

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BULANIK MANTIKLI SÜRÜCÜ MODELİ İLE
HIZ TAHMİNİ VE EN KISA YOL BELİRLEME**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bilg. Müh. Dursun EKMEKÇİ

Enstitü Anabilim Dalı : BİLGİSAYAR VE BİLİŞİM MÜH.

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Nejat YUMUŞAK

Eylül 2008

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

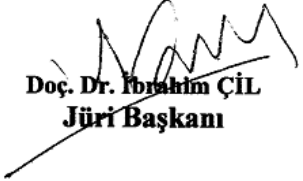
**BULANIK MANTIKLI SÜRÜCÜ MODELİ İLE
HIZ TAHMİNİ VE EN KISA YOL BELİRLEME**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bilg. Müh. Dursun EKMEKÇİ

Enstitü Anabilim Dalı : BİLGİSAYAR VE BİLİŞİM MÜH.

Bu tez 08 / 09 /2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Doç. Dr. İbrahim ÇİL
Jüri Başkanı


Doç. Dr. Nejat YUMUŞAK
Üye


Doç. Dr. Feyzullah TEMURTAŞ
Üye

TEŞEKKÜR

Çalıőmam sırasında bilimsel katkıları ile bana yol gösteren, eğitimim süresince yardımlarını esirgemeyen, tez danışmanım ve hocam Doç. Dr. Nejat YUMUŞAK'a en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Araştırma süresince büyük yardımlarımı gördüğüm; bilgi, deneyim ve dokümanlarından yararlandığım T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü çalışanlarına,

Bana maddi manevi her türlü desteği veren ve çalışmalarımı sabırla destekleyen anne babama en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
BULANIK MANTIK.....	5
2.1. Bulanık Küme Kavramı.....	7
2.1.1. Bulanık kümeler üzerinde işlemler.....	14
2.1.2. Dilsel değişkenler.....	18
2.2. Bulanık If-Then Kuralları.....	20
2.3. Bulanık Sistem.....	28
2.4. Bulanık Kurallar Tabanı ve Çıkarım Mekanizması.....	30
2.4.1. Bulanıklaştırıcı.....	32
2.4.2. Durulaştırıcı.....	35
2.5. Mamdani Tipi Bulanık Modelleme.....	40

BÖLÜM 3.	
SÜRÜCÜ HIZINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER.....	43
3.1. Çevresel Faktörler.....	45
3.1.1. Yolun geometrik ve fizikî özelliklerinin hesaplanması.....	47
3.2. Araç.....	48
3.2.1. Devlet yollarında tespit edilen ortalama hızlar.....	49
3.3. Güzergâh Belirleme.....	51
BÖLÜM 4.	
SÜRÜCÜ HIZININ MAMDANİ METODUYLA MODELLENMESİ.....	54
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	66
KAYNAKLAR.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	75

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

r	: Aracın döndüğü viraj yarıçapı
a	: Aracın ivmesi
v	: Aracın hızı
m	: Aracın kütlesi
F_r	: Merkezkaç kuvveti
f_s	: Sürtünme kuvveti
μ_s	: Sürtünme katsayısı
n	: Aracın ağırlığı
g	: Yerçekimi ivmesi
X	: Uzay kümesi (kesin küme)
x	: Uzay kümesinin kesin küme elemanları
A	: Bulanık küme
$\mu_A(x)$: x kesin sayılarının A bulanık kümesindeki üyelik dereceleri
T.C.	: Türkiye Cumhuriyeti
l	: Yol uzunluğu
β	: Yola ait eğim açısı
Bl No	: Bölge numarası
KKNo	: Kontrol kesim numarası
km/sa	: kilometre / saat
km	: kilometre

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Aimsun simülatörüyle hazırlanan örnek bir şehriçi kavşak.....	1
Şekil 2.1a	Sıcaklık için kesin küme kavramı.....	8
Şekil 2.1b	Sıcaklık için bulanık küme kavramı.....	9
Şekil 2.2a	Yaşlılar kümesinin kesin küme ile gösterimi.....	9
Şekil 2.2b	Yaşlılar kümesinin bulanık küme ile gösterimi.....	9
Şekil 2.3	Uzun boy bulanık kümesi için üyelik fonksiyonu.....	11
Şekil 2.4	S Fonksiyonu.....	12
Şekil 2.5	II Fonksiyonu.....	13
Şekil 2.6	Şekil 2.6 “Soğuk”, “Serin” ve “Sıcak” bulanık kümelerinin grafiksel görünümü.....	15
Şekil 2.7	Aynı evrensel kümeye ait A ve B kümeleri için “veya” işlemi.....	15
Şekil 2.8	Karışık sıcaklık bulanık kümeleri.....	16
Şekil 2.9	Aynı evrensel kümeye ait A ve B kümeleri için “veya” işlemi.....	16
Şekil 2.10	Serin ve Sıcak bulanık kümelerin kesişimi.....	17
Şekil 2.11	A bulanık kümesinin tümleyeni.....	17
Şekil 2.12	Serin Değil bulanık kümesi	18
Şekil 2.13	Bir arabanın hızı dilsel değişkeninin “yavaş”, “orta” ve “hızlı” bulanık kümelerden değer alması	20
Şekil 2.14	1- $\mu_{FP_1}(x_1, x_2)$ ve $\mu_{geniş}(y)$ alanlarının bölünmesi ve onların kombinasyonu.....	27
Şekil 2.15	Temiz bulanık sistemlerin temel şeması.....	28
Şekil 2.16	Bulanıklaştırıcı ve durulaştırıcı sistem	29
Şekil 2.17	Bulanık sistemin TSK modeli	29
Şekil 2.18	İki girişli, bir çıkışlı bulanık sistem örneği.....	31

