensörlerin monte edilmesi bazen daha avantajlı ve daha az maliyetlidir. Bu teknolojiler arasında video görüntü işlemcileri, EM (Elektromanyetik) dalgalar kullanan sensörler veya yolun beklediği kavşaktaki araçların varlığını algılamak için akustik sensörler kullanılır. Bu yol üstü sensörler, yol sensörleri için daha uygun niteliktedir. Çünkü

bunlar, kurulum sırasında teknik ekip için yarattığı tehlike ve maliyetler açısından daha cazip olup, doğal yollarla oluştuğu için sağlığa zararsızdır. Gerçek zamanlı trafik yönetimi cihazları olarak hareket etmek, çok şeritli detektörler gibi davranmak ve yol sensörleri tarafından mevcut olmayan veri tiplerini toplamak bu detektörlerin sağladığı faydalardır (Tewolde, 2012)

b. Motorsuz Araçları Algılamak İçin Detektörler

Motorsuz araç kullanıcıları; yayalar, bisikletliler ve atlılar olarak sınıflandırılır. Bu kullanıcıları tespit etmeye yönelik hükümler arasında talep düğmeleri ve ayarlanmış detektörler bulunur.

Yaya geçitlerinde, özellikle kavşaklardan uzakta olan bazı trafik ışıkları, zamanlama sistemini etkinleştirmek için basılması gereken bir düğme içerir. Bu sistem genellikle, tuşa basıldığında yanan ve "kırmızı" faza girdiğinde sönen, "bekle" yazan büyük bir ekranın bulunduğu bir sistemdir (Lipka & Herout, 2009)

Çoğu zaman, bu panelde geri sayımlar veya yeşil ve kırmızı yaya farları gibi diğer ekranlar bulunur. Bilgisayar kontrollü trafik ışıklarının gelmesiyle, birçok ülkede aktivasyon düğmelerinin kullanımı azalmıştır. Yeni aktivasyon kurulumları, görme engelli kullanıcılar ve at sırtındaki kullanıcıları düşünerek, sesli düğmeler ve sinyaller kullanmaktadır. Standart sinyal detektörleri, bisikletlerdeki düşük metal içeriği nedeniyle, bisikletli trafik unsurlarını tespit etmekte zorlanırlar. Bir bisikletçi doğrudan bir detektör döngüsünün telleri üzerinden sürüyorsa, bisikletçi tespit edilebilir. Ancak, bu her zaman işe yarayan bir çözüm değildir ve trafik içerisinde, çok az sayıda bisikletçi bu sistemin bilincindedir. Bisikletçilerin yaygın olduğu yerlerde, bisikletçiler için özel bir detektör döngüsü kullanılabilir. Sinyali harekete geçirmek için durması gereken bisikletçiye bilgi vermek adına, kaldırımda genellikle küçük bir bisiklet sembolü bulunur. Sadece bisikletlinin ulaşabileceği kaldırımın bu kısmına ek bir yaya düğmesi yerleştirilir (Issa & Dafaalla, 2011)

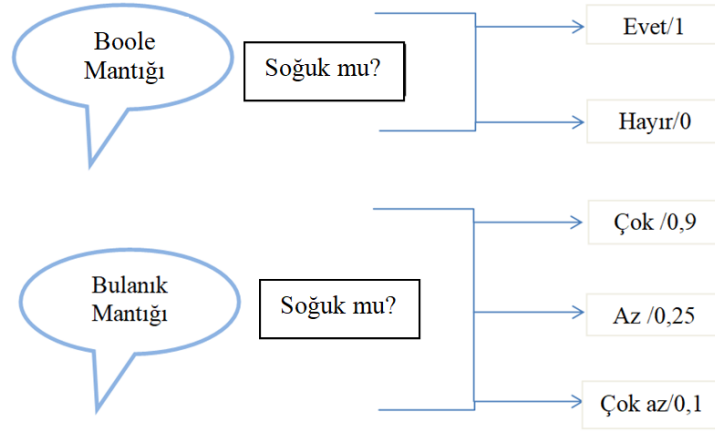
4. BULANIK MANTIK DENETLEYİCİSİ

“Bulanık” kelime anlamı olarak net olmayan veya belirsiz olan şeyleri ifade eder. Sürekli değişen herhangi bir olay, süreç ya da işlev her zaman doğru ya da yanlış olarak tanımlanamaz. Bu tür durumlar “bulanık” olarak betimlenir (Bayen vd., 2002).

Bulanık mantığı; modern bilgisayarın dayandığı, her zamanki "doğru veya yanlış" (1 veya 0) Boole mantığı yerine "doğruluk derecelerine" dayalı bir hesaplama yaklaşımıdır[n]. Bulanık mantık fikri ilk olarak 1960'larda Berkeley'deki California Üniversitesi'nden Dr. Lotfi Zadeh tarafından geliştirilmiştir. Zadeh, bilgisayar ortamında doğal dil anlayışı üzerine çalışmaktaydı. Çalışmaları sonucu bulanık mantık denetleyicileri üzerine yoğunlaştı ve yaklaşımını geliştirdi. Bulanık mantık, mühendisler (elektrik, mekanik, sivil, kimyasal, havacılık, tarımsal, biyomedikal, bilgisayar, çevresel, jeolojik, endüstriyel ve mekatronik), matematikçiler, bilgisayar yazılım geliştiricileri dâhil olmak üzere araştırma ve geliştirme üzerine çalışan birçok kişi için son derece yararlı görülmektedir (Bayen, Grieder, & Tomlin, 2002)

Bulanık mantığın işletilmesi için sayı veya açıklamalarla temsil edilmesi gerekir. Örneğin, hız 5 m/s değerine "yavaş" açıklaması verilebilir. “Yavaş” terimi, farklı kişiler tarafından kullanıldığında farklı anlamlara sahip olabilir ve gözlemlenen çevreye göre yorumlanmalıdır. Bazı değerlerin sınıflandırılması kolaydır, diğerlerinin ise farklı durumlara dair insan anlayışı nedeniyle belirlenmesi zor olabilir. Biri “yavaş” diyebilir, diğeri ise aynı hızı tanımlarken “hızlı değil” diyebilir. Bu farklılıklar, bulanık kümeler yardımıyla ayırt edilebilir (Bayen et al., 2002)

Şekil 4.1’de Boole mantığı ile “Soğuk mu?” sorusu sorulduğunda cevap 1 ya da 0’dır, ancak bulanık mantığında bu sorunun cevabı ikinci şemada gösterildiği gibi 1 ile 0 arasında değişmektedir.



Şekil 4.1. Bulanık mantık ile boole mantık arasındaki fark

4.1. Bulanık Mantık Denetleyicilerin Tercih Sebepleri

- Bulanık mantığın kavramsal olarak anlaşılması kolaydır. Bulanık mantığın arkasındaki matematiksel kavramlar çok basittir. Bulanık mantığı güzel yapan şey, yaklaşımının geniş kapsamlı ve "doğal" olmasıdır.
- Bulanık mantık esnektir. Verilen herhangi bir sistemde, fazla direnişle karşılaşmadan parametreleri düzenlemek veya tüm sistem üstüne daha fazla işlevsellik katmak mümkündür.
- Bulanık mantık kesin olmayan verilere toleranslı mantıktır. Gözlem ne kadar yakınsa, kesinlik o kadar azalır. Dikkatli incelemelerde bile insan kavrayışının algıladığı pek çok şey kesin değildir. Bu mantıksal akıl yürütme, kesinlik anlayışını sona erdirmekten ziyade belirsizliği de sürece dâhil eder.
- Bulanık mantık, rastgele karmaşıklığın doğrusal olmayan fonksiyonlarını modelleyebilir. Herhangi bir giriş çıkışlı verinin kümesine uyum sağlayan bulanık bir sistem oluşturabilir. Bu süreç, Bulanık Mantık Araç Kutusunda bulunan ANFIS (Uyarlamalı Nöro-Bulanık Çıkarım Sistemleri) gibi uyarlamalı teknikler ile özellikle kolaylaştırılmıştır.
- Bulanık mantık uzman deneyimleriyle geliştirilebilir. Eğitim verilerini alan ve opak, esnek olmayan modeller üreten sinir ağları ile doğrudan zıt olarak, bulanık mantık sistemi, anlayan ve öğrenen insanların deneyimleriyle geliştirilebilir.
- Bulanık mantık geleneksel kontrol teknikleriyle karşılaştırılabilir. Bulanık sistemlerin, geleneksel kontrol yöntemlerinin yerine geçmesine gerek kalmaz.

Birçok durumda bulanık sistemler var olan klasik kontrol yöntemlerini güçlendirir ve uygulamalarını kolaylaştırır.

Bulanık mantık doğal dile dayanır. Bulanık mantığın temeli, insan iletişiminin temelidir. Bu gözlem, bulanık mantıkla ilgili diğer ifadelerin çoğunu desteklemektedir (Vural, 2002); (Peterson, 1977)

Bulanık mantık, karmaşık ve bulanık bilgilerin makul bir şekilde kullanılmasına izin vererek karmaşıklığı azaltmaya olanak tanır. Donanım, yazılım veya her ikisini bir arada kullanabilir. Başka bir deyişle, problemlerin kontrolü için bulanık mantık yaklaşımı, bir kişinin kararları nasıl vereceğini taklit eder, sadece çok daha hızlıdır. Bulanık mantık analizi ve kontrol yöntemleri şu şekilde tanımlanabilir:

1. Analiz edilecek veya kontrol edilecek bir sistemde mevcut olan bir veya daha fazla ölçüm veya diğer koşulların değerlendirilmesi.
2. Alınan tüm girdileri, basit dil kelimelerinde ifade edebilen ve geleneksel olmayan bulanık işlemlerle birleştirilebilen bulanık "if-then" (eğer-öyleyse) kurallarına göre işlenmesi.
3. Tüm bireysel kurallardan elde edilen sonuçların, ne yapılacağına karar veren bir tek çıktı kararına veya sinyaline göre ortalanması. Elde edilen çıkış sinyali kesin bir kusurlu değerdir. (Hacımurtazaoğlu, 2014)

4.2. Klasik Kümeler

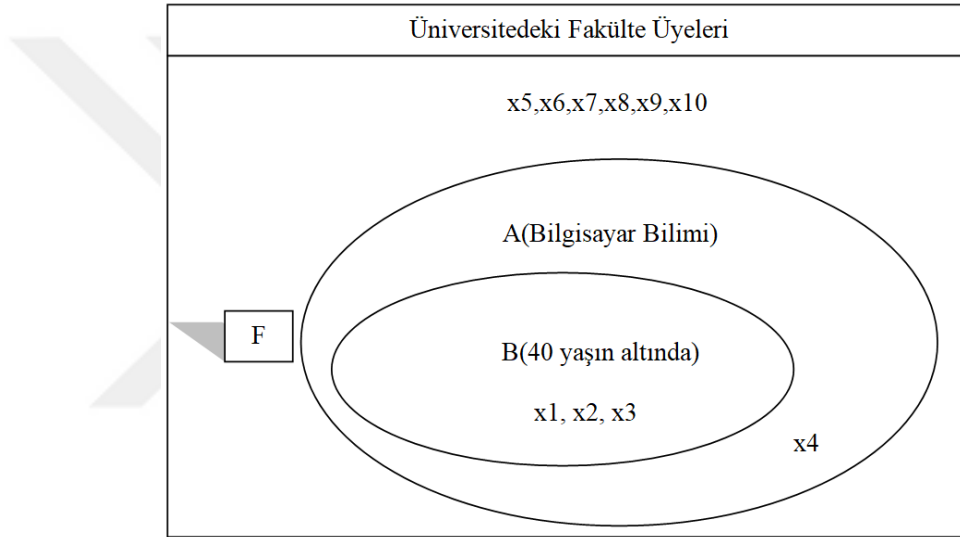
Klasik bir küme, keskin bir sınır ile belirli bir aralıktaki nesnelere bir koleksiyondur. Bir nesne kümeye ait olabilir veya aynı nesne kümeye ait olmayabilir. Matematiksel olarak ifade edildiğinde nesne küme ile olan üyelik ilişkisi bakımından kümenin elemanı olduğunda "1", kümenin elemanı olmadığına "0" değerini alır. Örneğin, bir üniversitede 10 üyeden oluşan bir fakülte kümesi varsayıyoruz: $F = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}\}$. Genel olarak, tüm tartışma nesnesi F, söylem evreni olarak adlandırılır ve her üye x_i 'i bir eleman olarak adlandırılmaktadır. x_1 - x_4 elemanlarının bilgisayar bilimi bölümüne ait olduğunu varsayarsak, bu bir başka A kümesi olarak kabul edilebilir. x_1 - x_3 öğeleri 40 yaşın altındadır, bu da B kümesi olarak varsayılmaktadır (Güranlı ve Müngen, 2010).

$$X \in F \quad (4.1)$$

$$A = \{x1, x2, x3, x4\} \quad (4.2)$$

$$B = \{x1, x2, x3\} \subset A \quad (4.3)$$

B kümesindeki tüm elemanların A kümesine ait olduğu veya A kümesinin B kümesini içerdiği görülebilir. Bu durumda, B aynı A kümesinin bir alt kümesi olarak düşünülebilir. Yukarıda tartıştığımız farklı kümeler arasındaki ilişki Şekil 9'da açıklanabilir.



Şekil 4.2. Bir üniversitede klasik fakülte üyeleri

Klasik set operasyonlarının temsili, Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Bir elemanın bir kümeye ait ve kümedeki elemanların o kümeye ait olmadığı açıktır. Farklı setler için farklı unsurlar arasında keskin bir sınır vardır ve bunlar birbiriyle karıştırılamaz. Fakat, bulanık setler farklı yasalara sahiptir.

Sonuçta eğer klasik kümeler kullanılıyorsa verilen kararlar, doğru – yanlış, kötü – iyi, güzel – çirkin, pis – temiz ya da 0 – 1 gibi yönlü kararlar verilecektir. Ancak gerçek hayat mutlak ayırım üzerine kurulu değildir. Hayatta mutlak siyah ve mutlak beyaz arasında yüzlerce gri tonu bulunmaktadır. Çizelge 4.1'de bulanık ve klasik kümeler arasındaki temel farklar gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Klasik mantık-bulanık mantık arasındaki temel farklılıklar

Klasik Mantık	Bulanık Mantık
A veya A Değil	A ve A Değil
Kesin	Kısmi
Hepsi veya Hiçbiri	Belirli Derecelerde
0 veya 1	0 ve 1 Arasında Süreklilik
İkili Birimler	Bulanık Birimler

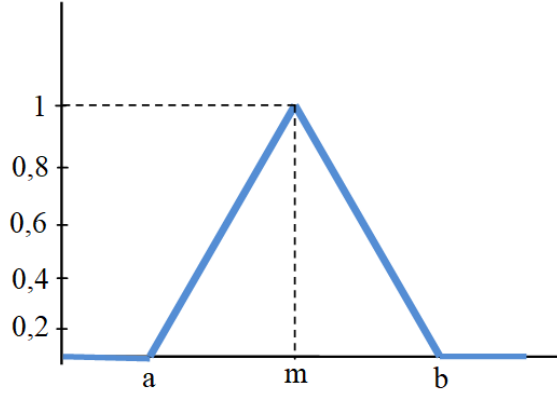
4.3. Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonları

Bulanık mantık, sayıların komşuluğu felsefesine dayanır. Örneğin bir makina parçasının sıcaklığının 39 °C ye ulaşması, makinenin bakım ihtiyacını gösteriyorsa belki de sıcaklığın 36 °C ye ulaşması da aynı ihtiyacı gösterir. Bu durumda aynı temel amaca hizmet eden sayıların komşuluğundan söz etmek mümkündür.

Bulanık kümeler iki yöntemle gösterilir. Birinci yöntem, küme elemanlarının üyelik derecelerine göre sıralanması, ikinci yöntem ise matematiksel olarak üyelik fonksiyonu tanımlanması şeklindedir. Pratikte üyelik fonksiyonları; üçgen dalga biçimi, yamuk dalga biçimi, Gauss dalga biçimi, çan biçimli dalga biçimi, sigmoidal dalga biçimi ve S-eğri dalga biçimi gibi birden fazla farklı tiplere sahip olabilir. Yapılacak uygulamaya göre en uygun üyelik fonksiyonu seçilir. Kısa süre içinde kuvvetli dinamik varyasyona ihtiyaç duyan sistemler için üçgen ya da trapezoid dalga formu kullanılmalıdır. Çok yüksek kontrol doğruluğuna ihtiyaç duyulan sistemler için Gauss veya S-eğri dalga formu seçilmelidir.

Üçgen Üyelik Fonksiyonu: Şekil 4.3'deki üçgen fonksiyonun alt sınır a, bir üst sınır b ve bir m değeri ile tanımlanır, burada $a < m < b$ şeklinde gösterilmektedir.