Şekil 2.19	Üçgen üyelik fonksiyonu.....	33
Şekil 2.20	Yamuk üyelik fonksiyonu.....	33
Şekil 2.21	Gaus üyelik fonksiyonu.....	34
Şekil 2.22	Genelleştirilmiş Bell üyelik fonksiyonu.....	34
Şekil 2.23	Ağırlık merkezli durulaştırıcının grafiksel sunumu.....	36
Şekil 2.24	Merkezi orta durulaştırıcının grafiksel sunumu.....	37
Şekil 2.25	Maksimum durulaştırıcının grafiksel sunumu.....	38
Şekil 2.26	Mamdani Bulanık çıkarım şemaları.....	41
Şekil 2.27	Bulanık “VE” ve “VEYA” işlemleri için sırasıyla minimizasyon ve maksimizasyon operatörlerini kullanan Mamdani tipi bulanık çıkarım sistemi.....	42
Şekil 3.1	Sürücü davranış modeli.....	46
Şekil 3.2a	Muğla-Marmaris yol ayrımı büyük ölçekli harita.....	48
Şekil 3.2b	Muğla-Marmaris yol ayrımı küçük ölçekli harita.....	48
Şekil 3.3a	2004, 2005, 2006 yıllarında 5 farklı noktada elde edilen otomobil hızı ortalamaları.....	50
Şekil 3.3b	2004, 2005, 2006 yıllarında 5 farklı noktada elde edilen otobüs hızı ortalamaları.....	51
Şekil 3.3c	2004, 2005, 2006 yıllarında 5 farklı noktada elde edilen kamyon hızı ortalamaları.....	51
Şekil 3.4	“A” noktasından “H” noktasına varmak isteyen bir sürücünün yol haritası.....	52
Şekil 4.1	Mamdani metoduyla oluşturulan sürücü hız tahmin modeli	54
Şekil 4.2a	Sürücü davranış modeline ait “Araç” üyelik fonksiyonları.....	55
Şekil 4.2b	Sürücü davranış modeline ait “Viraj Yarıçapı” üyelik fonksiyonları.....	56
Şekil 4.2c	Sürücü davranış modeline ait “Eğim Açısı” üyelik fonksiyonları	57
Şekil 4.2d	Sürücü davranış modeline ait “Sürtünme Katsayısı” üyelik fonksiyonları.....	57
Şekil 4.3	Sürücü davranış modeline ait “Hız” üyelik fonksiyonları.....	58
Şekil 4.4	Modelin 2. ve 4. kuralının örneğe göre işleyişi.....	62
Şekil 4.5a	Modelin 2. kuralına uygulanan kırpma metodu.....	63
Şekil4.5b	Modelin 4. kuralına uygulanan kırpma metodu.....	63

Şekil 4.5c	Modele 2. ve 4. kurallarına uygulanan kırpma işlemi.....	63
Şekil 4.6	Ağırlık merkezi bulunacak şekil.....	64
Şekil 4.7	Dilsel kurallar sonrasında oluşan yüzey görüntü.....	65
Şekil 5.1	“A-H” güzergahı için oluşturulan senaryo, tespit edilen en kısa yol ve süreler.....	69

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1	$p \rightarrow q$ İçin Doğruluk Tablosu.....	23
Tablo 2.2	Ağırlık merkezli ve merkezi orta durulaştırıcı yöntemlerinin kıyaslanması	40
Tablo 3.1	Türkiye’de değişik araç türleri için şehir içi, şehirlerarası ve otoyolda yasal hız sınırları.....	48
Tablo 3.2	Türkiye’nin değişik noktalarında ortalama hız ölçümü yapılan yollar.....	50
Tablo 4.1a	Araç üyelik fonksiyonuna ait değerler.....	55
Tablo 4.1b	Viraj Türü üyelik fonksiyonuna ait değerler.....	56
Tablo 4.1c	Eğim Açısı üyelik fonksiyonuna ait değerler.....	57
Tablo 4.1d	Sürtünme Katsayısı üyelik fonksiyonuna ait değerler.....	58
Tablo 4.2	Hız üyelik fonksiyonuna ait değerler.....	59
Tablo 4.3a	Asfalt kaplama bir yolda Kamyon için oluşturulan kurallar.....	59
Tablo 4.3b	Asfalt kaplama bir yolda Otobüs için oluşturulan kurallar.....	60
Tablo 4.3c	Asfalt kaplama bir yolda Otomobil için oluşturulan kurallar....	60
Tablo 4.4	Sürücü Hız tahmin modeli için oluşturulan dilsel kurallar.....	61
Tablo 5.1	Türkiye’de 42 devlet yolu üzerinde 2004, 2005, 2006 yıllarındaki hız ortalamaları.....	67
Tablo 5.2	Bulanık modelden alınan sonuçlarla ölçülen verilerin kıyaslanması.....	68

ÖZET

Anahtar kelimeler: Sürücü hızı, bulanık mantık, Mamdani, modelleme

Ulaşım ve iletişim araçlarının hızla yayılmasıyla globalleşen dünyada yine en büyük sorunlardan biri ulaşım alanında yaşanmaktadır. Ulaşım, her ne kadar hava yolu, deniz yolu ve demir yoluyla da sağlanabiliyor olsa da en büyük pay yine karayolu ulaşımındadır. Bu sebeple öncelikle üzerinde durulması gereken konu, karayolu ulaşımındaki sorunların çözümüne yönelik olmalıdır. Bu yöndeki çalışmalar, eğitim, sosyal, psiko-teknik ve teknik alanlarda devam etmektedir. Teknik alandaki çalışmalar zamanla -özellikle bulanık mantık ve yapay sinir ağları gibi- yapay zekâ metotlarını da içermiş ve değişik türde “akıllı” sistemler oluşturulmuştur.

Bu çalışmada, sürücü davranışlarına etki eden; eğim, ortalama viraj yarıçapı, kaplama cinsi gibi yolun fiziksel ve geometrik özellikleri ile yoldaki trafik sıklığı ve kamyon, otomobil, otobüs gibi araç tipleri ele alınmış ve Mamdani metotları kullanılarak sürücü hızını tahmin eden bulanık model oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar, Karayolları Genel Müdürlüğü'nün hassas ölçümlerle elde ettiği araç hızları verileriyle kıyaslanmış, kamyon için % 2.22, otobüs için % 2.22 ve otomobil için % 2.21'lik ortalama hata oranları tespit edilmiştir.

SPEED ESTIMATION WITH DRIVER MODEL BY FUZZY LOGIC AND DETERMINATION OF THE SHORTEST ROUTE

SUMMARY

Key Words: Driver's Behaviour, Modeling

Rapidly spreading communication and transportation facilities in the globalized world the most important problems are again experienced in the transportation area. Transportation can be by airline, railway, seaway, however; highway has the biggest portion of all. Because of this the issue that should be considered first is the solution towards the highway transportation problems. The study towards this issue is carried on in education, social, psycho-technical, and technical areas. The studies in the technical field in time consist of especially artificial intelligence methods such as artificial neural network and fuzzy logic and different kind of 'intelligent' systems are made.

In this study, the physical and geometrical features of the road having effects on the driver speed such as average road gradient, average radius of turn, type of road coating; and traffic jam in the road and vehicle types such as lorry, automobile and bus were analyzed and driver speed estimation model was generated through using Mamdani fuzzy logic methods. Physical and geometrical information about roads which was obtained with accurate measurements by the General Directorate of Highways had been applied to the model and obtained results were compared to the vehicle speeds in those roads. Average error rates were determined as 2.22 % for lorry, 2.22 % for bus and 2.21 % for automobile.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Ulaşım ve iletişim araçlarının hızla yayılmasıyla globalleşen dünyada yine en büyük sorunlardan biri ulaşım alanında yaşanmaktadır. Bu alanda yaşanan sorunlara yönelik; trafik yoğunluğunu çözümüleme, trafik akışını düzenleme ve kavşak optimizasyonu gibi çözüm yaklaşımları ([1]-[16]) denenmiş ve bu çalışmalar neticesinde Mitsim, Watsim, Transims, Corsim, Fresim, Alinea, Hutsim, Aimsun, Vissim ve Freq gibi simülasyon programları da geliştirilmiştir [17]. Bu simülatörler içinde en etkin olanlarından birisi Aimsun'dur. Kentiçi ve kentler arası yol ağları için gelişmiş interaktif mikroskobik bir simülatördür. Birçok Avrupa ülkesinde ve Amerika'da kullanıldığı gibi ülkemizde İstanbul trafiği için de kullanılmaktadır. Şekil 1'de Aimsun simülatörü yardımıyla hazırlanan örnek bir kavşak gösterilmektedir.



Şekil 1 Aimsun simülatörüyle hazırlanan örnek bir şehir içi kavşak

Ancak bu simülâtörler, bireysel sürücü davranışlarını değil genel trafik akışını modellemeye yöneliktir. Dolayısıyla tam bir sürücü modeli oluşturulamaz.

1970’li yıllarla birlikte başlayan sürücü davranışlarını esas alan sistemler yapay zekâdan yoksun “otomatik” sistemlerdi. Geri besleme yapamayan bu sistemler 1980’li yıllara kadar kullanılabilirdi. 1965’te L. A. Zadeh’in makalesiyle duyulan “Bulanık Mantık” kavramı Macy’nin 1987’deki çalışmalarıyla sürücü davranışları konusunda da kullanıldı [18]. Takahashi, aracın hızını kontrol edebilmek amacıyla bulanık mantık kullandı [19]. 4 katmandan oluşturduğu modelde sürücü hızına etki eden unsurları bulanık kontrol bloğunda birleştirerek hızı kontrol etmeye çalıştı. Takahashi de yine kendi modelinden elde ettiği sonuçları simülâtör verileriyle karşılaştırdı ve önemsenmeyecek derecede küçük hatalarla modelin işleyebileceğini açıkladı. Ancak bu sistem sadece hız kontrolüne yönelikti ve çevresel faktörleri yeterince ele almamıştı.

Lin, Tang, Zhang ve Yu sürücü davranışlarını modelleyebilmek için yapay sinir ağları kullandılar [18]. Çevresel faktörlerin sürücü davranışları konusunda nasıl etkili olduğunu açıklamaya yönelik, yaptıkları geniş çaplı araştırmalarında, elde ettikleri sonucu, değişik topolojilerle de gösterip kıyasladılar ve gerçeğe çok yakın değerler bulduklarını ispatladılar. Ancak sonucu, yalnız otomobil için ve simülâtörden elde ettikleri verilerle kıyasladılar ve sürücünün yol seçimine hiç değinmediler. Oysa güzergâh seçimi sürücü davranışının en temel noktalarındandır.

Güzergâh seçimi konusunda König, Saffran ve Breckle daha ayrıntılı çalıştı ve trafik yoğunluğunu da sistemlerine dâhil ettiler [20]. Sürücü modeli veri yapısı ve sürücü davranışları gelişimini inceledikleri çalışmalarında, sürücü davranış modeli için çeşitli yapay zekâ teknikleri kullandılar. Sürücü kararını, kural tabanlı sistem kullanarak belirlediler ve sürücü güzergâh planı için çeşitli arama algoritmaları ile yapay zekâ metotları kullandılar. Ancak o çalışma da çevre koşullarını yeterince ele almamıştı ve sürücü hızını tahmin etmede önemli derecede hatalar içeriyordu.