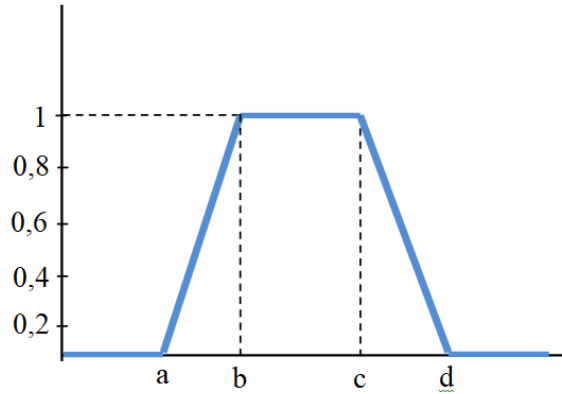
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{m-a}, & a \leq x \leq m \\ \frac{b-x}{b-m}, & m \leq x \leq b \\ 0, & x \geq b \end{cases} \quad (4.4)$$



Şekil 4.3. Üçgen üyelik fonksiyonu

Yamuk Üyelik Fonksiyonu: Şekil 4.4'deki yamuk fonksiyonun bir alt sınır a , Bir üst sınır d , Bir alt destek sınırı b ve bir üst destek sınırı c ile tanımlanır. Burada $a < b < c < d$ şeklinde gösterilmektedir.

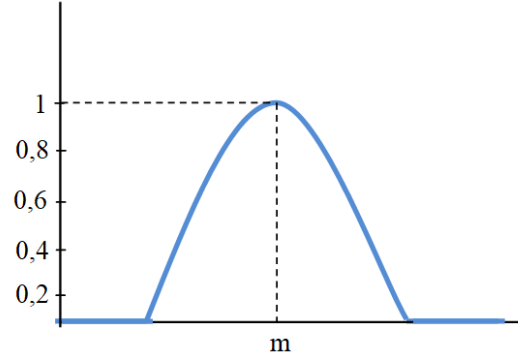
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & (x < a) \text{ yada } (x > d) \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ 0, & x \geq d \end{cases} \quad (4.5)$$



Şekil 4.4. Yamuk üyelik fonksiyonu

Gaussian Üyelik Fonksiyonu: Şekil 4.5'deki Gaussian fonksiyonun merkezi bir (m) değeri ve standart sapma $k > 0$ ile tanımlanır. m fonksiyon merkezini ve k ise genişliğini ifade eder.

$$\mu_A(x) = e^{-\frac{(x-m)^2}{2k^2}} \quad (4.6)$$



Şekil 4.5. Gaussian üyelik fonksiyonu

Aşağıda üyelik fonksiyonuyla ilgili birkaç önemli nokta vardır:

- Üyelik fonksiyonları ilk defa 1965 yılında Lofti A. Zadeh tarafından ilk araştırma makalesinde “bulanık kümeler” ile sunulmuştur.
- Üyelik fonksiyonları, bulanık kümelerdeki elemanların kesikli veya sürekli olup olmadığına bakılmaksızın, bulanıklığı (yani, bulanık kümedeki tüm bilgileri) karakterize eder.
- Üyelik fonksiyonları, pratik problemlerden ziyade tecrübe ile çözecek bir teknik olarak tanımlanabilir.
- Üyelik fonksiyonları grafik formlarla temsil edilir.
- Bulanıklığı tanımlayan kurallar da bulanıktır (Arslan & Gürel, 2008)

4.4. Bulanık Mantık Üzerindeki İşlemler

İki bulanık kümeye (\tilde{A} ve \tilde{B}), U bilgisinin evrenine ve (y) bir fonksiyona sahip olmak üzere, aşağıdaki ilişkiler, bulanık kümeler üzerindeki birleşim, kesişme ve tümlleme işlemini ifade etmektedir, (Yaman, Karaköse, Aydın, & Akın, 2014)

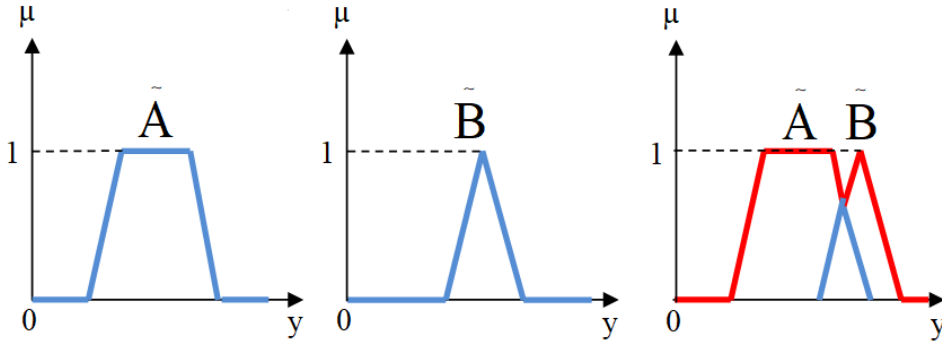
4.4.1. Birleşim ‘OR’

Birleşim "OR" ilişkisinin nasıl çalıştığını anlamak için Şekil 4.6’da temsili ele alalım:

$$\mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(y) = \mu_{\tilde{A}} \vee \mu_{\tilde{B}} \quad (4.7)$$

$$\forall y \in U \quad (4.8)$$

Burada \vee 'max' işlemini temsil etmektedir. Birleşim işleminde her iki kümenin üyelik derecelerinin en büyüğü alınır. (Ross, 2005)

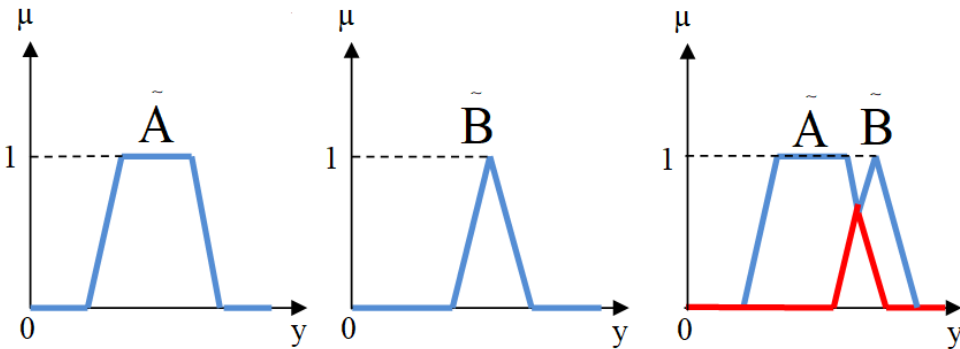


Şekil 4.6. Bulanık birleşim işlemlerinin grafiksel gösterimi

4.4.2. Kesişim 'AND'

Kesişim işleminde her iki kümenin üyelik derecelerinin en küçüğü alınır, bu kesişim Şekil 4.7'deki örnekte gösterilmiştir. (Ross, 2005)

$$\mu_{A \cap B}(y) = \mu_A \wedge \mu_B \quad (4.9)$$



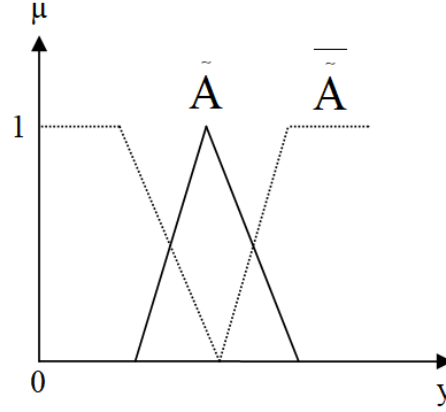
Şekil 5.7. Bulanık kesişim işlemlerinin grafiksel gösterimi

4.4.2. Tümlleme

Bir şeyin eksikliğini tamamlayarak onu bir bütün haline getirmek için kullanılır (Ross, 2005). Şekil 4.8'de tümlleme işlemi grafik olarak ifaden edilmiştir.

$$\mu_{\bar{A}} = 1 - \mu_A(y) \quad (4.10)$$

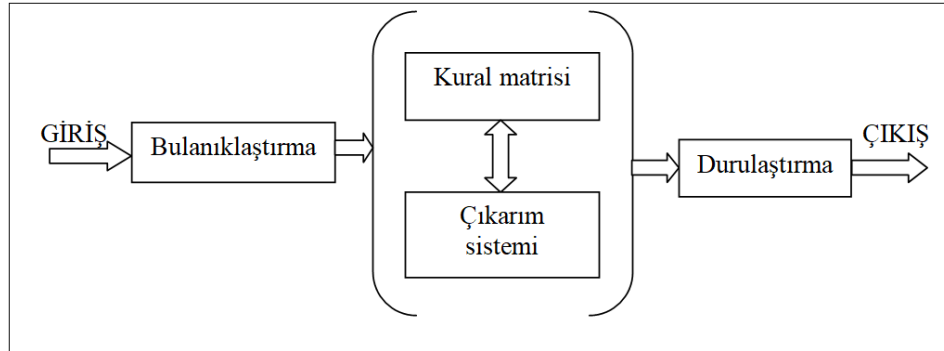
$$y \in U \quad (4.11)$$



Şekil 4.8. Tümlleme işleminin grafiksel gösterimi

4.5. Bulanık Mantık Unsurları

Genellikle bulanık mantık kontrol sistemi, Şekil 4.9'da sunulan dört ana unsurdan oluşturulur: Bulanıklaştırma arayüzü, bulanık çıkarım sistemi, bulanık kural matrisi ve durulaştırma arayüzü (Hájek, 2013)



Şekil 4.9. Bulanık mantık denetleyicisi

Bulanık küme güçlü bir araçtır ve üyeleri belirsiz bir şekilde temsil etmemizi sağlar. Bulanık set ayrıca bir insanın kavramlarına ve düşüncesine benzer bir yol çizer. Fakat bulanık kümesi, bulanık çıkarım uygulanana kadar kullanışlı ve pratik bir sistem sağlamaz. Bulanık çıkarımı gerçek bir ürüne uygulamak veya gerçek bir problemi çözmek için, birbirini takip eden üç aşamaya ihtiyaç vardır: Bulanıklaştırma, bulanık çıkarım ve netleştirme. Net değişkenleri (hem girdi hem çıktı) bulanık değişkenlere

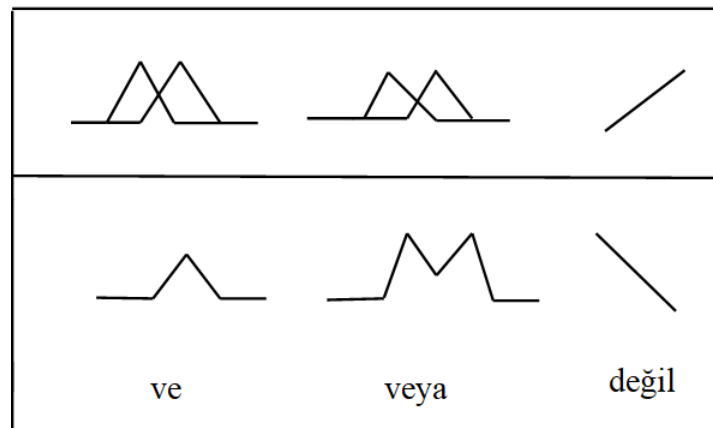
dönüştürmek gerekir. Sonra istenen çıktıyı elde etmek için bu veriler ile bulanık çıkarım yöntemi uygulanır. Son olarak bu bulanık çıktılarla istenen kontrol hedeflerine ulaşabilmek için, değişkenlerin tekrar netleştirilmesi gerekir (Hájek, 2013)

4.5.1. Bulanık kontrol kuralları

Bulanık kontrol kuralı, ilgili herhangi bir uygulama alanında bir uzman bilgisi olarak kabul edilebilir. Bulanık kural, IF-THEN formunun bir dizisi ile temsil edilir. Bu, kapalı döngü kontrol sistemi uygulandığında hem giriş hem de geri besleme içeren, hali hazırda gözlemlenen bilgi açısından hangi eylemin veya çıkışın alınması gerektiğini açıklayan algoritmaların elde edilmesini sağlar. Bir dizi bulanık kural tasarlama veya oluşturma kanunu, her bir insanın farklı gerçek uygulamasına bağımlı olan bilgi veya deneyimlerine dayanmaktadır (L.-X. Wang & Wang, 1997)

Bulanık IF-THEN kuralı, dilsel değişkenler ve bulanık kümeler kullanılarak açıklanan bir durumu bir sonuca ilişkilendirir. IF (EĞER) bölümü esas olarak elastik koşulları kullanarak bilgiyi yakalamak için kullanılır ve THEN (ÖYLEYSE) kısmı, dilsel değişken formunda sonuç veya çıktı vermek için kullanılabilir. Bu IF-THEN kuralı, giriş verilerinin bir kuralın koşullarıyla eşleşme derecesini hesaplamak için bulanık çıkarım sistemi tarafından yaygın olarak kullanılır.

Tek bir bulanık IF-THEN kuralı aşağıdaki gibi olabilir: (Eğer X A ise öyleyse Y, Z'dir) A'nın tahmin edilmesi gereken bir koşul kümesi olduğu ve Z'nin çıkarılabilecek bir sonuç kümesi olduğunu gösterir. Birden fazla parçalı kurallarda, bulanık operatörler birden fazla girişi birleştirmek için kullanılabilir: AND = min., OR = max. ve NOT = değil gibi. Bulanık operatörlerin geometrik gösterimi, Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Bulanık operatörlerin geometrik gösterimi

Çoğu gerçek uygulama için iki tip bulanık kontrol kuralları sık bir şekilde kullanılmaktadır. Biri bulanık haritalama kuralları, diğeri ise bulanık çıkarım kuralları olarak nitelendirilir. Bulanık haritalama kuralları, eşleştirme sırasında değişkenler kullanarak, giriş ve çıkış arasında işlevsel bir haritalama sağlar (Nguyen, Walker, & Walker, 2018)

Bir bulanık haritalama kuralının temeli, bulanık giriş ve bulanık çıkış arasındaki ilişkiyi açıklayan bir grafiğe dayanır. Bazen gerçek uygulamalarda, giriş ile çıkış arasında belirli bir ilişki üretmek çok zordur ve bu ilişki oluşturulduğunda bile bu girişler ve çıkışlar arasındaki ilişki çok karmaşık olabilir. Bulanık haritalama kuralları böyle durumlarda çıkış yoludur. Bulanık haritalama kuralları, insan düşüncesine benzer şekilde çalışmaktadır. Bulanık çıkarım kuralı, girişler ve çıkışlar arasındaki genelleştirilmiş mantık uygulama ilişkisini tanımlar (Wang ve Wang, 1997).

4.4.2. Bulanık çıkarım

Bulanık çıkarım sistemi; bulanık küme teorisi, bulanık IF-THEN kuralları ve bulanık mantık kavramlarına dayanan popüler bir hesaplama çerçevesidir. Otomatik kontrol, karar analizi, veri sınıflandırması, uzman sistemlerde zaman serisi tahmini, robotik ve örüntü tanıma gibi bir çok alanda başarılı uygulamaları olmuştur. Çok disiplinli yapısı nedeniyle, bulanık çıkarım sistemi, bulanık kural tabanlı sistem, bulanık uzman sistemi, bulanık model, bulanık çağrışımsal bellek, bulanık mantık denetleyicisi ve belirsiz bulanık sistem gibi pek çok farklı isimle bilinmektedir.

Bulanık çıkarım sisteminin temel yapısı üç kavramsal bileşenden oluşmaktadır:

- a. Bulanık kuralların seçimini içeren bir kural tabanı.
- b. Bulanık kurallarda kullanılan üyelik fonksiyonlarını tanımlayan veri tabanı.
- c. Mantık kurallarına göre çıkarım prosedürünü yerine getiren ve makul bir çıktı ya da sonuç çıkarmak için gerçekleri veren akıl yürütme mekanizması (Zadeh, Klir, & Yuan, 1996)

Temel bulanık çıkarım sistemi, bulanık girişler veya net girişler içerebilir, ancak ürettiği çıktılar neredeyse her zaman bulanık kümelerdir. Bulanık çıkarım sistemi bir denetleyici olarak kullanıldığı zaman, net bir çıktıya sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle, bir bulanık kümeyi en iyi temsil eden net bir değer elde etmek için bir çözüme

yöntemine ihtiyaç duyulmaktadır. En çok kullanılan bulanık çıkarım sistemleri şunlardır:

Mamdani Bulanık Modeli

Mamdani bulanık çıkarımı en yaygın görülen bulanık metodolojidir ve bulanık set kuramı kullanılarak yapılan ilk kontrol sistemleri arasında yer almıştır. 1975 yılında Ebrahim Mamdani tarafından, tecrübeli insan operatörlerinden elde edilen bir dizi dilsel kontrol kurallarını sentezleyerek, bir buhar motoru ve kazan kombinasyonunu kontrol etme çabası olarak önerilmiştir. Mamdani'nin çabası, karmaşık sistemler ve karar süreçleri için bulanık algoritmalar konusunda 1973 yılında yayımlanan Lotfi Zadeh'in makalesine dayanıyordu. Mamdani bulanık modeli altı aşamada gerçekleştirilmektedir:

- Bulanık kuralların belirlenmesi.
- Giriş için üyelik fonksiyonu kullanılarak girişlerin bulanık hale getirilmesi.
- Bulanık girişleri bulanık kurallara göre birleştirerek kural gücü oluşturulması.
- Çıktı üyelik işlevini ve kural gücünü birleştirerek kuralın sonucunun belirtilmesi.
- Çıkış dağılımı elde etmek için tüm sonuçların birleştirilmesi.
- Son olarak, kusurlu bir çıkış dağılımı elde edilmesi (Hellendoorn & Driankov, 2012)

TSK Çıkarım Modeli

Takagi-Sugeno-Kang (TSK) modeli 1985'te Takagi, Sugeno ve Kang tarafından ortaya atılmıştır. Bu kuralın formatı şu şekildedir:

Eğer $X = A$ ise ve $Y = B$ ise, $Z = f$ 'dir (x, y)

Burada A , B ve Z nümerik sabitlerdir. Takagi-Sugeno Fuzzy Model (TS Metodu) altında bulanık çıkarım süreci aşağıda belirtildiği gibi çalışmaktadır:

- Girişlerin bulanıklaştırılması: Burada, sistemin girişleri bulanık hale getirilir.
- Bulanık operatörün uygulanması: Bu adımda, çıktı almak için bulanık operatörler uygulanır.