Ülkemizde 2001 yılında alınan kararla trafik güvenliğinin artırılması için yeni teknolojinin kullanılacağına karar verilmiştir. Yaygın olarak Akıllı Ulaştırma

Sistemleri-AUS (Intelligent Transport Systems-ITS) olarak bilinen bu teknoloji, taşıta ve/veya yola, sürücüler dikkatlerini kaybettiklerinde veya güvenli olmayan kararlar verdiklerinde müdahalede bulunan mühendislik sistemlerinin yerleştirilmesini kapsamaktadır. Bu sistemlerin sahip oldukları özelliklerden bazıları şunlardır [21]:

- a. Yön vermeye yönlendirilmesi,
- b. Bir sürücünün, otomobilini çalıştırmadan önce nefes testi (alkol testi) yapmasının zorunlu tutulması,
- c. Araç içi sabitleyici sistemlerinin kullanılmasının sağlanması,
- d. Hız limitlerinin aşılmasının önlenmesi (otomatik hız denetimi),
- e. Taşıtlar arasında güvenli takip mesafelerinin bırakılması,
- f. Şerit işaretlerine uymanın ve ıslak yüzeylerde dengenin kontrol edilmesi,
- g. Sürücünün dikkatinin izlenmesi,
- h. Değişen mesaj işaretlerinin (DMİ) kontrolü
- i. Ciddi bir kazanın belirlenmesi ve otomatik olarak acil yardım kuruluşlarına bilgi verilmesi.

Araçların, hız limitlerini aşmasının önlenmesi ve taşıtlar arası güvenli takip mesafesinin korunabilmesi için değişik sistemler geliştirilmiştir. Akıllı hız kontrol sistemleri olarak adlandırılan bu sistemler, önünde seyreden diğer araçları algılayan ve bu araçlarla arada emniyetli bir mesafenin bırakılması için araç hızını öndeki aracın hızına göre düzenleyen sistemlerdir. Öndeki aracın göreceli hızı ve aradaki mesafe sürekli ölçülür. Gerekli emniyet mesafesi araç hızı ile orantılı olarak değişeceğinden araç hızlı giderken mesafe fazla, yavaş giderken ise az olacak şekilde mesafe otomatik olarak ayarlanır. Şeridin boş veya öndeki aracın hızlı gittiği durumlarda ise sistem kontrol sistemi gibi davranır. Ancak önde daha yavaş giden bir araç algılandığında araç hızı da otomatik olarak düşürülür. Bu sistemler, 30 taşıtı algılayabilen sensörlere ve gece görüşünde de çalışabilen kameralara sahiptirler.

Görüldüğü üzere trafik ve sürücü davranışları konusunda yapılan çalışmalar, trafik yoğunluğunu modellemeye ve araç hızını kontrol etmeye yöneliktir. Bu kontrol sistemleri, araçların buldukları şartlarda, olması gereken en yüksek hızı

hesaplayarak sürücüler daha hızlı gittiklerinde devreye girerler ve hızı otomatik olarak düşürürler. Dolayısıyla araç sürücüsünün ortalama hızı dikkate alınmaz. Yine iki yerleşim birimi arasındaki ulaşım süresi, çoğu zaman o yolda yapılabilecek en yüksek hıza göre hesaplanır. Ancak karayolları, yarış pisti değildir ve bu hesap her zaman yanlış çıkar. Devletler, karayolu ulaşımında güvenli sürüşü sağlayabilmek için şehir içi ve şehirlerarası yollarda hız sınırlaması uygulamaları [22]. Ancak uygulanan bu hız sınırı sürücüler için “çok yavaş gitmek” anlamına gelir ve bu kural çoğu zaman ihlal edilir. Türkiye’de otomobil kullanıcıları için yapılan bir ankette, katılımcılara, “şehir içi bir yoldaki hızları” sorulmuş, alınan cevapların ortalaması 60,73 km/sa olarak tespit edilmiştir. Oysa Türkiye’de otomobil kullanıcıları için şehir içi bir yoldaki hız sınırı 50 km/sa’dır.

Ankara çevresinde, Trafik Güvenliği Projesi’nin Pilot Proje (PP) bölgesinde bazı hız ölçümleri yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, bazı bölünmemiş yollarda taşıtların % 50’sinin hız sınırını ihlal ettiği ve bazı bölünmüş yollarda taşıtların % 80’i, izin verilen hızın üzerine çıktığı görülmektedir. KGM tarafından ülke çapındaki bir çok sabit istasyonda yapılan hız ölçümleri, çeşitli yol kesimlerinde otomobillerin % 50’den fazlasının hız ihlali yaptığını göstermektedir. Ortalama olarak, bu kayıtlardan alınan bilgiler, kamyonların % 30’u ve otobüslerin % 70’inin kendileri için belirlenen hız sınırlarını ihlal ettiğini ortaya koymaktadır [21]. Oluşan tüm bu hatalar ortalama sürücü davranışını göz ardı etmekten ileri gelir.

Bu çalışmanın amacı; otomobil, otobüs ya da kamyon sürücüsünün belirli bir yoldaki ortalama hızını açıklayabilmek, sürücüye, yolculuğa başlamadan önce, o yoldaki muhtemel hızı konusunda ön model sunabilmek, sürücülere, varacakları noktaya giden en kısa yolu ve süreyi gösterebilmektir. Ortalama sürücü hızını tahmin için Mamdani bulanık mantık metodu kullanılmış ve elde edilen sonuçlar, karayollarında ölçülen gerçek sürücü hızlarıyla kıyaslanmıştır. Varılacak noktaya giden en kısa yol, Dijkstra Algoritması kullanılarak bulunmuştur. Algoritma, alternatif güzergâhlar için yollar arasındaki mesafe uzunluklarına, bu yollarda yapılabilecek maksimum hızla elde edilecek ulaşım sürelerine ve ortalama sürücü hızına bağlı ulaşım sürelerine 3 farklı biçimde uygulanmıştır.

BÖLÜM 2. BULANIK MANTIK

Bilgisayarların geniş kullanılmaya başlanması ile insan bilgisinin birçok alanında miktarî yöntemler daha hızlı yaygınlaşmağa başladı. Bilgisayar davranışlarının; mekanik, fizik, kimya ve elektromagnetizma kanunları ile belirlenen mekanistik sistemlere uygulanışı çok efektif olmuştur ve olmaktadır. Maalesef, aynı şey humanistik (insancıl) sistemler hakkında söylenememektedir. Humanistik sistemler, insan muhakemeleri, çevreyi algılaması veya emosyonlarının etki yaptığı sistemler olarak düşünülebilir. Örneğin; ekonomik, politik, hukuk, eğitim vb. sistemleri... Bilgisayar davranışlarının humanistik sistemlere uygulanmasındaki başarısızlık, hesaplamalardaki yüksek hassasiyet ve bunun yüksek hızla yapılması isteğinin uyumsuzluğundan ileri geldiği bazı bilim adamları tarafından gösterilmektedir. Diğer bir deyimle, sistemin karmaşıklığı ve bu karmaşıklığı analiz etmek için kullanılan hassasiyet ters orantılıdır. Buradan, humanistik sistemlerin davranışı hakkında önemli sonuçlar alabilmek için hesaplamalardaki yüksek hassasiyet ve kesinlikten kaçınmak gerektiği sonucuna varılabilir. Bu yüzden humanistik hesaplamalarda çok da kesin olmayan kendi tabiatı itibarı ile tahmini olan diğer yöntemlerin kullanılmasına da yol vermek gerekmektedir. Çok büyük karmaşıklık karşısında hassasiyeti kurban ederken, değerleri sayılar değil, sözler veya cümleler olan dilsel değişkenleri kullanmak imkânının öğrenilmesi bu durumda tabiidir. Sayısal değişkenleri değil dilsel değişkenleri kullanmak bu değişkenlerin daha somut olması ile ilgilidir. Örneğin; “Ahmet uzun boyludur” ifadesi, “Ahmet’in boyu 1m 85cm’dir” ifadesinden daha az somuttur. Bu durumda uzun kelimesi boy uzunluğu değişkeninin bir dilsel değeri olarak ele alınabilir. Diğer bir örnekte “Ahmet gençtir” ve “Ahmet’in yaşı 25’tir” ifadelerinde “gençtir” dilsel değerdir. Bu değer ikinci ifadedeki 25 sayısı ile aynı rolü oynamaktadır. Aynı şeyler “çok genç”, “genç olmayan”, “çok çok genç”, “çok da genç olmayan” vs. dilsel değerleri hakkında da söylenebilir. Bu durum da bu dilsel değerlerin de arkasında net olmayan bir sayısal değer mevcuttur. Sayısal değişken değerleri grafiksel olarak bir düzlemde noktalar

yardımı ile gösterilir ama dilsel değerler düzlemde bulanık sınırları olan sahalarda şeklinde gösterilir. Değişkenleri bu yöntemle sunmanın, yani noktalarla (veya hatlarla) değil, sahalarla sunmanın yardımı ile olay yaklaşık bir sunulma aracı bulmuş olur. Böylece, dilsel değişkenlerin hesaplanmalarına bir olanak tanınır ve bu geniş kullanım bulur [23].

Hesaplamaların bu şekilde yapılabileceği ilk defa 1965 yılında Azeri kökenli bilim adamı Lotfi Ali Asker-Zadeh tarafından yayınlanmıştır. “Bulanık Kümeler” olarak adlanan bu makalede o, matematiğin, dil ve insan zekâsını ilişkilendirebileceğini göstermiş ve bunun için bulanık kümeler teorisini teklif etmiştir. Zadeh birçok kavramın dilsel olarak geleneksel matematiğe göre daha iyi belirlenebildiğini ve bulanık mantığın ve onun bulanık kümelerdeki ifadelerinin gerçek hayatın daha iyi modelini oluşturduğunu göstermiştir. Bulanık mantık teorisini ilk defa 1972 yılında İngiltere’de Ebrahim Mamdani, bir buhar makinesi için kontroller tasarlayarak kullandı. Bundan sonra Danimarka’da çimento sanayisindeki uygulama bu yöntemin avantajlarını gösterdi. Bundan sonra bulanık mantığın en çok uygulandığı ülke Japonya oldu. Japon bilim adamları ve mühendisleri bulanık mantığı metroda (otomatik tren kontrolü), hisse senedi portföyü, asansör vs. birçok alanda kullanmışlar ve bundan büyük ekonomik kazançlar elde etmişler. Bugün Japonya’da bulanık mantık kullanılmayan beyaz eşya çeşidi yoktur [23].

Bulanık teorisinin avantajları olmasına karşın birçok dezavantajını görmek de mümkündür. İnsan düşünme tarzına yakın olması, uygulananın matematiksel modele ihtiyaç duymaması, yazılımın basit olması dolayısıyla ucuza mal olması v.s. gibi avantajlarının yanında uygulamada kullanılan kuralların oluşturulmasının bulanığa bağlılığı, üyelik fonksiyonlarının deneme–yanılma yolu ile bulunmasından dolayı uzun zaman alabilmesi, kararlılık analizinin yapılışının zorluğu (benzeşim yapılabilir) gibi dezavantajları da vardır [23].