Mamdani Bulanık Modeli ve TSK Çıkarım ile İki Yöntemin Karşılaştırması

- 1- Çıkış Üyelik fonksiyonu: Aralarındaki temel fark, çıktı üyelik işlevine dayanmaktadır. Sugeno çıkış üyelik fonksiyonları doğrusal veya sabittir.
- 2- Matematiksel Kurallar: Sugeno kuralı için Mamdani kuralından daha fazla matematiksel kural vardır.
- 3- Ayarlanabilir Parametreler: Sugeno kontrol modeli, Mamdani kontrolöründen daha fazla sayıda ayarlanabilir parametrelere sahiptir(Ren, Baron, & Balazinski, 2006)

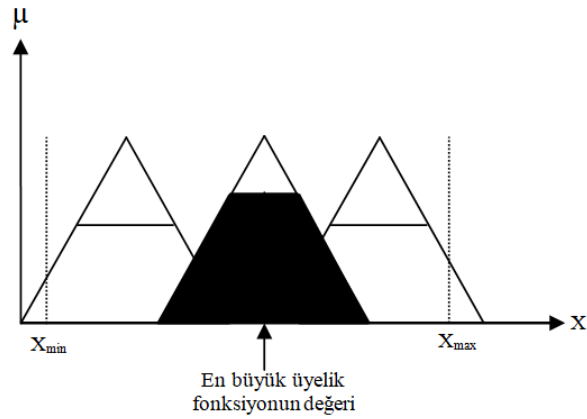
4.4.2. Durulaştırma

Giriş ve çıkış üyelik fonksiyonlarıyla bulanık kuralların birleşiminden elde edilen sonuç veya kontrol çıktısı, hala belirsiz ya da bulanık bir elemandır. Bu süreç, bulanık çıkarım olarak adlandırılmaktadır. Bulanık kümesini özetleyen tek bir net değere ulaşmak için durulaştırma işlemine ihtiyaç duyulmaktadır. Üç matematiksel teknik yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar: En büyüklerin ortası yöntemi (EBO), Ağırlık merkezi yöntemi (AM) ve iki bölümlü alan merkezi yöntemi (İBAM) (Rajasekaran & Pai, 2003)

4.4.2.1. En büyüklerin ortası yöntemi (EBO)

En büyüklerin ortası yöntemi (EBO), en yüksek dereceye sahip olan bulanık sonuçların veya çıktıların ortalama değerini hesaplar. Z, ayrık bir evren varlığında denetim etkinliği, j üyelik fonksiyonunun en büyüğe ulaştığı denetim etkinliği, k bu şekildeki denetim etkinliklerinin sayısı olmak üzere aralarındaki ilişki Şekil 4.11'deki gibidir; (Zadeh et al., 1996)

$$z_0 = \sum_{j=1}^k \frac{z_j}{k} \quad (4.12)$$

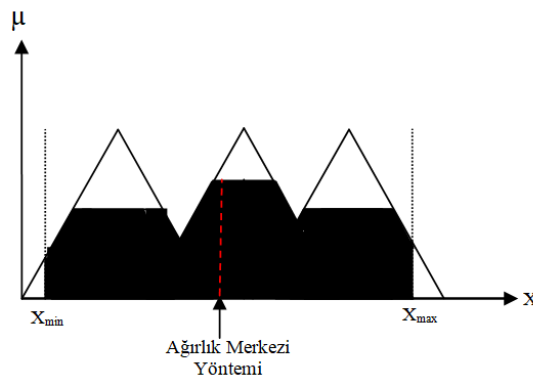


Şekil 4.11. EBO durulaştırma yönteminin gösterimi

4.4.2.2. Ağırlık merkezi yöntemi (AM)

Sentroid yöntemi de denilen, yaygın olarak kullanılan ağırlık merkezi stratejisi bulanık C kümesinin olasılık dağılımının çekim noktasını üretir. Çıktının nicelendirme sayısı n olduğunda, C, (z) çıkış boyutunda tanımlanan bir bulanık kümedir (De Silva, 2018). Şekil 4.12’de ağırlık merkezi yönteminin durulaştırma yöntemi görülmektedir.

$$z_0 = \frac{\sum_{j=1}^n \mu_C(z_j)(z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu_C(z_j)} \quad (4.13)$$



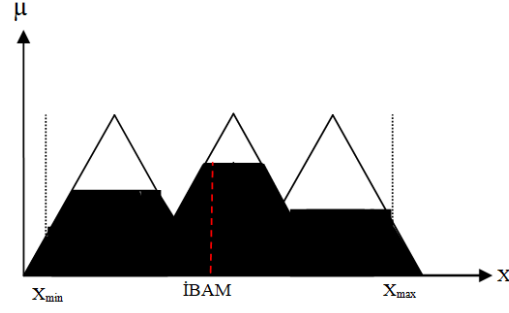
Şekil 4.12. Ağırlık merkezi durulaştırma yönteminin gösterimi

4.4.2.3. İki Bölümlü Alan Merkezi Yöntemi (İBAM)

Eğer çıkış bulanık alt kümesi, en azından iki tane dışbükey alt kümeyi içeriyorsa, dışbükey bulanık kümelerin en büyük alanlısının ağırlık merkezi, durulama

işleminde kullanılır (De Silva, 2018). Şekil 4.13’de İBAM yönteminin durulaştırma yöntemi görülmektedir.

$$z_0 = \frac{\int \mu_c(z) \cdot z \, dz}{\int \mu_c(z) \, dz} \quad (4.14)$$



Şekil 4.13. İBAM durulaştırma yönteminin gösterimi

5. PETRİ AĞLARI

Petri Ağları dinamik ve ayrık olay sistemlerinin modelleme ve performans değerlendirmesine yardımcı olan bir matematiksel ve grafiksel modelleme tekniğidir.1960'lı yıllardan beri Petri ağları, senkron, asenkron, stokastik sistemlerin tasarımında, analizinde ve kontrolünde kullanılmıştır.

Petri Ağları grafiksel ve matematiksel olarak ikiye ayrılmaktadır. Grafiksel petri ağları sistemin görsel halini göstermektedir. Matematiksel model ise sistemin davranışını gösteren durum denklemlerinin cebirsel ilişkilerinin geliştirilmesini sağlamaktadır (Murata, 1989).Bu, Petri Ağlarının hem nitel hem de nicel analizde kullanılabilirliğini göstermektedir.Nitel analizin amacı, modellenen sistemin doğruluğunu kanıtlamaktır (kilitleme olmaması, kapasite kısıtı olmaması, ortak kaynak kullanımının karşılıklı dışlanması).Nicel analizin amacı; performans (çıkış oranı, vb.), İşlemin ortalama tamamlanma süresi, ortalama sıra uzunlukları ve kaynak kullanım oranları gibi özellikleri ortaya koymaktır. Kısacası, nitel analiz sistemin doğruluğunu, nicel analiz ise sistemin verimliliğini değerlendirir (Dicesare vd. 1993).

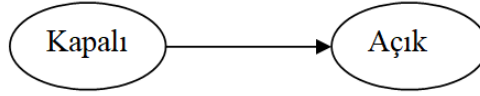
Petri Ağlarının ayrık olay sistemleri için avantajları şöyle sıralanabilir (KOÇ, 2017),Petri Ağları gerçek zamanlı olarak sistemlerin izlenmesi için kullanılabilir.

- Çoğu sistemde, performans analizi simülasyon gerektirmeden gerçekleştirilebilir.
- Asenkron operasyonlar, çatışma, karşılıklı dışlanma, paralellik, öncelikli ilişkiler, modellenecek sistemdeki stokastiklik gibi karmaşık özellikler Petri Ağları ile kolayca modellenebilir.
- Petri ağını modelleyerek sistemdeki istenmeyen durumlar kolayca anlaşılabilir.
- Kontrol kodları Petri ağ modelinden yaratılabilir.
- Petri ağ modelini doğrudan kullanarak ayrık olay simülasyonu gerçekleştirilebilir.

Her ne kadar Petri ağları, ayrık olay sistemleri için orijinal olarak geliştirilmiş olsa da, şimdi sürekli ve hibrit sistemler için kullanılabilir. Zaman, renk, hiyerarşi ve bulanıklık gibi teknikleri kullanmak Petri ağlarının modelleme yeteneğini yavaş yavaş artırdığını göstermektedir.

Herhangi bir sistem bir dizi faaliyetten oluşur ve sistem, bu faaliyetlerden önce ve sonra sistemin durumları listelenerek modellenebilir.Bir faaliyet, sistemi bir

durumdan diğere getirir, yani etkinlik durum geçişine neden olur. Tüm bu durum geçişlerine, grafiksel olarak temsil, durum geçiş diyagramı denir.



Şekil 5.1. Kapalı-Açık geçişi için durum geçiş şeması

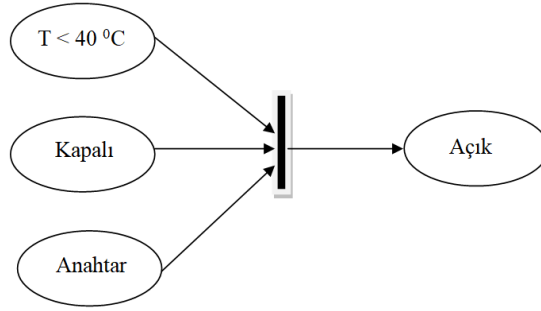
Şekil 5.1’de görülen durum geçiş şeması, sistemin KAPALI durumdan AÇIK durumuna bir geçiş geçirdiğini göstermektedir. Bu durumda aktivite, bir anahtara basmak olabilir.Şekil 5.1’e daha yakından bakıldığında, bir durum geçiş şemasının iki unsurdan oluşan yönlendirilmiş bir grafik olduğu ortaya çıkar: düğümler (sistemin durumunu temsil eder) ve yaylar (durum geçişinin yönünü temsil eder).

Resimsel olarak düğümler daireler tarafından temsil edilir. Yaylar iki türdür: giriş yayları ve çıkış yayları. Şekil 5.1’de, kapalı ve açık durumunu temsil eden iki düğüm vardır.Şekil 5.1’deki tek yay, kapalı düğümüne göre çıkış yayı ve açık düğüme göre giriş yayıdır.

Durum-geçiş gösteriminde, yukarıda gösterildiği gibi bazı ciddi sınırlamalar vardır. Şekil 5.1’de görülebileceği gibi, aktivitenin kendisinin bir temsili yoktur. Ayrıca, geçişin gerçekleştiği durumu (varsa) temsil etmek için çok az alan vardır veya hiç kapsam yoktur (sıcaklık 40°C 'nin altındaysa, sistemin Kapalı’dan Açık durumuna geçmesi için düğmeye basılmalıdır).

Buna ek olarak, Birincisi önce sistemin küresel durumunu tanımlamalı ve daha sonra her durumdaki tüm olayları sıralamalıdır. Muhtemel bir sonuç, karmaşık sistemler için durum patlama problemidir.

Bu sınırlamaların bazılarının üstesinden gelebilecek bir formalizm Petri ağlarıdır. İki çeşit düğüm tanıtarak daha fazla modelleme esnekliği sağlar; Biri (yerleri denir) durumları ve / veya koşulları temsil ederken, diğeri (geçişleri denir) faaliyetleri temsil eder. Yerel durumlardan ziyade küresel durumları kullanır. Böylece modelleme aşamasında durum numaralandırma problemlerinden kaçınılır.Açıkça öncelik ilişkilerini, çelişkili durumları, senkronizasyon kavramlarını, eşzamanlı işlemleri ve karşılıklı olarak özel olayları temsil edebilir.



Şekil 5.2. Kapalı-Açık geçişi için Petri net grafiği

Şekil 5.2'deki Petri net grafiği, sistem Kapalı durumda olduğunda ve sıcaklık 40 °C'nin altında olduğunda ve şalter basıldığında sistemin Kapalı durumundan Açık durumuna geçtiğini gösterir. Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'nin karşılaştırması, Petri net grafiğinin durum geçiş diyagramı üzerinde nasıl daha fazla modelleme gücü ve esnekliği sağladığını göstermektedir. Şekil 5.2'ye daha yakından bakıldığında, bir Petri ağının iki unsurdan oluşan yönlendirilmiş bir grafik olduğu ortaya çıkar: düğümler (yerler ve geçişler) ve yaylar (giriş ve çıkış). Resimsel olarak yerler halkalarla temsil edilir ve geçişler çubuklarla gösterilir. Yaylar ağırlıkları ile etiketlenir (pozitif tamsayılar) - birlik ağırlığı için etiketler genellikle kullanılmaz.

Düğümler ve yaylar Petri ağının statik yapısını oluşturur. Ağın dinamik davranışı, sistemin çeşitli durumlarını temsil eden “jeton” tarafından verilmektedir. Belirli bir durum, sistemin davranışının anlık görüntüsüdür. Bir yerin durumu, yeri temsil eden dairede jeton olarak adlandırılan siyah noktaların varlığı (koşul tutuyor) veya bulunmaması (koşul tutmaz) ile temsil edilir. Modellenen sistemin mevcut durumu (sistemi işaretleyen) her yerdeki belirteçlerin sayısı ve türü (belirteçler ayırt edilebilirse) verilmiştir. Yerler ve yaylar ağın pasif bileşenleri olsa da, geçişler aktif bileşenlerdir. Bir girişin tüm giriş yerleri ve çıkış yerleri jetonları içermediğinde, geçiş tetiklenir. Bir geçişin ateşlenmesi (başlatılması), jetonları tüm giriş alanlarından çıkış alanlarına yerleştirir. Böylece, jeton akışı geçişlerin ateşlenmesi ile gerçekleşir. Sistem bir geçişin ateşlenmesiyle yeni bir işaretleme elde eder.

5.1. Petri Ağının Tanımı

Bir Petri ağı, “N”, matematiksel olarak dört-parçalı bir $N = (P, T, I, O)$ ile temsil edilen, çift taraflı, ağırlıklı, yönlendirilmiş bir çoklu grafiktir. Buradaki

$$\begin{array}{l}
 P = \{ p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_n \} \text{ sınırlı bir yer kümesidir} \\
 P \cup T \neq \emptyset \quad T = \{ t_1, t_2, \dots, t_j, \dots, t_m \} \text{ sınırlı bir geçişler kümesidir}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} P \\ P \cup T \neq \emptyset \end{array}} \right\} \begin{array}{l} \text{Düğüm} \\ \text{tanımı} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} P \\ P \cup T \neq \emptyset \end{array}} \right\} P \cap T = \emptyset$$

$$\begin{array}{l}
 I: (P \times T) \rightarrow N^+ \\
 N^+ = \{0, 1, 2, \dots\}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} I \\ N^+ \end{array}} \right\} \text{OK tanımı} \left. \vphantom{\begin{array}{l} I \\ N^+ \end{array}} \right\} \begin{array}{l} O: (P \times T) \rightarrow N^+ \\
 N^+ = \{0, 1, 2, \dots\}
 \end{array}$$

Düğüm tanımı, yer kümesinin ve geçiş kümesinin ayırık olduğunu (ortak öğelere sahip olmadığını) ve ağda en az bir düğümün ($x \in P \cup T$) bulunduğunu belirtmektedir. Ok kümesi (F) iki tür fonksiyon tanımlar: giriş fonksiyonu (I) ve çıkış fonksiyonu (O).

Bu giriş çıkış fonksiyonları, jetonların yerlerden geçişlere ve geçişlerden yerlere akışını tanımlar. $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ olduğuna dikkat edin. Yine $|P| = n$ ve $|T| = m$, sıradan bir Petri ağının n yeri ve m geçişi olduğu anlamına gelir. Bu gösterim sonraki tartışmalarda kullanılacaktır. Genel bir yer elemanı p_i ile gösterilir ve genel bir geçiş t_j ile gösterilir. Daha önce de belirtildiği gibi, $i = 1, 2, \dots, n$ ve $j = 1, 2, \dots, m$.