2.1. Bulanık Küme Kavramı

Elemanları x olan bir X evrensel kümesi düşünülecek olursa, bu elemanların $A \subset X$ alt kümesine aitliği, yani bu altkümelerin elemanı olup olmadığı X 'in $\{0,1\}$ 'de olan karakteristik fonksiyonu olarak belirlenir. Yani

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{eger } x \in A \\ 0, & \text{eger } x \notin A \end{cases}$$

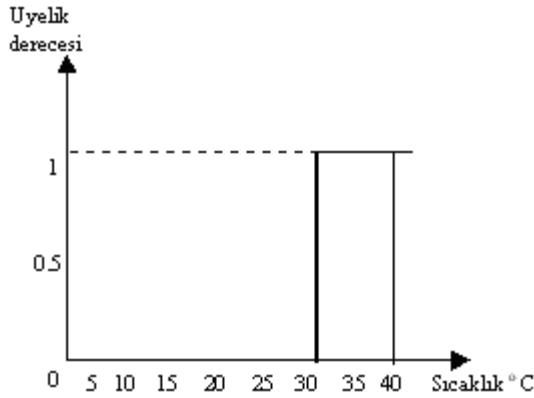
Bu teoride nesnelere kümeye aitliği derecelendirilmiştir. Kümeye aitlik üyelik dereceleri (membership grades) ile verilir. Örneğin “meyveler kümesi” ele alınacak olursa “elma” bu kümeyle ait olduğu için $\mu_{\text{meyve}}(\text{elma})=1$ ve “kavun” ise bir sebze olduğundan dolayı bu kümeyle ait değildir ve $\mu_{\text{meyve}}(\text{kavun}) = 0$ değerlerini alır [24].

İki değerle değerlendirilen bu tür kümeler kesin (grips) kümeler olarak adlandırılır. Geleneksel bilgisayarlar iki değerli kümeyle kullanarak ikili mantıktan geniş yararlanmaktadır. Fakat gerçek hayatta bir nesnenin bu veya diğer bir kümeyle aitliği tam kesinlik göstermeyebilir. Örneğin masanın üzerinde bir tabak elma olduğu düşünülürse “tabaktakiler elmalar mı?” sorusuna “evet”, “armutlar mı?” sorusuna “hayır” cevabı verilecektir. Yine tabaktaki elmaların arasında bir tane armut olduğunu varsayıldığında aynı sorulara kesin küme teorisi açısından nasıl cevap verileceği açık değildir. “Tabaktakiler elma mı?” sorusuna “belki tam değil”, “çoğunluğu elmadır”, “bir tanesi armut, diğerleri elmadır” gibi cevaplar alınabilir. Yine tabakta yarısı elma yarısı armut olduğu düşünülürse, bu durumda aynı sorulara, “bir kısmı”, “yarısı” vs. gibi cevaplar verilebilir. Kesin küme teorisi açısından bu cevaplar mümkün değildir. Çünkü bu teoride ya “evet” (hepsi elmadır), ya da “hayır” (hiçbirisi elma değildir), cevapları mümkündür [24].

İşte bulanık küme bu noktada işe yarıyor. Bu teoride, nesnelere bir kümeyle kısmen ait olabilirler. Bu aitlik üyelik derecesi (membership degree) ile belirlenir. Bulanık kümelerde üyelik derecesi karakteristik fonksiyonun genelleştirilmesi ile ölçülür ve üyelik fonksiyonu (membership function) olarak adlandırılır. Burada $\{0, 1\}$ kümesi yerine $[0, 1]$ arası kullanılır ve bu durumda üyelik fonksiyonu şu şekilde belirlenir.

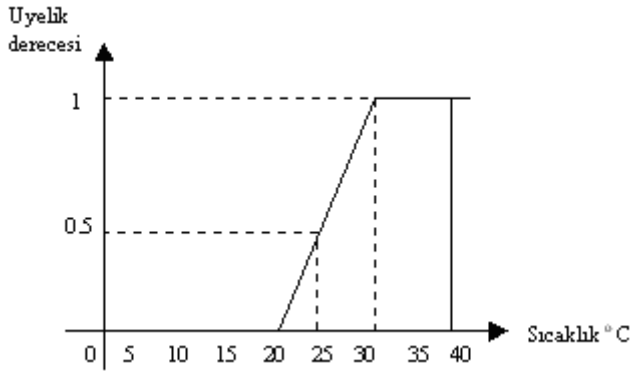
$$\mu_A(x) : X \rightarrow [0,1] \text{ yani } 0 \leq \mu_A(x) \leq 1$$

Burada $\mu_A(x) = 0$ olması, x 'in A 'ya ait olmadığını (A 'nın elemanı olmadığını), $\mu_A(x) = 1$ olduğunda ise x 'in A 'nın tam üyesi olduğunu göstermektedir. $\mu_A(x) = 0,5$ değeri, bulanık A kümesinin geçiş noktası (crossover point) olarak adlanır. Böylece, klasik küme teorisinde, herhangi bir nesne bir kümeye ya aittir, ya da ait değildir. Bulanık kümelerde ise elemanlar bu kümelere kısmen ait olabilmektedirler. Örneğin Şekil 2.1.a'daki kesin küme teorisine göre 30°C 'de hava sıcak iken $29,5^\circ\text{C}$ 'de sıcak sayılmamaktadır [24].