(Tadao, 1990), Petri net tanımında giriş-çıkış fonksiyonlarını (I ve O) kullanmak yerine ok kümesini (F) ve bir ağırlık fonksiyonunu (W) kullanmayı tercih etmektedir. Bu gösterimde, bir Petri ağı, dörtlü, $N = (P, T, F, W)$ ile temsil edilir, burada $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ akış ilişkisini tanımlar, $W: F \rightarrow N^+$ bir ağırlık fonksiyonu, $N^+ = \{1, 2, 3, \dots\}$ ok ağırlığı aşağıdaki şekilde tanımlanır. Eğer $I(p_i, t_j) = k$, burada $k > 1$ bir tamsayıdır, p_i 'den t_j 'ye geçişe yönlendirilmiş bir ok k ile çizilir. $k = 1$ ise, etiketlenmemiş bir ok çizilir ve $k = 0$ olduğunda gerçekleşirse ok çekilmez. Sıradan bir Petri ağı, tüm yayların birlik ağırlıklı (ve dolayısıyla etiketlenmemiş) olduğu, matematiksel olarak dört faktör ile tanımlanır. $N = (P, T, I, O)$, burada $P, \forall t \in T, I(p, t) \leq 1$ ve $O(p, t) \leq 1$

Sıradan olmayan bir Petri ağını, genelliği feda etmeden sıradan bir Petri ağına dönüştürmek her zaman mümkündür ancak bazen modelleme kolaylığı nedeniyle sıradan olmayan Petri ağları tercih edilir. Bir PN grafiğindeki geçişlerin bir DES'e ilişkin olayları temsil ettiğini ve yerlerin bu olayların gerçekleşebilmesi için gerekli koşulları tanımladığı bilinmektedir. Bu bilgilerden yola çıkarak söz konusu koşulların sağlanıp sağlanmadığını belirlemek için bir mekanizmaya ihtiyaç duyulmaktadır. İşte bu

mekanizma, PN'deki durum geçiş mekanizması, jetonların bir yerden başka bir yere taşınmasıyla sağlanmaktadır. Böylelikle PN'nin durumu değiştirilmiş olur ve PN bulunduğu durumdan başka bir duruma geçer. Bu da ancak aktif olan geçişlerin tetiklenmesiyle (firing) sağlanabilir. PN'ye ilişkin durum geçiş fonksiyonu, aktifleşmiş geçişlerin tetiklenmesiyle PN'nin bulunduğu durumda meydana gelen değişimler olarak tanımlanır. Bir işaretli Petri ağı beş faktörden oluşur, $N = (P, T, I, O, M)$, burada her yerde doğal sayı atayan bir fonksiyon olarak izlenebilir (Tüysüz, 2010)

Özetlemek gerekirse bir geçişin tetiklenmesi ile alakalı olarak aşağıdakiler söylenebilir:

- Eğer bir geçişe ilişkin bütün giriş yerleri ,en az bu yerleri ilgili geçişe bağlayan yayların ağırlık değeri kadar jeton içeriyorsa söz konusu geçiş aktifleşmiş demektir.
- Ancak aktifleşmiş bir geçiş tetiklenebilir. Böylelikle bir PN'nin bir durumdan başka bir duruma geçmesi sağlanabilir.
- Aktifleşmiş bir geçiş tetiklendiğinde her bir giriş yerinden o giriş yerini söz konusu geçişe bağlayan yayın ağırlık değeri kadar jeton alınır.
- Aktifleşmiş bir geçiş tetiklendiğinde her bir çıkış yerine söz konusu geçişi o çıkış yerine bağlayan yayın ağırlık değeri kadar jeton konulur.

Şunu belirtmekte fayda vardır: Aktifleşmiş bir geçiş her zaman tetiklenemeyebilir; çünkü bir geçiş olaylarla ilişkilendirilmiştir ve pratikte bazen PN'deki koşullar sağlanmış olsa dahi geçişlerin tetiklenebilmesi için olaylara ilişkin bazı harici koşulların da sağlanmış olması gerekebilir.

5.2. Geçiş Ateşleme Kuralı

Modellenmiş bir petri ağının çalışması geçiş ateşleme kuralı ile açıklanır. Ateşleme kuralı aşağıda verilmiştir:

1. M işaretlemesindeki (konfigürasyonundaki) t geçişinin ateşlenmesi, geçişin giriş yerlerinden(p) $W(p,t)$ adet jetonun tüketilmesine ve geçişin çıkış yerlerinde (p) $W(p,t)$ adet jetonun üretilmesine sebep olur.

M işaretlemesindeki (konfigürasyonundaki) bir geçiş için, sadece ve sadece $M(p) \geq W(p,t)$ koşulu sağlanıyorsa, yani geçişin giriş yerlerinde tüketim için yeterli jeton varsa geçiş etkinleştirilmiştir (tetiklenebilir/ateşlenebilir) (Desel & Esparza, 2005)

5.3. Petri Ağlarının Temel Parçaları

Bir Petri ağı (PN) dört temel bileşenlerden oluşmaktadır, $PN = (P, T, I, O)$. I giriş O ise çıkış olarak tanınmaktadır.

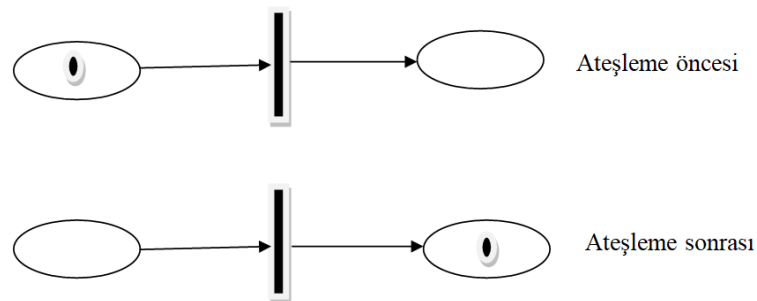
- Yer : Eylemlerin gerçekleşebilmesi için gereken durum veya koşulları temsil eder. $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ & yer kümesidir. ○
- Geçiş : Ateşlemenin (fire) yapıldığı, eylemi sembolize eden noktalardır. $T = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ & geçiş kümesidir. |
- Ark : Ateşlemenin yolunu belirler ve ağırlıkları (weight) vardır. →
- İşaret (Token): ateşleme ile başka yerlere taşınabilir. Şartlar sağlanmıyorsa geçişlerde ateşleme olmaz ve işaretler taşınamaz. ●

Bir Petri ağ yapısı, C kümesinden oluşur, $C = (P, T, F, W)$, $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ yerler, $n \geq 0$, $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ geçişler, $m \geq 0$, $F = (P \times T) \cup (T \times P)$ akış bağıntısı. $W: F \hat{=} \{1, 2, 3, \dots\}$ ağırlık fonksiyonunun yerler ve geçişler kümeleri ayrıktır, $P \cap T = \emptyset$. (Peterson, 1977).

Aşağıdaki resimlerde farklı durumlar için petri net sistemin nasıl çalıştığı gösterilmiştir:

Durum 1:

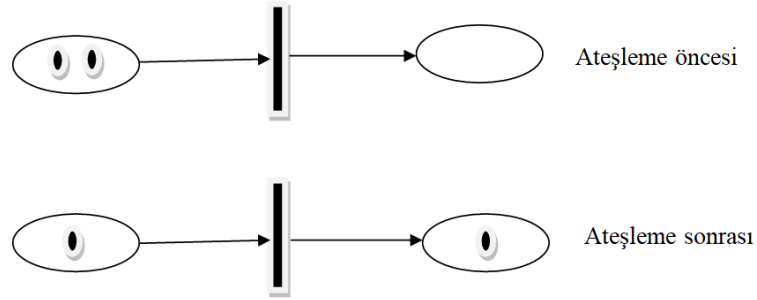
Birinci durumda Şekil 5.3'de gösterilen modeldeki gibi, 1 giriş 1 çıkış ve 1 geçiş (transition) bulunmaktadır. Geçişin ateşlemesi için bir token (jeton) olması gerekmektedir. Dolayısıyla giriş boşaltılıp ateşleme gerçekleştirilerek jeton çıkışa geçirilir (Desel & Esparza, 2005)



Şekil 5.3. Durum 1 için ateşleme öncesi ve sonrası

Durum 2:

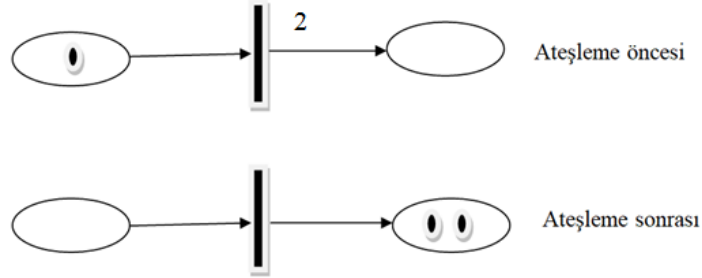
İkinci durumda Şekil 5.4’de görüldüğü gibi ateşlemenin gerçekleşmesi için giriş kısmında iki jetona, çıkış kısmında ise bir jetona ihtiyaç duyulmaktadır. Bu şart sağlandığında, ateşleme gerçekleşerek girişin bir jetonu kalır, diğer jeton ise çıkışa aktarılmış olur.



Şekil 5.4. Durum 2 için ateşleme öncesi ve sonrası

Durum 3:

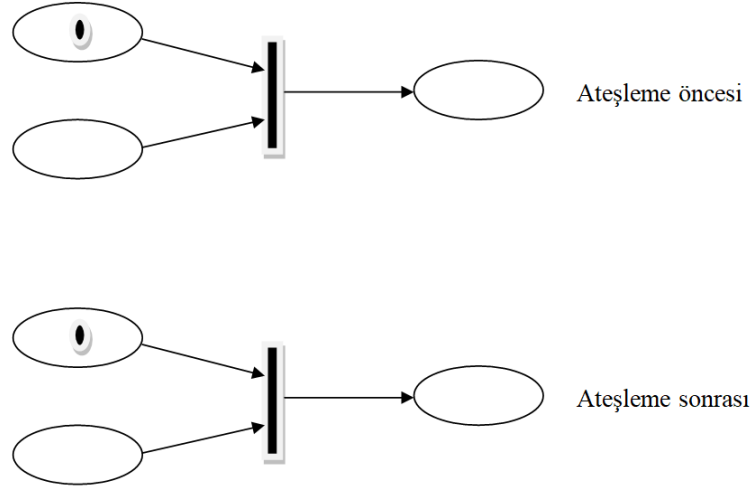
Şekil 5.5’deki ateşlemenin gerçekleştirilmesi için giriş tarafında bir jetona, çıkış tarafında ise iki jetona ihtiyaç duyulmaktadır. Şart sağlandığı için ateşleme gerçekleştirilerek çıkışta iki jeton elde edilir.



Şekil 5.5. Durum 3 için ateşleme öncesi ve sonrası

Durum 4:

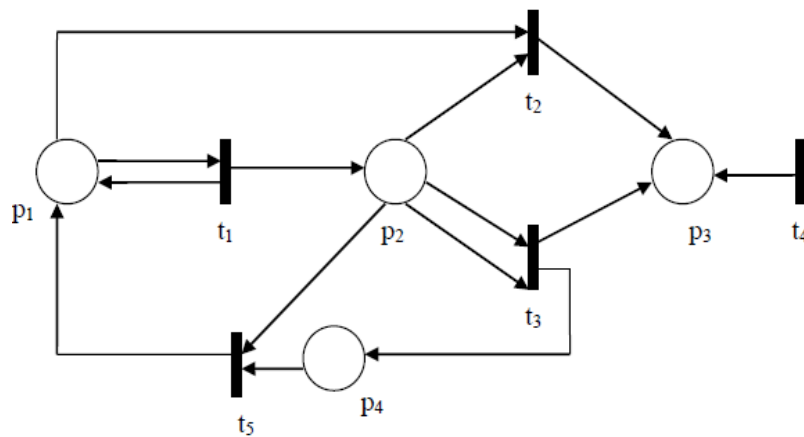
Şekil 5.6’da önceki durumlarda farklı bir olayla karşılaşılmaktadır. Birinci giriş bir jetona sahip olmasına rağmen ikinci girişte jeton olmadığı için ateşleme gerçekleştirilememektedir.



Şekil 5.6. Durum 4 için ateşleme öncesi ve sonrası

5.4. Petri Net Grafiği

Bir Petri ağ yapısının bir grafik gösterimi Petri ağının kavramlarını göstermek için çok daha yararlıdır. Bir Petri ağ grafiği, geçişleri (olayları) çubuklarla temsil eder ve daireler yerleri temsil etmektedir. Giriş-çıkış ilişkileri, yerler ve geçişler arasındaki yönlendirilmiş yaylarla temsil edilir. Bir yerden (p_j) bir geçişe (t_j) yönlendirilen bir yay, geçişin bir girişi olarak o yeri tanımlar. Geçişe birden çok giriş, giriş yerlerinden geçişe kadar çoklu arklarla gösterilir. Bir çıkış yeri, geçişten yere giden arklarla gösterilir. Yine çoklu çıkışlar çoklu arklarla temsil edilir. Ek olarak, yaylar yönlendirildiğinden, Petri ağı yönlendirilmiş çoklu bir grafiştir. Örnek bir PN grafik Şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.7. Petri net grafik örneği

Şekil 5.7’de gösterilen PN grafik için aşağıdakiler yazılabilir:

$$P = \{p_1, p_2, p_3, p_4\} \quad (5.1)$$

$$T = \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5\} \quad (5.2)$$

$$A = \{(p_1, t_1), (p_1, t_2), (p_2, t_2), (p_2, t_3), (p_2, t_5), (p_4, t_5), (t_1, p_1), (t_1, p_2), (t_2, p_3), (t_3, p_3), (t_3, p_4), (t_4, p_3), (t_5, p_1)\} \quad (5.3)$$

$$\begin{aligned} w(p_1, t_1) &= 1 & w(p_1, t_2) &= 1 \\ w(p_1, t_2) &= 1 & w(p_2, t_2) &= 1 \\ w(p_2, t_3) &= 2 & w(p_2, t_5) &= 1 \\ w(p_4, t_5) &= 1 & w(t_1, p_1) &= 1 \\ w(t_1, p_2) &= 1 & w(t_2, p_3) &= 1 \\ w(t_3, p_3) &= 1 & w(t_3, p_4) &= 1 \\ w(t_4, p_3) &= 1 & w(t_5, p_1) &= 1 \end{aligned} \quad (5.4)$$

Grafikten anlaşıldığı üzere t_4 geçişinin hiçbir girişi yoktur. t_4 geçişi hiçbir koşula bağlı olmadan gerçekleşebildiği anlamına gelir. t_2 geçişine ilişkin olayın gerçekleşebilmesi için p_1 ve p_2 yerlerindeki mevcut koşulların sağlanmış olması gerekir. Eşitlik 5.6'da PN grafiğinde bulunan geçişlere ilişkin giriş ve çıkış fonksiyonları gösterilmiştir: (Peterson, 1977).

$$\begin{aligned} I(t_1) &= \{p_1\} & O(t_1) &= \{p_1, p_2\} \\ I(t_2) &= \{p_1, p_2\} & O(t_2) &= \{p_3\} \\ I(t_3) &= \{p_2\} & O(t_3) &= \{p_3, p_4\} \\ I(t_4) &= \emptyset & O(t_4) &= \{p_3\} \\ I(t_5) &= \{p_2, p_4\} & O(t_5) &= \{p_1\} \end{aligned} \quad (5.5)$$

5.5. İşaretli Petri Ağları

Bir PN grafiğindeki geçişlerin bir DES'e ilişkin olayları temsil ettiği ve yerlerin bu olayların gerçekleşebilmesi için gerekli koşulları tanımladığı bilinmektedir. Bu bilgilerden yola çıkarak söz konusu koşulların sağlanıp sağlanmadığını belirlemek için bir mekanizmaya ihtiyaç duyulmaktadır. İşte bu mekanizma, PN'deki durum geçiş mekanizması, jetonların bir yerden başka bir yere taşınmasıyla sağlanmaktadır. Böylelikle PN'nin durumu değiştirilmiş olur ve PN bulunduğu durumdan başka bir duruma geçer. Bu da ancak aktif olan geçişlerin tetiklenmesiyle (firing) sağlanabilir. PN'ye ilişkin durum geçiş fonksiyonu, aktifleşmiş geçişlerin tetiklenmesiyle PN'nin bulunduğu durumda meydana gelen değişimler olarak tanımlanır. Özetlemek gerekirse

bir geçişin tetiklenmesi ile alakalı olarak aşağıdakiler söylenebilir:

- Eğer bir geçişe ilişkin bütün giriş yerleri en az bu yerleri ilgili geçişe bağlayan yayların ağırlık değeri kadar jeton içeriyorsa söz konusu geçiş aktifleşmiş demektir.
- Ancak aktifleşmiş bir geçiş tetiklenebilir. Böylelikle bir PN'nin bir durumdan başka bir duruma geçmesi sağlanabilir.
- Aktifleşmiş bir geçiş tetiklendiğinde, her bir giriş yerinden o giriş yerini söz konusu geçişe bağlayan yayın ağırlık değeri kadar jeton alınır.