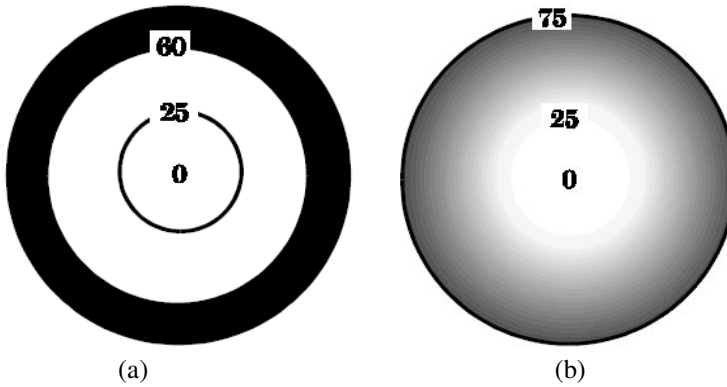
Şekil 2.1a Sıcaklık için kesin küme kavramı

Şekil 2.1b'deki bulanık küme teorisinde ise 32°C sıcaklık, sıcaklık kümesinde maksimum üyelik derecesine sahiptir, 25°C klasik küme kavramına göre sıcak sayılmamaktadır. Fakat bulanık küme kavramına göre bu değer sıcaklık kümesine üyeliği 0,5'tir yani 25°C tam sıcak değil ama soğuk da değil [24].



Şekil 2.1b Sıcaklık için bulanık küme kavramı.

Bulanık mantık konusunun temel elemanı bulanık kümedir ve bulanık kümeler belirtildiği gibi üyelik fonksiyonları ile karakterize edilirler. Aslında bu üyelik fonksiyonları da bulanık sayıdan başka bir şey değildir. Şekil 2.2a,b'de yaşlı insanlar için kesin ve bulanık kümeler gösterilmiştir. Bu şekillerde siyah rengin tonu yaşlılık düzeyini belirtmektedir. Şekil 2.2a'daki kesin kümeye göre yaşı 60 ve üzerinde olanlar yaşlı, 60'dan küçük olanlar yaşlı değildir. Oysa Şekil 2.2b'de sadece yaşı 75 in üzerinde olanlar değil, yaşı 25 ile 75 arasında olanlar da yaşlılar kümesine dâhildir [25].



Şekil 2.2a,b Yaşlılar kümesinin kesin ve bulanık kümelerle gösterimi. (Rakamlar, 0 yaşa göre yaş halkalarıdır.)

Görüldüğü gibi bulanık kümelerde kümenin bir elemanı bu kümeye kısmen ait olabilmektedir. Bu durum dünyayı daha gerçekçi olarak ifade etmektedir. Çünkü gerçek dünya yalnızca “evet” veya “hayır”, “beyaz” veya “siyah”, “doğru” veya “yanlış”, “açık” veya “kapalı” vs. gibi kavramlardan oluşmamakta dolayısıyla kavramların daha çok çeşit derecelerini içermektedir. Örneğin “uzun” ve “kısa” kavramları ele alınacak olursa kesin mantıkta 1,80 m ve üstü boyu olan bir insana uzun, 1,60 m ve altı boy uzunluğu olan birisine ise kısa denilmektedir. Bu durumda 1,20 m ve 2,20 m gibi boy uzunlukları için de aynı kısa ve uzun kavramları kullanılabilir. Oysa bir insan, bu boy uzunlukları için uygun olarak “çok çok kısa” ve “çok çok uzun” demektedir. Kesin mantıkta aynı zamanda 1,60 m ve 1,80 m boy uzunlukları arasında olan bir insan için kısa veya uzun boy açısından ne denileceği de açık değildir. Bu yüzden aslında boy kesin kümesi bir tane sınır değeri, (örneğin 1,70 m) kabul etmekte ve değerlendirmeleri ona göre yapmaktadır [24].

Aşağıdaki ifadeler bulanık kavramlar içermektedirler:

- a) Bugün hava “çok” sıcaktır.
- b) Ali “çok” uzun boyludur.
- c) Anahtarı “biraz” sola çevir.
- d) Mehmet’in “bazı” notları “çok” kötüdür.

Seçili kelimeler bulanık niteleyici (quantifier) oluşturmaktadırlar. Tüm bu bulanık niteleyiciler bulanık teori de sunabilmekte ve belirli işlemlere tabi tutulabilmektedirler [24].

Bulanık kümeler sonlu ve sonsuz olabilirler. Sonlu bir $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ kümesi için F sonlu bulanık kümesi

$$F = \mu_F(x_1)/x_1 + \dots + \mu_F(x_n)/x_n = \sum_{i=1}^n \mu_F(x_i)/x_i \quad (1)$$

İfadesi ile belirlenmektedir. X sonsuz olduğunda ise;

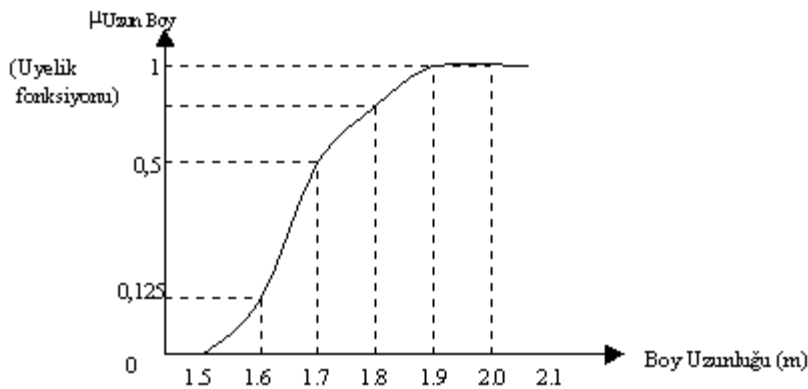
$$F = \int_{x} (\mu(x) / x) dx \quad (2)$$

şeklinde belirlenir [24].