Aktifleşmiş bir geçiş tetiklendiğinde, her bir çıkış yerine söz konusu geçişi o çıkış yerine bağlayan yayın ağırlık değeri kadar jeton konulur (Desel & Esparza, 2005)

Şunu belirtmekte fayda vardır: Aktifleşmiş bir geçiş her zaman tetiklenemeyebilir; çünkü bir geçiş olaylarla ilişkilendirilmiştir ve pratikte bazen PN'deki koşullar sağlanmış olsa dahi geçişlerin tetiklenebilmesi için olaylara ilişkin bazı harici koşulların da sağlanmış olması gerekebilir.

5.6. Petri Ağ Özellikleri

Matematiksel bir araç olarak, Petri ağları bir takım özelliklere sahiptir. Bu özellikler, modellenen sistem bağlamında yorumlandığı zaman sistem tasarımcısının, tasarım altındaki sistemin uygulama alanına özgü fonksiyonel özelliklerin varlığını veya yokluğunu tanımlamasına izin vermektedir. İki tip özellik ayırt edilebilir; davranışsal ve yapısal özellikler. Davranışsal özellikler, bir Petri ağının başlangıç durumuna veya işaretine bağlı olan özelliklerdir. Diğer taraftan, yapısal özellikler bir Petri ağının ilk işaretine bağlı olmayıp bir Petri ağının topolojisine veya net yapısına bağlıdır. Burada, pratik bakış açısıyla davranışsal özellikler hakkında genel bir bakış sunulmaktadır. Bunlar; erişilebilirlik, güvenlik ve canlılıktır (Girault ve Valk, 2013).

5.6.1. Erişilebilirlik

Olay odaklı sistemlerin tasarlanmasındaki önemli bir husus, bir sistemin belirli bir duruma ulaşip ulaşamayacağı ya da belirli bir fonksiyonel davranış sergileyip sergileyemeyeceğidir. Genel olarak soru, bir Petri ağı ile modellenen sistemin, gereksinim şartnamesinde belirtilen tüm istenen özellikleri gösterip göstermediğidir ve istenmeyen özelliklerin bulunup bulunmadığıdır.

Modellenen sistemin gerekli bir fonksiyonel davranış sonucu belirli bir duruma ulaşım ulaşılamayacağını bulmak için, M_i 'nin belirli bir durumu temsil ettiği M_0 işaretini M_i 'ye dönüştürecek böyle bir geçiş ateşleme sırası bulmak gerekmektedir. Ateşleme sırası gerekli fonksiyonel davranışı temsil eder. Gerçek bir sistemin, M_0 'ı istenen M_i 'ye dönüştürecek izin verilen farklı fonksiyonel davranış modellerinin sergilenmesi sonucunda belirli bir duruma ulaşabileceği belirtilmelidir. Petri net modelinde, M_0 'ı M_i 'ye dönüştüren ilave geçiş ateşi dizilerinin varlığı, Petri net modelinin, alttaki sistemin yapısını ve dinamiklerini tam olarak yansıtmayabileceğini göstermektedir. Bu aynı zamanda, Petri net modelinin temel sistem gereksinimi tanımını doğru şekilde yansıtmaması şartıyla, gerçek sistemin işlevsel davranışının beklenmeyen yönlerinin varlığını da gösterebilir. Bir işaretleme M_i 'nin, bir işaretleme M_0 'ı M_i 'ye dönüştüren bir dizi geçiş ateşi dizisi varsa, M_0 işaretinden erişilebilir olduğu söylenir. M_1 'de etkin bir geçiş yapıldığında M_1 'in M_1 'den derhal ulaşılabilir olduğu söylenir (Reisig, 2012)

5.6.2. Güvenlik

Bir Petri ağında, iletişim ve bilgisayar sistemlerinde bilgi depolama alanlarını, üretim sistemlerinde ürün ve alet depolama alanlarını vb. alanları temsil etmek için sıklıkla yerler kullanılmaktadır. Önerilen kontrol stratejilerinin bu depolama alanlarındaki taşmaları engelleyip engellemediğini tespit edebilmek önemlidir. Modellenen sistemde taşmaların varlığının tespit edilmesine yardımcı olacak Petri net özelliği, sınırlılık kavramıdır.

P 'deki tokenlerin sayısı her zaman k 'den küçük veya ona eşitse (k , negatif bir tamsayı değildir), M_0 , yani $M \in R$ işaretinden ulaşılabilen her bir işaretleme M için bir yerin k -sınırlı olduğu söylenir. (M_0). Bir Petri ağı $N = (P, T, I, O, M_0)$, eğer P 'deki her yer k bağlıysa, k sınırlıdır (güvenli) (Jensen, 2013)

5.6.3. Canlılık

Canlılık kavramı, bilgisayar işletim sistemleri bağlamında geniş ölçüde yer alan kilitlenme durumu ile yakından ilgilidir. Kilitlenme içermeyen bir sistemi modelleyen bir Petri ağı canlı olmalıdır. Bu, ulaşılabilir herhangi bir M işareti için, netice herhangi

bir geçişi, bazı ateşleme sekanslarında ilerleyerek ateşlemenin mümkün olduğunu ima eder.

Bununla birlikte, bu gereklilik, kilitlenmeyen davranış sergileyen bazı gerçek sistemleri veya senaryoları temsil etmek için çok katı olabilir. Örneğin, bir sistemin başlatılması, sınırlı sayıda ateşleyen bir geçiş (veya bir dizi geçiş) ile modellenenir. Başlatmadan sonra, sistem kilitlenmeyen bir davranış sergileyebilir, ancak bu sistemi temsil eden Petri ağı artık yukarıda belirtildiği gibi canlı değildir. Bu sebeple, t geçişi ve M0 işaretlemesi için farklı canlılık seviyeleri tanımlanmıştır. (Haas, 2006)

5.6.4. Sınırlılık zelliği

Sınırlılık özelliği, güvenlik özelliğinin genelleştirilmiş bir halini ifade etmektedir. PN grafiğinin bir yerindeki jeton sayısı, tüm yeni durumlar için belirli bir k pozitif tamsayısını ($k > 1$) aşmıyorsa bu yer k – sınırlıdır. Görüldüğü gibi sınırlılık özelliği belirli bir yerdeki jeton sayısının, belirli bir değeri aşmaması şartına bağlıdır. şayet PN'deki btm yerler için bu koşul sağlanıyorsa söz konusu PN de k – sınırlıdır (S. Wang, Wang, & Zhou, 2013)

5.6.5. Kapsanabilirlik özelliği

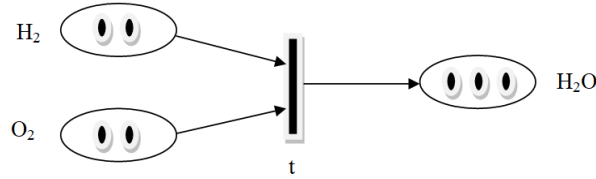
Bu zellik aslında erişilebilir durumlar kavramının genelleştirilmiş bir halidir. Kapsanabilirlik özelliği bir PN grafindaki herhangi bir geçişin ileriki durumlarda tetiklenip tetiklenemeyeceği ile ilgilenmektedir. Hatırlanabileceği üzere bir geçişin tetiklenebilmesi için o geçişe ilişkin giriş yerlerinde en azından birer jeton bulunmalıdır. şimdi herhangi bir $y = [y(p_1), y(p_2), \dots, y(p_n)]$ durumunun bir t_j geçişinin aktif hale gelmesi için yeter sayıda jeton içerdiğini ve PN grafinın ilk başta x_0 durumunda olduğunu varsayalım. Eğer PN grafi x_0 durumundan, her $i = 1, \dots, n$ için $x(p_i) \geq y(p_i)$ olacak şekilde bir x durumuna erişebiliyorsa x durumu y durumunu kapsıyor ya da y durumu kapsanabilirdir denir (Taubner, 1989)

5.6.6. Süreklilik zelliği

Bir PN'de eğer herhangi iki geçişten birinin tetiklenmesi diğer geçişin tetiklenmesini engellemiyor ise bu PN süreklilik (persistence) zelliğine sahiptir anlamı

taşımaktadır. Süreklilik özelliğine sahip bir PN’de şayet herhangi bir geçiş aktif hale gelmişse bu geçiş tetikleninceye kadar aktif halde kalmaya devam eder. Başka bir söylemle herhangi bir geçişin tetiklenmesi aktif hale gelmiş başka bir geçişin pasif hale gelmesine neden olamaz (Agha ve Cindio, 2001).

Petri ağının çalışma prensibi ve geçişlerin nasıl ateşlendiğini teorik olarak görülmesinden sonra konunun daha iyi anlaşılması için ağ, aşağıda birkaç örnekle gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Petri ağları ile H₂O, suyun moleküler formülü

Yukarıdaki görselde H₂O, yani suyun moleküler formülü, petri ağları ile Şekil 5.8’de gösterilmektedir. Bir kovalent bağ, 2 Hidrojen atomu ve 1 Oksijen atomu içerir. Modelde de 3 yer (2 giriş, 1 çıkış) ve 1 geçiş (transition) bulunmaktadır.

$$P=\{H_2,O_2,H_2O\} \quad (5.7)$$

$$T=\{ t \} \quad (5.8)$$

$$\text{Giriş} =\{(H_2,t) ,(O_2,t)\} \quad (5.9)$$

$$\text{Çıkış} =\{(t,H_2O)\} \quad (5.10)$$

$$M_0=\{2,2,0\} \quad (5.11)$$

Bu modelin çalıştırılması için t geçişinin çalışması gerekmektedir. İlk önce t’nin aktif durumuna bakılır. t’ye gelen yerlerde jeton olduğunda ateşleme gerçekleşir. t’ye bağlı iki adet giriş (yer) bulunur ve ikisinde de iki adet jeton olduğu için t geçişi aktiftir. O yerlerden birinin boş olması durumunda gerekli şartlar sağlanamadığı için t olayı ateşlenmez.

Şimdiye kadar bahsettiğimiz PN’lerde modelleme bakımından bir takım eksiklikler bulunmaktadır. Bu eksiklikler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Karmaşık yapıdaki PN’lerin incelenmesi oldukça zordur.
- Jetonların tek tek ayırt edilebilmesi mümkün değildir.
- Zamana dayalı sistemler modellenemez (Gürcanlı vd. , 2010).

Bu sorunların çözülebilmesi ve PN'lerin modelleme kabiliyetinin daha da artırılması için PN'lere bir takım eklentiler yapılmıştır. Bu eklentiler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Zamanlanmış Petri Ağları.
2. Renkli Petri Ağları.
3. Stokastik Petri Ağları (Taubner, 1989).

5.7. Zamanlanmış Petri Ağları (TPN)

Petri net formalizminin, çok çeşitli sistemleri modelleyebilmesine basit yapı sağlaması denir. Bununla birlikte, sıradan Petri ağlarının büyük bir zayıflığı, zamanın geçişini temsil etmenin bir yolunun olmayışıdır. Farklı süreçleri tamamlamak için gereken süreye ilişkin varsayımlara ihtiyaç duyulmaktadır.

Zamanlanmış Petri ağları (TPN) kavramı, Ramchandani (Jensen, 1981), tarafından tanıtılmıştır. Bu yöntem herhangi bir belirleyici olmayacak şekilde evrimleşebilen sistemleri modellemek için, her geçişle ilişkili bir zaman aralığı (ateşlemeden önce geçen olası zamanı belirterek) içermektedir [28]. Jetonlar, belirli bir işlem süresine sahip olan geçiş ateşlemelerine göre bir üretim sisteminde hareket eder.

Bir zaman petri ağı (TPN) : $N = (P, T, FR, Eft, Lft, m_0)$, $P = \{p_1, \dots, p_n\}$ - sonlu bir yer kümesi, $T = \{t_1, \dots, t_n\}$ - sonlu geçişlerin kümesi, $FR \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ - akış ilişkisi, $Eft: T \rightarrow \mathbb{N}$, $Lft: T \rightarrow \mathbb{N} \cup \{\infty\}$ - geçişlerin en erken ve en son atış zamanı; $Eft(t) \leq Lft(t)$, ve $m_0 \subseteq P$ - N'nin ilk işaretlemesidir (Moody ve Antsaklis, 2012).

5.8. Renkli Petri Ağları

Renkli Petri Ağları [4], bir model üzerinde Petri Ağları ve fonksiyonel programlama dili olan Standart ML'yi birleştiren yüksek seviyeli ağlardır. CPN'ler, PN'lerin güçlü noktaları olarak, grafiksel gösterimin temelini ve eşzamanlılık, iletişim ve senkronizasyonu modellemek için temel ilkeleri korurken, standart ML, veri tiplerinin tanımı ve veri değerleri manipülasyonu için gerekli temelleri sağlar.

CPN'lerin temel olarak PN'leri olduğu için, bir CPN modelinin sonlu bir yer kümesi, sonlu bir geçiş kümesi ve sonlu bir dizi yay ile yer ve geçiş arasındaki

bağlantılar olarak tanımlandığı unutulmamalıdır. Her yerin ilişkili bir türü vardır ve her biri, o yerin türüne ait bir veri değeri taşıyan bir veya daha fazla bilgi içerebilir. Jetonlar renk tonlarına göre ayrılmaktadır. Bireysel yer işaretlerinin toplamı CPN modelinin işaretini verir. İşaretleme, modelin yürütülmesi esnasında geçişin ateşlenmesiyle değişir. Bilindiği gibi, bir geçiş gerçekleştiğinde, giriş yerlerinden jetonlar çıkarılarak, ardından çıkış yerlerine jeton eklenir.

CPN'de, kaldırılan ve bir yere giden jetonlar, arka ilişkili bir ifade ile belirlenir. Bir ark ifadesi, yazılan değişkenlerden, sabitlerden, operatörlerden ve işlevlerden oluşur ve çok kümeli belirteç renklerine göre değerlendirilir.

Bir geçişin bağlanması şu şekilde yazılabilir:

$(v_1 = d_1, v_2 = d_2, \dots, v_n = d_n)$ burada $i \in 1 \dots n$: v_i bir değişkendir ve d_i, v_i 'ye atanan değerdir. Renkli bir Petri ağı (CPN), $N = (\Sigma, P, T, A, C, G)$:

- Σ boş olmayan bir renk kümesidir.
- P boş olmayan bir yer kümesidir.
- T boş olmayan bir geçişler kümesidir.
- $P \cap T = \emptyset, P \cup T = \emptyset$.
- A boş olmayan bir dizi yayıdır, $A \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$
- $C: P \rightarrow \Sigma$ bir renk işlevi her bir yeri bir renk kümesine eşler. G bir koruma işlevi, her geçişi bir Boole ifadesine eşler (Jensen, 2013)

5.9. Stokastik Petri Ağları

Stokastik petri ağları, geçişlerin rastgele bir değişkenin belirlediği olasılıksal bir gecikmeden sonra ateşlendiği bir tür petri ağıdır. Formül olarak, bir stokastik petri net, $SPN = (P, T, F, M_0, \Lambda)$ 'dir:

- P , yerler kümesidir.
- T bir geçiş kümesidir.
- $F \subset (P \times T) \cup (T \times P)$, yerler ve geçişler arasındaki "arklar" olarak adlandırılan bir akış ilişkilerin kümesidir.
- M_0 ilk işaretlemedir. Λ geçişleri ile ilişkili oranlar \hat{A} ateşleme kümesidir (Girault & Valk, 2013)

6. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, Filistin, Alhalil şehrine 4 yollu Sıhha kavşağındaki (Şekil 6.1) trafik ışıklarının bulanık mantık tabanlı akıllı bir denetim mekanizması ile kontrol çalışması sunulmuştur. 18/09/2018, Salı günü 12,16 ve 20 saatlerinde veriler toplanmıştır. Bu veriler üç denetleyici ile işlenmiştir, ve her bir denetleyici için üç farklı saatlerde toplanan veriler ile çalıştırılmıştır. Akıllı sinyalizasyon denetleyicilerden Bulanık Mantık ve Petri Ağları kullanılmıştır. Bu iki denetleyicinin çalışmasının sonunda çıkan sonuçlar, Klasik denetleyicinin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. BM ve PA için gerçekleştirilen simülasyonlar Matlab programı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.1. Sıhha kavşağı

6.1. Bulanık Mantık Yöntemi ile Akıllı Trafik Sinyalizasyonunun Çalışması

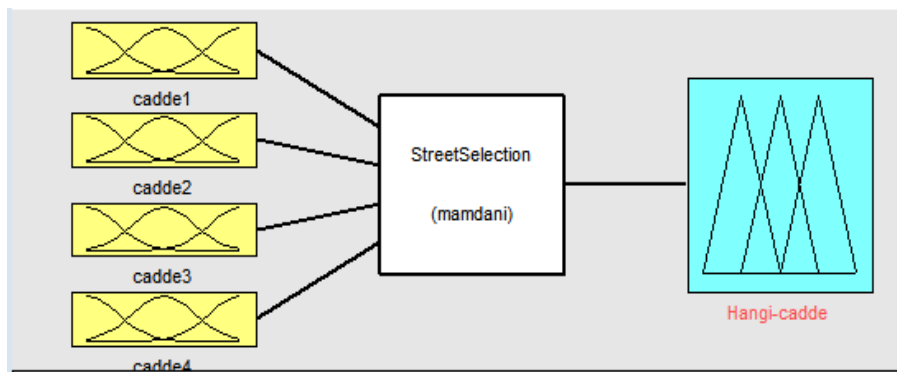
Trafik kavşaklarının en basit şekli olarak, tekli kavşak kontrolünün, bulanık mantık ile nasıl tasarlanıp uygulanacağı açıklarsak; tasarlanan sistem, dinamik kontrol sistemini esas alarak gerçekleştirilir. Gereken değişiklikler ve bulanık mantık kavramı uygulandıktan sonra, Petri ağ kontrol yöntemi ve sabit zaman kontrol sistemi ile karşılaştırılmıştır.

Bu tezde, 4 yollu bir kavşaktaki trafik ışıklarının bulanık mantık tabanlı akıllı bir denetim mekanizması ile kontrol çalışması sunulmuştur. Sistemin modellenmesinde kural tabanlı Mamdani tipi bulanık modelleme tekniği kullanılmıştır. Araç yoğunluğu, cadde seçimi ve yeşil süresi sistem parametreleri olarak belirlenmiş ve bu parametreler bulanık mantık tarafından tanımlanmıştır. Giriş parametreleri 4 yolun ayrı ayrı araç yoğunlukları, çıkış parametreleri ise 4 yolun ayrı ayrı yeşil ışık süreleri ve cadde seçimi olarak tanımlanmıştır. Gündelik hayattaki bir kavşakta yapılan gözlemin ardından her

bir kavşak için araç yoğunluğu 0-60 araç, yeşil ışık süresi ise 0-10 saniye arasında olacak şekilde trafik yoğunluğuna göre bu süre azaltılıp veya artırılacağına karar verilmiştir. Giriş parametreleri bulanıklaştırılarak, her caddede araba yoğunluğunu “az”, “orta”, “yüksek” gibi değerlendirilerek gösterilmiştir. Çıkış parametreleri ise bulanıklaştırılarak ikiye ayrılmaktadır. Birincisi, çıkış yoğunluğuna göre hangi caddenin seçileceğine karar verirken, diğeri çıkış cadde seçildikten sonra tekrar yoğunluğa göre seçilen caddede yeşil ışık süresi “sabit”, “azalt”, “yükselt” olarak belirlenmiştir. Farklı araç yoğunlukları için kırmızı ışık sürelerindeki değişim gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, bulanık mantık metoduyla kontrol edilen sistemlerin gündelik hayattaki sabit döngü süresi ile çalışan sistemlere göre daha etkili ve verimli şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir.

Sistemin bulanık mantık tabanlı modellenmesi bilgisayar ortamında yapılmıştır. Bu ortamda, sisteme ait giriş ve çıkış parametrelerinin belirlenmesi, her bir parametreye ait bulanık küme oluşturulması ve bu sistemin çalışması için kuralların belirlenmesi aşamaları mevcuttur. Oluşturulan kurallar ile sistemin eğitilmesi sonucunda, istenen giriş değerlerine göre çıkış değerleri elde edilmiştir (Zade & Dandekar, 2012)

Bu çalışmada kullanılan Mamdani tip bulanık mantık modeli “Bulanıklaştırma”, “Kural Tabanı” ve “Berraklaştırma” olmak üzere üç ana kısımdan oluşmaktadır. Dört giriş ve bir çıkıştan oluşan sistemin elde edilen modeli Şekil 6.2’de görülmektedir.



Şekil 6.2. Sistemin cadde seçimi için Mamdani tip bulanık mantık modeli

6.1.1. Bulanıklaştırma

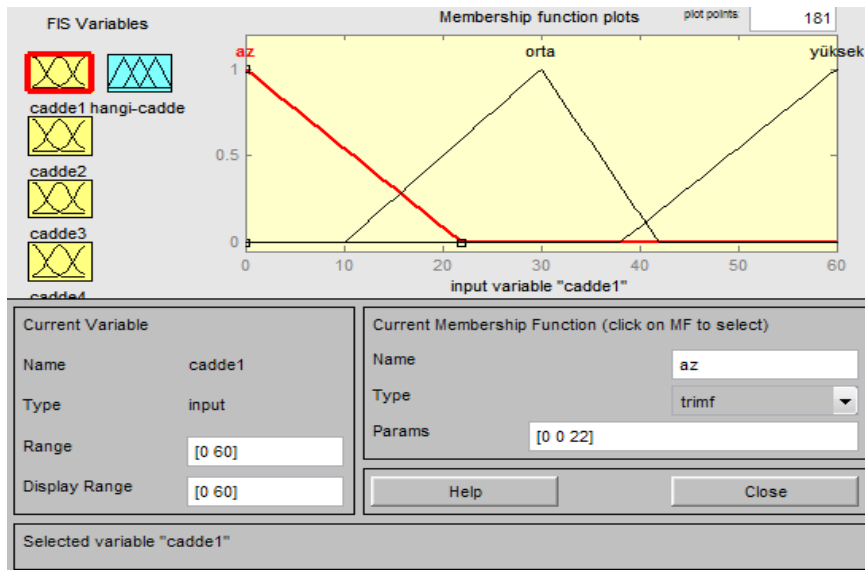
Bulanık mantık modelleme sırasında giriş-çıkış parametrelerini belirledikten sonra her birisinin farklı fonksiyon kümeleri oluşturulur. Bu fonksiyon kümeleri oluşturulurken, giriş-çıkış değerlerinin kaç tane dilsel değişkenle isimlendirileceğine

karar verilir. Bu aşamadan sonra üyelik fonksiyonu çeşitlerinden hangisinin kullanılacağı belirlenir. Bu çalışmada, giriş ve çıkış parametresi olarak seçilen araç yoğunluğu, cadde seçimi ve yeşil ışık süresi için modelleme sırasında Gauss üyelik fonksiyonu kullanılmıştır.

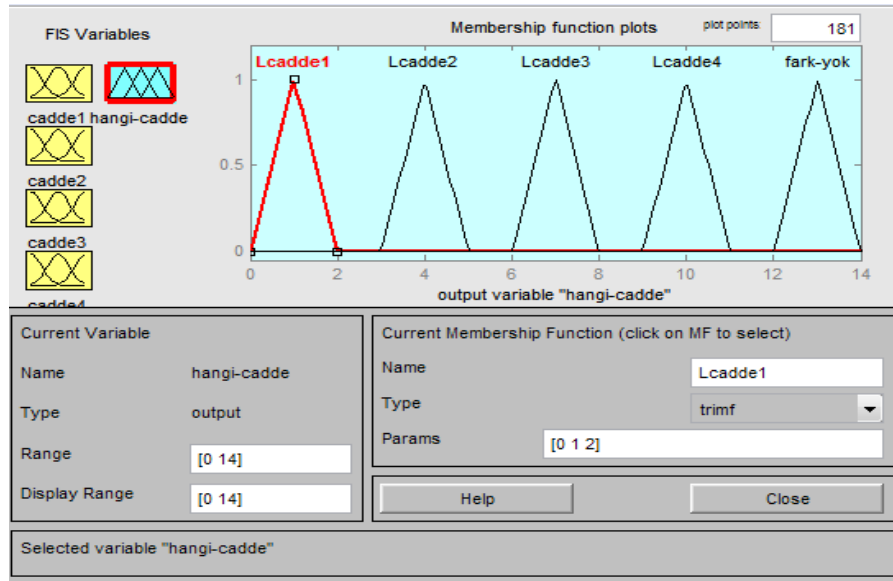
Kavşaktaki yollar sırasıyla cadde1, cadde2, cadde3 ve cadde4 olarak isimlendirilmiş ve giriş parametresi için her yolun araç yoğunluğu “az”, “orta”, “yüksek” şeklinde adlandırılarak sisteme tanıtılmıştır. Belirtilen dört yol için ayrı ayrı araç yoğunlukları 0-60 araç aralığı şeklinde belirlenmiş ve üç farklı gauss üyelik fonksiyonu tanımlanmıştır. Bunlar, cadde seçiminde giriş üyelik fonksiyonlarında her caddede trafik yoğunluğu; “az”, “orta” ve “yüksek” tir. Yeşil ışık süresi kontrolü, giriş üyelik fonksiyonlarında; “az-trafik”, “orta-trafik” ve “yüksek trafik” şeklinde tanımlanır. Cadde seçiminde ise çıkış fonksiyonlarında; “cadde-1”, “cadde-2”, “cadde-3”, “cadde-4” tür. Yeşil ışık süresi, çıkış fonksiyonlarında; “sabit”, “azalt”, “yükselt” tir. Çizelge 6.1’de araçların sayısına göre yoğunluk ayırımı gösterilmiştir. Yollara ait giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları Şekil 6.3-Şekil 6.5’de görülmektedir.

Çizelge 6.1. Araçların sayısına göre yoğunluk ayırımı

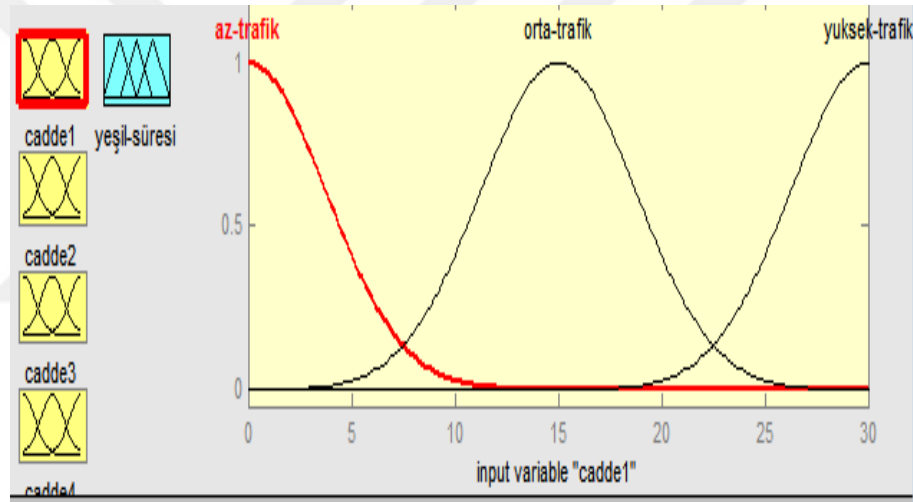
Yoğunluk Derecesi	Az	Orta	Yüksek
Araç sayısının aralığı	(0-22)	(10-42)	(38-60)



Şekil 6.3. Cadde seçiminde giriş üyelik fonksiyonları



Şekil 6.4. Cadde seçimi için çıkış üyelik fonksiyonları



Şekil 6.5. Yeşil ışık süresi için giriş üyelik fonksiyonları

6.1.2. Kural Tabanı

Bu çalışmada sistemin akıllı kontrol mekanizması altında çalışmasının sağlanması için toplamda 181 kural oluşturulmuştur. Bu kurallar oluşturulurken iki adım izlenmiştir: Birinci adımda, kavşaktaki her yolun içerisinde trafik yoğunluğu yüksek olan cadde seçilecektir. İkinci adımda ise, cadde seçildikten sonra tekrar diğer caddelerin trafik yoğunluğuna bakılır ve ona göre yeşil süresi azaltılıp/artırılır ya da sabit tutulur. Şekil 6.6 ve Şekil 6.7’de yazılmış kuralların bir kısmı gösterilmiştir.

```

43. (cadde1==orta) & (cadde2==orta) & (cadde3==yüksek) & (cadde4==az) => (hangi-cadde=Lcadde3) (1)
44. (cadde1==orta) & (cadde2==orta) & (cadde3==yüksek) & (cadde4==orta) => (hangi-cadde=Lcadde3) (1)
45. (cadde1==orta) & (cadde2==orta) & (cadde3==yüksek) & (cadde4==yüksek) => (hangi-cadde=fark-yok) (1)
46. (cadde1==orta) & (cadde2==yüksek) & (cadde3==az) & (cadde4==az) => (hangi-cadde=Lcadde2) (1)
47. (cadde1==orta) & (cadde2==yüksek) & (cadde3==az) & (cadde4==orta) => (hangi-cadde=Lcadde2) (1)
48. (cadde1==orta) & (cadde2==yüksek) & (cadde3==az) & (cadde4==yüksek) => (hangi-cadde=fark-yok) (1)
49. (cadde1==orta) & (cadde2==yüksek) & (cadde3==orta) & (cadde4==az) => (hangi-cadde=Lcadde2) (1)
50. (cadde1==orta) & (cadde2==yüksek) & (cadde3==orta) & (cadde4==orta) => (hangi-cadde=Lcadde2) (1)
51. (cadde1==orta) & (cadde2==yüksek) & (cadde3==orta) & (cadde4==yüksek) => (hangi-cadde=fark-yok) (1)
52. (cadde1==orta) & (cadde2==yüksek) & (cadde3==yüksek) & (cadde4==az) => (hangi-cadde=fark-yok) (1)
53. (cadde1==orta) & (cadde2==yüksek) & (cadde3==yüksek) & (cadde4==orta) => (hangi-cadde=fark-yok) (1)
54. (cadde1==orta) & (cadde2==yüksek) & (cadde3==yüksek) & (cadde4==yüksek) => (hangi-cadde=fark-yok) (1)
55. (cadde1==yüksek) & (cadde2==az) & (cadde3==az) & (cadde4==az) => (hangi-cadde=Lcadde1) (1)
56. (cadde1==yüksek) & (cadde2==az) & (cadde3==az) & (cadde4==orta) => (hangi-cadde=Lcadde1) (1)

```

Şekil 6.6. Cadde seçimi için kural tabanı

```

1. (cadde1==az-trafik) & (cadde2==az-trafik) & (cadde3==az-trafik) & (cadde4==az-trafik) => (yeşil-süresi=yukselt) (1)
2. (cadde1==az-trafik) & (cadde2==az-trafik) & (cadde3==az-trafik) & (cadde4==orta-trafik) => (yeşil-süresi=yukselt) (1)
3. (cadde1==az-trafik) & (cadde2==az-trafik) & (cadde3==az-trafik) & (cadde4==yüksek-trafik) => (yeşil-süresi=yukselt) (1)
4. (cadde1==az-trafik) & (cadde2==az-trafik) & (cadde3==orta-trafik) & (cadde4==az-trafik) => (yeşil-süresi=yukselt) (1)
5. (cadde1==az-trafik) & (cadde2==az-trafik) & (cadde3==orta-trafik) & (cadde4==orta-trafik) => (yeşil-süresi=azalt) (1)
6. (cadde1==az-trafik) & (cadde2==az-trafik) & (cadde3==orta-trafik) & (cadde4==yüksek-trafik) => (yeşil-süresi=yukselt) (1)
7. (cadde1==az-trafik) & (cadde2==az-trafik) & (cadde3==yüksek-trafik) & (cadde4==az-trafik) => (yeşil-süresi=yukselt) (1)
8. (cadde1==az-trafik) & (cadde2==az-trafik) & (cadde3==yüksek-trafik) & (cadde4==orta-trafik) => (yeşil-süresi=yukselt) (1)
9. (cadde1==az-trafik) & (cadde2==az-trafik) & (cadde3==yüksek-trafik) & (cadde4==yüksek-trafik) => (yeşil-süresi=azalt) (1)
10. (cadde1==az-trafik) & (cadde2==orta-trafik) & (cadde3==az-trafik) & (cadde4==az-trafik) => (yeşil-süresi=yukselt) (1)
11. (cadde1==az-trafik) & (cadde2==orta-trafik) & (cadde3==az-trafik) & (cadde4==orta-trafik) => (yeşil-süresi=azalt) (1)

```

Şekil 6.7. Yeşil ışık süresi için kural tabanı

Örneğin; Şekil 6.6'daki 49. kural, kavşakta cadde1 ve cadde3 yollarının “orta”, Cadde4 yolunun “az”, cadde2 yolunun ise “yüksek” yoğunlukta olduğu durumda, cadde-2 yolunun yeşil lambası yanacaktır. Cadde seçildikten sonra yeşil süresi azaltılıp artırılacağına karar verilecektir.

Şekil 6.7'deki 7. kural, kavşakta cadde1, cadde2 ve cadde4 yollarının “az”, Cadde3 yolunun “yüksek” yoğunlukta olduğu durumda, cadde-3 yolunun yeşil süresi artırılacaktır.

6.1.3. Durulaştırma

Bulanık mantık modellemenin ardından elde edilen bulanık sonuç kümesinin tam bir değere dönüştürülmesi işlemine, durulaştırma denir. Ağırlık merkezi, toplamların merkezi, maksimum ortalaması vb. gibi birkaç durulaştırma metodu mevcuttur. Bu çalışmada durulaştırma işlemi için ağırlık merkezi yöntemi kullanılmıştır. Ağırlık merkezi yöntemi en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Yöntem ile oluşan çıkarım kümesinde ağırlık merkezi bulunur ve keskin değer olarak bu merkeze karşılık gelen değer alınır. Ağırlık merkezi yönteminin oluşan her tür çıkarım kümesine çözüm bulması, çok yaygın olarak kullanılmasının en önemli nedenidir (Pfluger, Yen, & Langari, 1992)

Bu çalışmanın amacı, gözlem yoluyla elde edilen verilerin yardımıyla Sıhha kavşağındaki yol seçimi ve yeşil süresinin akıllı kontrol mekanizması altındaki çalışma performanslarının, BM modelleme tekniği ile modellenmesidir. Performans parametreleri, araç yoğunluğu, yol seçimi ve trafik ışıklarının yeşil ışık süresi olarak belirlenmiştir. Sistemin girişi ile çıkışı arasındaki ilişkiyi tanımlayan ve bulanık mantık denetleyicinin davranışlarını tespit eden denetim kuralları oluşturulmuştur. Bu kuralların sonucu olarak, sistem girişine uygulanan farklı araç yoğunluğuna ait yolun seçilmesi ve yeşil ışıkların yanma sürelerindeki istenen değişim görülmüştür.

6.2. Petri Ağlar Yöntemi ile Akıllı Trafik Sinyalizasyonunun Çalışması

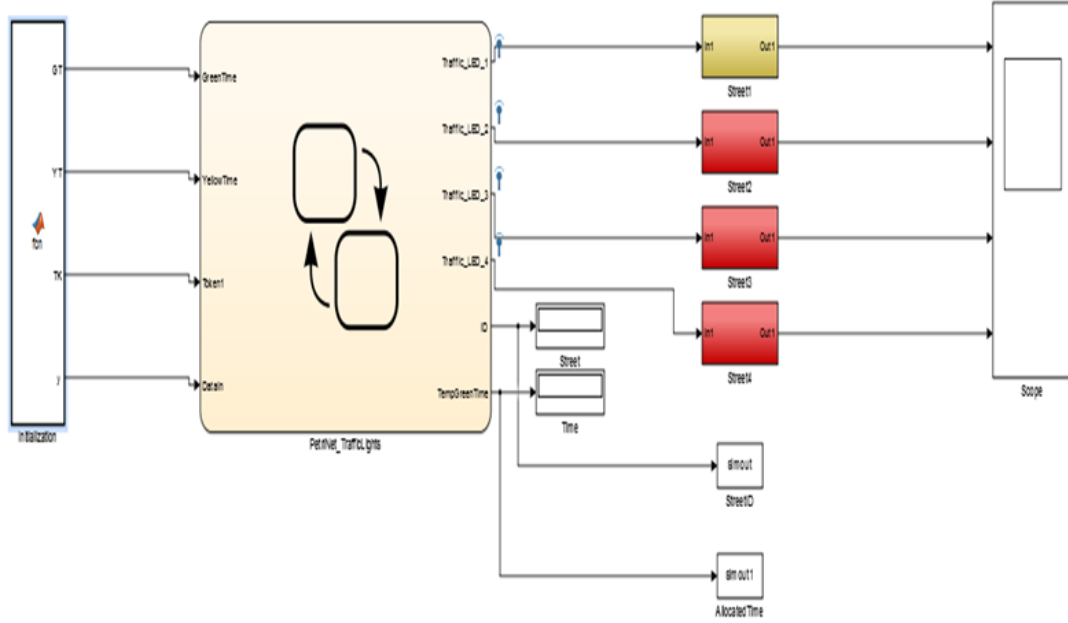
Bulanık Mantıkta kullanılan 4 yollu kavşak trafiğini tanımlamak için Petri ağı yöntemi de kullanılmıştır. PA yöntemi ile elde edilen sonuçlar elde edilen kavşak verileriyle karşılaştırılmıştır. MATLAB programında gerçekleştirilen simülasyonda Petri ağı kullanarak araç yoğunluğuna göre hangi caddenin seçilip, yeşil süresinin kaç saniye olacağına karar verilmiştir. Şekil 6.8'de görüldüğü gibi, sistem dört kısımdan oluşmaktadır. İlk olarak fonksiyon kısmından başlanmaktadır. Bu kısımda, yeşil zamanı (GT), sarı zamanı (YT), Token (TK) ve trafik verileri(Y) olarak gerçek trafik verileri kullanılmıştır. Yeşil süresi 10 saniye ve sarı süresi 5 saniye olarak ayarlanmıştır. Petri ağlarında daha önce bahsedildiği gibi işaret olmadan ateşleme gerçekleşmemektedir. Bu sebeple başlangıç olarak işaret olduğu varsayılmaktadır.

```

function [GT,YT,TK,y]= fcn()
%#codegen
Data=load('TrafficData.mat');

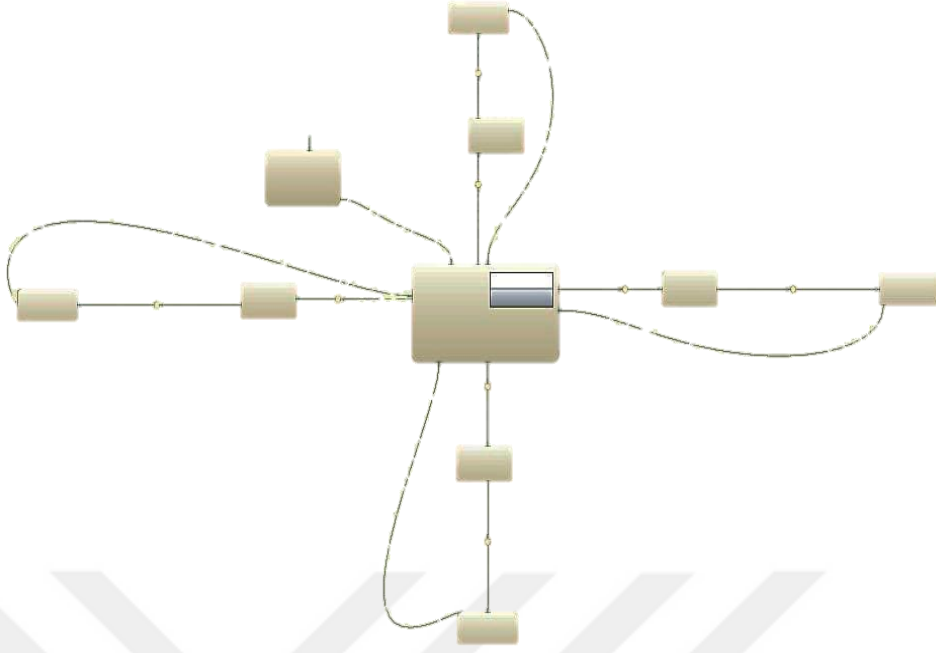
GT=uint32(1000);
YT=uint32(50);
TK=true;
%Data.carsCount(1,1);
y =Data.carsCount;

```



Şekil 6.8. Petri ağı yöntemiyle tek kavşak kontrolü

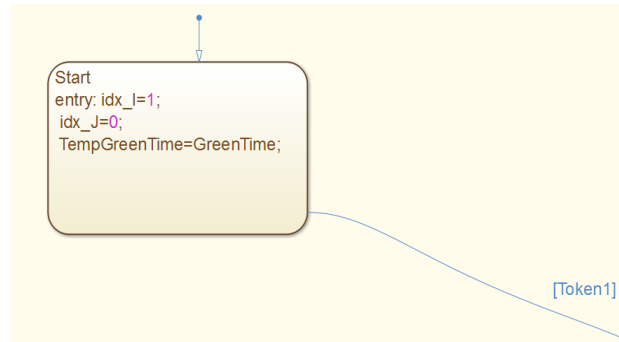
Sistemin Şekil 6.9’da petri ağıнын grafiğinden oluşmaktadır. Şekil 6.8’deki çıkışlar Şekil 6.8’deki girişleri olarak kullanılmaktadır. Şekil 6.9’da tek kavşak için trafik kavşağının petri net grafiği görülmektedir.



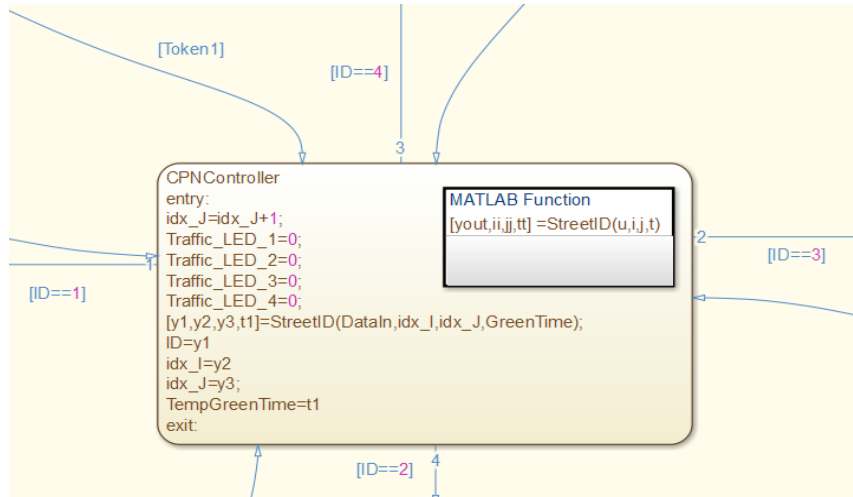
Şekil 6.9. Tek kavşak için petri net grafiği

6.2.1. Petri Net Grafiğın Çalışma Prensibi

İlk olarak start yerinden başlanmaktadır. Bu yerde birinci caddede ($idx-I=1$), ve 0'inci döngüden bahsedilir. Yeşil süresi 10 saniye işaret olduğun varsayılmaktadır. Ardından ateşleme olup Şekil 6.10'da görüldüğü gibi işaret, grafiğinin beyni olan yere gitmektedir.



Şekil 6.10. Petri ağının başlangıç işlemi



Şekil 6.11. Trafik kontrol beyin kısmı

Şekil 6.11’de beyin kısmına işaret geldikten sonra sistem birinci döngüyü başlatır. İlk olarak caddenin tümü kırmızı yanacaktır. Şekil 6.11’de MATLAB fonksiyonu gösterilmiştir.

Bu fonksiyonun içerisinde MATLAB’ta bulunan descend aracıyla 4 caddede bulunan araba sayıları büyükten küçüğe sıralanmıştır. Bundan dolayı döngü, en yoğun trafiği olan caddeden başlayıp en az yoğunluk olanda bitmektedir. Yeşil süresi yukardaki tt fonksiyonuyla hesaplanmaktadır. Bu fonksiyon içerisinde döngünün bulunduğu caddedeki araba sayısı, trafiği en yoğun caddenin araba sayısına bölünerek daha önce belirlenen yeşil süresi ile çarpılmaktadır. Bu işlemler 20 döngü için tekrarlanmaktadır.

7. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Bu tez çalışmasında, 4 yollu Sıhha kavşağına ait gerçek verileri, bulanık mantığı, (klasik) sabit zaman yöntemi ve petri ağ yöntemi ile değerlendirerek hangi yöntemin daha verimli olduğunu incelenmiştir. Bulanık mantık ve petri ağ yöntemlerinde araç yoğunluğu ve trafik ışıklarının yeşil ışık süresi “performans parametreleri” olarak belirlenmiştir. Bu parametrelere dayanarak giriş ile çıkış arasında ilişkilendiren; bulanık sistem tabanında, kural kümeleri ve petri ağ yönteminde üretilmiş fonksiyonlar olmuştur. Sonuç olarak, sistem girişine uygulanan ve farklı araç yoğunluğuna bağlı yeşil ışıkların yanma sürelerindeki ve yanma sıralamalarındaki istenen değişim görülmüştür.

Çalışmanın sonunda bulanık mantık yöntemiyle sistemi üç farklı saatte elde edilen veriler Çizelge 7.1-7.3’te gösterilmiştir.

Çizelge 7.1. Birinci çalışma, saat 12:00 Sıhha kavşağındaki caddelere ait 20 devir için bulanık mantık yöntemiyle elde edilen veriler

Devir numarası	1. Cadde	2.Cadde	3.Cadde	4.Cadde	Kavşaktan geçen araba sayısı	Toplam zaman (s)
1	1	1	5	13	20	11
2	13	12	11	4	40	40
3	0	0	2	4	6	5
4	10	13	1	8	28	37
5	11	17	13	7	30	50
6	9	16	19	5	25	45
7	7	10	27	9	24	51
8	21	6	27	17	21	49
9	26	16	11	21	20	52
10	27	23	14	20	18	51
11	24	19	23	19	16	50
12	24	30	22	21	16	54
13	24	36	31	21	16	54
14	33	37	28	30	15	57
15	32	42	38	36	13	48
16	32	44	48	36	13	51
17	38	47	46	40	14	51
18	48	55	44	37	13	50
19	46	56	49	49	14	54
20	55	57	56	51	13	50

Çizelge 7.2. İkinci çalışmada, saat 16:00 Sıhha kavşağındaki caddelere ait 20 devir için bulanık mantık yöntemiyle elde edilen veriler

Devir numarası	1. Cadde	2.Cadde	3.Cadde	4.Cadde	Kavşaktan geçen araba sayısı	Toplam zaman (s)
1	1	8	0	8	17	11
2	6	6	5	8	25	15
3	0	1	13	10	23	21
4	11	0	9	5	25	24
5	10	7	7	1	25	32
6	3	4	7	6	20	28
7	10	5	4	0	15	26
8	12	4	14	11	22	44
9	18	2	22	5	17	37
10	21	5	24	14	21	49
11	34	10	27	20	19	52
12	34	8	25	34	17	50
13	34	13	27	37	16	51
14	37	15	26	36	19	53
15	35	16	23	35	16	49
16	44	14	31	42	16	52
17	51	12	37	48	17	54
18	50	17	40	48	16	54
19	52	21	48	51	15	56
20	58	25	51	49	15	55

Çizelge 7.3. Üçüncü çalışmada, saat 20:00 Sıhha kavşağındaki caddelere ait 20 devir için bulanık mantık yöntemiyle elde edilen veriler

Devir numarası	1. Cadde	2.Cadde	3.Cadde	4.Cadde	Kavşaktan geçen araba sayısı	Toplam zaman (s)
1	6	14	8	8	36	24
2	2	10	3	6	21	15
3	12	10	8	10	40	39
4	8	14	2	3	22	24
5	5	16	0	1	15	18
6	3	16	10	6	24	38
7	3	22	12	9	23	40
8	7	15	8	4	23	44
9	7	13	7	6	23	50
10	12	21	10	10	20	49
11	8	27	13	17	20	54
12	20	24	9	16	18	51
13	30	25	6	18	17	49
14	24	22	6	31	16	50
15	32	27	12	29	16	53
16	30	26	15	28	17	55
17	35	27	17	30	15	56
18	39	23	23	31	12	54
19	38	27	20	32	12	58
20	35	29	18	29	13	57

Toplanan verileri Petri Ağ denetleyicisiyle çalıştırdığımızda Çizelge 7.4-7.6'daki gibi sonuçlar elde edilir.

Çizelge 7.4. Birinci çalışma, saat 12:00 Sıhha kavşağındaki caddelere ait 20 devir için petri ağ yöntemiyle elde edilen veriler

Devir numarası	1. Cadde	2.Cadde	3.Cadde	4.Cadde	Kavşaktan geçen araba sayısı	Toplam zaman (s)
1	1	1	5	13	21	21
2	13	12	11	4	40	34
3	0	3	4	8	22	22
4	10	13	1	8	31	28
5	15	13	14	9	45	38
6	11	15	22	14	37	32
7	16	12	27	19	35	31
8	30	14	25	29	42	36
9	29	24	21	34	41	35
10	32	36	29	28	45	38
11	30	27	43	31	40	34
12	34	38	38	37	51	42
13	38	46	48	34	45	38
14	51	45	43	47	51	40
15	45	54	57	53	51	40
16	49	56	64	54	45	38
17	55	56	64	61	48	40
18	65	67	64	59	51	42
19	65	72	67	71	51	42
20	78	70	77	74	51	42

Çizelge 7.5. İkinci çalışma, saat 16:00 Sıhha kavşağındaki caddelere ait 20 devir için petri ağ yöntemiyle elde edilen veriler

Devir numarası	1. Cadde	2.Cadde	3.Cadde	4.Cadde	Kavşaktan geçen araba sayısı	Toplam zaman (s)
1	1	1	5	13	30	27,25
2	13	12	11	4	30	37,25
3	0	3	4	8	44	24,46
4	10	13	1	8	26	27,81
5	15	13	14	9	31	31
6	11	15	22	14	35	34,57
7	16	12	27	19	40	25
8	30	14	25	29	27	32,42
9	29	24	21	34	37	26
10	32	36	29	28	28	30,28
11	30	27	43	31	34	40,28
12	34	38	38	37	48	26,71
13	38	46	48	34	29	36
14	51	45	43	47	42	33,14
15	45	54	57	53	38	29,33
16	49	56	64	54	33	35,23
17	55	56	64	61	41	29,57
18	65	67	64	59	33	32,67
19	65	72	67	71	38	33,5
20	78	70	77	74	39	32

Çizelge 7.6. Üçüncü çalışma, saat 20:00 Sıhha kavşağındaki caddelere ait 20 devir için petri ağ yöntemiyle elde edilen veriler

Devir numarası	1. Cadde	2.Cadde	3.Cadde	4.Cadde	Kavşaktan geçen araba sayısı	Toplam zaman (s)
1	6	14	8	8	44	37,42
2	2	14	3	6	30	27
3	14	10	8	10	47	39,33
4	10	18	10	8	27	25,28
5	10	19	5	9	22	21,45
6	9	13	15	15	40	34
7	12	23	15	20	35	31
8	19	13	18	17	22	21,72
9	19	17	21	19	43	36,67
10	26	31	24	25	43	36,72
11	24	34	32	37	38	32,67
12	36	38	30	35	28	26
13	43	42	32	39	51	42
14	40	43	32	52	23	22,15
15	52	48	38	54	39	33,5
16	49	51	45	52	30	27,43
17	56	54	47	58	35	30,55
18	60	54	57	58	45	38
19	58	61	55	60	26	24,57
20	56	62	56	58	2	8

Çizelge 7.7-7.9 Klasik (sabit zaman) denetleyicisiyle elde edilen veriler gösterilmiştir.

Çizelge 7.7. Birinci çalışma, saat 12:00 Sıhha kavşağındaki caddelere ait 20 devir için klasik yöntemiyle elde edilen veriler

Devir numarası	1. Cadde	2.Cadde	3.Cadde	4.Cadde	Kavşaktan geçen araba sayısı	Toplam zaman (s)
1	1	1	5	13	20	46
2	13	12	11	4	38	46
3	0	1	3	4	8	46
4	10	13	1	8	23	46
5	12	19	13	9	25	46
6	12	19	20	8	22	46
7	11	14	29	12	20	46
8	20	10	37	21	16	46
9	21	15	33	27	16	46
10	23	23	37	27	14	46
11	20	20	48	27	15	46
12	20	27	51	30	17	46
13	20	37	60	25	16	46
14	29	38	57	34	15	46
15	28	43	68	39	13	46
16	29	45	77	39	14	46
17	32	44	81	43	12	46
18	39	52	84	40	13	46
19	38	58	86	49	12	46
20	48	59	93	52	12	46

Çizelge 7.8. İkinci çalışma, saat 16:00 Sıhha kavşağındaki caddelere ait 20 devir için klasik yöntemle elde edilen veriler

Devir numarası	1. Cadde	2.Cadde	3.Cadde	4.Cadde	Kavşaktan geçen araba sayısı	Toplam zaman (s)
1	1	8	0	8	17	46
2	6	6	5	8	25	46
3	0	1	13	10	17	46
4	11	0	13	7	21	46
5	13	7	14	1	20	46
6	9	5	15	6	24	46
7	12	5	13	0	16	46
8	14	4	22	11	18	46
9	20	2	32	7	16	46
10	22	5	35	17	17	46
11	30	11	45	24	17	46
12	31	10	47	34	15	46
13	32	16	49	37	13	46
14	36	19	49	36	13	46
15	36	22	48	35	12	46
16	46	21	57	43	13	46
17	50	20	63	54	13	46
18	50	26	66	56	12	46
19	53	27	75	64	13	46
20	60	31	79	62	12	46

Çizelge 7.9. Üçüncü çalışma, saat 20:00 Sıhha kavşağındaki caddelere ait 20 devir için klasik yöntemle elde edilen veriler

Devir numarası	1. Cadde	2.Cadde	3.Cadde	4.Cadde	Kavşaktan geçen araba sayısı	Toplam zaman (s)
1	6	14	8	8	36	46
2	2	10	3	6	21	46
3	12	10	8	10	34	46
4	11	15	2	5	23	46
5	8	18	0	1	16	46
6	4	19	10	6	22	46
7	3	27	13	9	19	46
8	7	21	11	5	20	46
9	8	20	12	6	20	46
10	14	29	16	10	18	46
11	11	35	19	18	17	46
12	19	38	15	18	17	46
13	25	44	12	20	16	46
14	23	46	8	29	16	46
15	31	47	10	35	16	46
16	29	45	13	35	13	46
17	35	47	12	42	13	46
18	39	44	19	43	13	46
19	37	48	16	44	12	46
20	34	50	14	41	14	46

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında petri ağları, bulanık mantık ve klasik yöntemleriyle trafik sinyalizasyon kontrolü gerçekleştirilmiştir. Petri ağları, sistemlerin modellenmesinde nasıl kullanılabileceği gösterilmiş, Petri ağlarının analizinde kullanılan teknikler anlatılmış, Petri ağlarının sistem kontrolü alanında nasıl kullanılabileceğinden bahsedilmiş, bulanık mantık temel yapısı, trafik kontrolünde kullanılması ve nihayetinde Petri ağları ile yapılan trafik kontrolü ve bulanık mantık ile yapılan trafik kontrolü arasında karşılaştırma gerçekleştirilmiştir. Çizelge 8.1’de 3 farklı yöntemin araba sayısı ve süre bakımından karşılaştırması verilmiştir.

Çizelge 8.1. Sonuçların karşılaştırılması

	Klasik (sabit zaman)	Bulanık Mantık	Petri Ağlar
1.çalışmanın toplam geçen araba sayısı (adet)	341	375	849
1.çalışmanın toplam süren (sn)	920	910	755
2.çalışmanın toplam geçen araba sayısı (adet)	286	376	741
2.çalışmanın toplam süre (sn)	920	813	658
3.çalışmanın toplam geçen araba sayısı (adet)	376	403	696
3.çalışmanın toplam süre (sn)	920	878	620

Çizelge 8.1’de görüldüğü üzere, bulanık mantık yöntemi kullanılarak birinci çalışmada ışıkların 20 turunda kavşaktan toplam geçen araba sayısı 375 ve bu arabaların geçmesi için toplam süre 910 saniyedir. Petri ağ yönteminde ise 755 saniyede 849 araba geçerken klasik yöntemde ise 920 saniyede kavşaktan çıkan toplam araba sayısı 341’dir. Diğer iki çalışmaya göre petri denetleyici ile elde edilen verilerin hem ekonomi açısından hem de zaman açısından daha avantajlı olduğu görülmüştür. ardından bulanık mantık yöntemi ve son olarak klasik yöntem gözlemlenmiştir. 2. çalışmada ise petri ağları 741 geçen araçla 658 sn ile en iyi sonucu vermiştir. 3 çalışmada ise yine petri ağları ile gerçekleştirilen simülasyonda 696 araç geçerken 620 sn süre geçmektedir.

Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında geçen araç sayısı ve geçen süre bakımından yapılan karşılaştırmada en iyi sonucun petri ağları ile elde edildiği görülmüştür.

8. KAYNAKLAR

- Abouraad, S., & Elsenaar, P. (2006). *Road Safety Management in ESCWA Countries Critical Issues in Implementation*. Paper presented at the ESCWA-WHO Regional Conference Cairo.
- Alam, J., & Pandey, M. (2015). Design and analysis of a two stage traffic light system using fuzzy logic. *J Inform Tech Softw Eng*, 5(162), 2.
- Alla, H., & David, R. (1998). Continuous and hybrid Petri nets. *Journal of Circuits, Systems, and Computers*, 8(01), 159-188.
- Arslan, Ö., & Gürel, O. (2008). Farkli Tip Ve Boyutta Gemilerin Seçiminin Bulanik Mantik Yöntemiyle İncelenmesi. *Journal Of Aeronautics And Space Technologies*, 3(4), 55-60.
- Askerzade, I., & Mahmood, M. (2010). Control the extension time of traffic light in single junction by using fuzzy logic. *International Journal of Electrical & Computer Sciences IJECS-IJENS*, 10(2), 48-55.
- Barzegar, S., Davoudpour, M., Meybodi, M., Sadeghian, A., & Tirandazian, M. (2011). Formalized learning automata with adaptive fuzzy coloured Petri net; an application specific to managing traffic signals. *Scientia Iranica*, 18(3), 554-565.
- Barzegar B., Mehrabian M. ve Bandegan S (2011), "Fuzzy Logic For A Traffic Signal Control With Colored Petri Net", Islamic Azad University
- Bayen, A., Grieder, P., & Tomlin, C. (2002). *A control theoretic predictive model for sector-based air traffic flow*. Paper presented at the AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit.
- Bradley, A. (2004). Design Of An Intelligent Traffic Light System. [Online] Available At: <[Http://www.tjhsst.edu/~rlatimer/Techlab/Bradleypaper04.pdf](http://www.tjhsst.edu/~rlatimer/Techlab/Bradleypaper04.pdf)>
- Buldu, A. (1996). Kavşak Kontrol Cihazı Yazılımı, Y. Lisans, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi, Sf. 2-5
- Bullock, D. ve Urbanik, T. (1999). Traffic Signal Systems Addressing Diverse Technologies And Complex User Needs. Traffic Signal Systems Committee Part A, 3-18.
- Çağlayan, H. T. (2014). *Trafik ve trafik işaretlerinin tarihsel evrimi*. İstanbul Arel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü,
- De Silva, C. W. (2018). *Intelligent control: fuzzy logic applications*: CRC press.
- Delibaşoğlu, İ., Kösesoy, İ., & Akbaş, A. (2011). GMR sensörler ile gerçek zamanlı trafik verilerinin elde edilmesi için bir gömülü sistem tasarımı. 2. *TOPLU ULAŞIM HAFTASI*, 53.

- Demirci, O. (2007). Akıllı Trafik Sinyalizasyonu, Y. Lisans, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi, Sf. 63,64.
- Desel, J., & Esparza, J. (2005). *Free choice Petri nets* (Vol. 40): Cambridge university press.
- Ebrahimi, S. G., Seifnaraghi, N., & Ince, E. A. (2009). *Traffic analysis of avenues and intersections based on video surveillance from fixed video cameras*. Paper presented at the 2009 IEEE 17th Signal Processing and Communications Applications Conference.
- F. Dicesare, G. Harhalakis, J. M. Proth, M. Silva, and F. B. Vernadat, 1993. 54 "Practice of Petri Nets in Manufacturing," vol. 45, no. 9
- Federal Highway Administration. (2008). Traffic Signal Timing Manual. FHWA-HOP-08-024.
- Ford, (2018). Ford Focus Co2 And Nox Emissions. Erişim Tarihi: 16.05.2018.
- Friesz, T. L., Luque, J., Tobin, R. L., & Wie, B.-W. (1989). Dynamic network traffic assignment considered as a continuous time optimal control problem. *Operations Research*, 37(6), 893-901.
- Girault, C., & Valk, R. (2013). *Petri nets for systems engineering: a guide to modeling, verification, and applications*: Springer Science & Business Media.
- Haas, P. J. (2006). *Stochastic petri nets: Modelling, stability, simulation*: Springer Science & Business Media.
- Hacımurtazaoğlu, M. (2014). Bulanık mantık ile manyetik kilit uygulaması. *Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Rize*.
- Hájek, P. (2013). *Metamathematics of fuzzy logic* (Vol. 4): Springer Science & Business Media.
- Hellendoorn, H., & Driankov, D. (2012). *Fuzzy model identification: selected approaches*: Springer Science & Business Media.
- Issa, A. M. A. A. T., & Dafaalla, K. O. (2011). Design of an Intelligent Traffic Light Control System. *Gezira Journal of Engineering and Applied Sciences*, 6(1).
- Jensen, K. (1981). Coloured Petri nets and the invariant-method. *Theoretical computer science*, 14(3), 317-336.
- Jensen, K., (1981). "High-Level Petri Nets Applications And Theory Of Petri Nets", *Informatic-Fachberichte* 66, Springer-Verlag, 166-180

- Jensen, K. (2013). *Coloured Petri nets: basic concepts, analysis methods and practical use* (Vol. 1): Springer Science & Business Media.
- Jha, M., & Shukla, S. (2014). Design Of Fuzzy Logic Traffic Controller For Isolated Intersections With Emergency Vehicle Priority System Using MATLAB Simulation. *arXiv preprint arXiv:1405.0936*.
- Karakuzu, C., & Demirci, O. (2010). Fuzzy logic based smart traffic light simulator design and hardware implementation. *Applied Soft Computing*, 10(1), 66-73.
- Khalid, M. (1996). Intelligent traffic lights control by fuzzy logic. *Malaysian Journal of Computer Science*, 9(2), 29-35.
- Koç, A. (2017). *Esnek Üretim Sistemlerinin Süreç Tabanlı Petri Ağları İle Modellenmesi*. Fen Bilimleri Enstitüsü
- Kulkarni, G. H., & Waingankar, P. G. (2007). *Fuzzy logic based traffic light controller*. Paper presented at the 2007 International Conference on Industrial and Information Systems.
- Lipka, R., & Herout, P. (2009). *System For Comparison Of Traffic Control Agents' Performance*. Paper presented at the ECMS.
- List, G. F., & Cetin, M. (2004). Modeling traffic signal control using Petri nets. *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, 5(3), 177-187.
- Murat, Y. (1996). *Denizli şehiriçi kavşaklarındaki trafik akımlarının bilgisayarla incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Denizli: Pamukkale Üniversitesi,
- Murata, T. (1989). Petri nets: Properties, analysis and applications. *Proceedings of the IEEE*, 77(4), 541-580.
- Nden, C., & Miran, B. (2008). Bölge Bazında Uygulamaya Elverişli Esnek Üretim Planlarının Bulanık Doğrusal Programlama Yöntemiyle Elde Edilmesi Üzerine Bir Araştırma. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 45(2), 113-124
- Nguyen, H. T., Walker, C. L., & Walker, E. A. (2018). *A first course in fuzzy logic*: CRC press.
- Normanyo, E., Dodoo-Quartey, N., & Adetunde, I. (2009). *Telemetric Control of Traffic Lights Intersections in Ghana*. Paper presented at the Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science.
- Onat, M. (1996), Kavşak Kontrol Cihazı Donanımı, Y. Lisans, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi, Sf. 2,10-14
- Öztürk, N., & Bektaş, T. E. I. (2004). Nitrate removal from aqueous solution by adsorption onto various materials. *Journal of hazardous materials*, 112(1-2), 155-162.

- Pappis, C. P., & Mamdani, E. H. (1977). A fuzzy logic controller for a traffic junction. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 7(10), 707-717.
- Peterson, J. L. (1977). Petri nets. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 9(3), 223-252.
- Pflugger, N., Yen, J., & Langari, R. (1992). *A defuzzification strategy for a fuzzy logic controller employing prohibitive information in command formulation*. Paper presented at the [1992 Proceedings] IEEE International Conference on Fuzzy Systems.
- Rajasekaran, S., & Pai, G. V. (2003). *Neural networks, fuzzy logic and genetic algorithm: synthesis and applications (with cd)*: PHI Learning Pvt. Ltd.
- Reisig, W. (2012). *Petri nets: an introduction* (Vol. 4): Springer Science & Business Media.
- Ren, Q., Baron, L., & Balazinski, M. (2006). *Type-2 Takagi-Sugeno-Kang fuzzy logic modeling using subtractive clustering*. Paper presented at the NAFIPS 2006-2006 Annual Meeting of the North American Fuzzy Information Processing Society.
- Ross, T. J. (2005). *Fuzzy logic with engineering applications*: John Wiley & Sons.
- Sheraz, S. M., Abbas, S. A., & Noor, H. (2009). *Fuzzy rule based traffic signal control system for oversaturated intersections*. Paper presented at the 2009 International Conference on Computational Intelligence and Natural Computing.
- Tadao, M. (1990). Petri nets: properties, analysis and applications. *Proceedings of the IEEE*, 77(4).
- Taha, M. A., & Ibrahim, L. (2012). Traffic simulation system based on fuzzy logic. *Procedia Computer Science*, 12, 356-360.
- Taubner, D. A. (1989). *Finite representations of CCS and TCSP programs by automata and Petri nets* (Vol. 369): Springer Science & Business Media.
- Tewolde, G. S. (2012). *Sensor and network technology for intelligent transportation systems*. Paper presented at the 2012 IEEE International Conference on Electro/Information Technology.
- Turky, A. M., Ahmad, M., Yusoff, M. Z. M., & Sabar, N. R. (2009). *Genetic algorithm application for traffic light control*. Paper presented at the International United Information Systems Conference.
- Tüysüz, F. (2010). *Petri Ağları ile İmalat Sistemlerinin Modellenmesi ve Analizinde Yeni Bir Yaklaşım*. Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Vural, M. (2002). Düşünce Tarihinde Mantık: Aristoteles Mantığından Bulanık Mantığa. *Kutadgu Bilig*, 179-192.

- Wang, J., Gao, J., & Wang, M. (2004). Modeling of Urban Intelligent Traffic Signal Control System Based on CPN [J]. *Computer Engineering*, 8.
- Wang, L.-X., & Wang, L.-X. (1997). *A course in fuzzy systems and control* (Vol. 2): Prentice Hall PTR Upper Saddle River, NJ.
- Wang, S., Wang, C., & Zhou, M. (2013). Design of optimal monitor-based supervisors for a class of Petri nets with uncontrollable transitions. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 43(5), 1248-1255.
- Yaman, O., Karaköse, M., Aydın, İ., & Akın, E. (2014). *Detection of pantograph geometric model based on fuzzy logic and image processing*. Paper presented at the 2014 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU).
- Zade, A., & Dandekar, D. (2012). *Simulation of adaptive traffic signal controller in MATLAB simulink based on fuzzy inference system*. Paper presented at the National Conference on Innovative Paradigms in Engineering & Technology (NCIPET-2012).
- Zadeh, L. A., Klir, G. J., & Yuan, B. (1996). *Fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems: selected papers* (Vol. 6): World Scientific.