Bulanık küme teorisinde “/” sembolü bir küme elemanını, bu elemanın kümeye, üyelik derecesinden ayırmak için kullanılır ve bu bir bölme işareti değildir. Aynı zamanda (1) ifadesindeki “+” sembolü de bir toplama işareti değil, Boole cebri anlamında birleşme (union) işaretidir. Örneğin boy uzunluğu için boy evrensel kümesini {1,5 1,6 1,7 1,8 1,9 2,0} olarak ele alalım, yani boy uzunlukları 1,5 m’den 2.0 m’ye kadar 0,1 m aralıkla verilmektedir. Bu durumda “uzun boy” bulanık kavramı için bulanık alt küme şu şekilde olacaktır [24].

$$\text{Uzun Boy} = \{0/1,5 + 0,125/1,6 + 0,5/1,7 + 0,875/1,8 + 1/1,9 + 1/2,0\}$$

Burada uzunluğu 1,5 m olan boyun, “uzun boy” bulanık kümesine aitliği 0’dır, 1,6 m bu kümeye “çok az”, yalnızca 0,125 kadar aittir, 1,7 m uzunlukta bir boy geçiş noktası teşkil etmekte, 1,8 m uzunlukta olan boyun, “uzun boy” kümesine aitliği 0,875 vs.’dir. Bu değerler genelde sokaktaki insanların fikrini sorarak elde edilebilecek değerlerdir. Diğer durumlarda böyle değerler bulanık yardımı ile elde edilir. Bahsedilen örnek için üyelik fonksiyonu grafiği Şekil 2.3’te gösterilmektedir [24].



Şekil 2.3 Uzun boy bulanık kümesi için üyelik fonksiyonu.

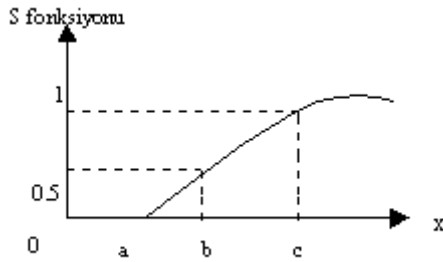
Uzun boy kümesinin kesin kümedeki hali ise aşağıdaki şekilde olacaktır.

$$\text{Uzun Boy} = \{0/1,5 + 0/1,6 + 0/1,7 + 1/1,8 + 1/1,9 + 1/2,0\}$$

Matematikte kullanılan ve bulanık kümelerde çoğu zaman üyelik fonksiyonlarının hesaplanması için ele alınan S fonksiyonu aşağıda gösterilmektedir.

$$S(x, a, b, c) = \begin{cases} 0 & x \leq a \text{ için} \\ 2 \left(\frac{x-a}{c-a} \right)^2 & a \leq x \leq b \text{ için} \\ 1 - 2 \left(\frac{x-c}{c-a} \right)^2 & b \leq x \leq c \text{ için} \\ 1 & x \geq c \text{ için} \end{cases}$$

Bu fonksiyonun grafiği Şekil 2.4'te verilmektedir. Grafik S harfine benzediği için bu fonksiyon S fonksiyonu diye adlandırılmıştır [24].



Şekil 2.4. S Fonksiyonu

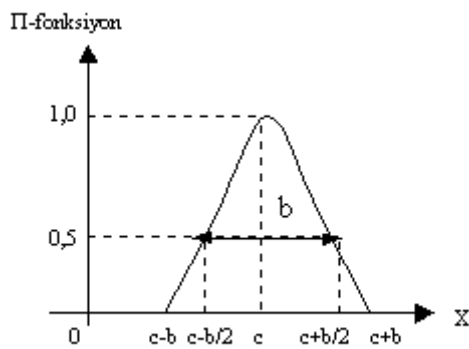
S fonksiyonu uzun boy bulanık kümesine uygulanırsa

$$S(x;1.5,1.7,1.9) = \begin{cases} 0 & x \leq 1.5 \text{ için} \\ 2\left(\frac{x-1.5}{1.9-1.5}\right)^2 = 12.5(x-1.5)^2 & 1.5 \leq x \leq 1.7 \\ 1 - 2\left(\frac{x-1.9}{1.9-1.5}\right)^2 = 1 - 12.5(x-1.9)^2 & 1.7 \leq x \leq 1.9 \\ 1 & x \geq 1.9 \text{ için} \end{cases}$$

elde edilir. Buradan $x=1,5$; $x=1,7$ ve $x=1,9$ değerleri verilerek hesaplama yapılırsa, Şekil 2.4'te $a=1,5$; $b=1,7$ ve $c=1,9$ değerleri ile S fonksiyonunun değerlerinin aynı olduğu görülebilir. Benzer bir özel Π fonksiyonu da üyelik fonksiyonlarını hesaplamak için kullanılabilir. Fakat bu fonksiyon hem S fonksiyonunu kullanmakta ve hem de özel bazı noktalarda 0'a dönüşmektedir [24].

$$\Pi(x;b,c) = \begin{cases} S(x; c-b, c-b/2, c) & x \leq c \text{ için} \\ 1 - S(x; c, c+b/2, c+b) & x \geq c \text{ için} \end{cases}$$

Π fonksiyonun grafiği Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Burada b parametresinin, geçiş noktasının enini belirlediği görülmektedir. Π fonksiyonu, $x = c \pm b$ noktalarında 0 değeri alır ve $x = c \pm (b/2)$ noktaları ise onun geçiş noktalarıdır [24].



Şekil 2.5 Π Fonksiyonu

X evrensel alt kümesi olan bir bulanık F kümesinin taşıyıcısı veya destekleyicisi (support) şu şekilde belirlenir.

$$\text{support}(F) = \{x \mid x \in X \text{ ve } \mu_F(x) > 0\}$$

Buna kısaca bulanık kümenin desteği denir ve “supp(F)” işareti ile temsil edilir. Önceki örnekteki uzun boy bulanık kümesi için 0/1,5 elemanından başka, kalan elemanlar bu kümenin desteğidirler [24].

2.1.1. Bulanık kümeler üzerinde işlemler

Genelde bir kesin (geleneksel) kümenin, $\{0, 1\}$ üyelik fonksiyonlu bir bulanık kümenin özel hali olduğu söylenebilir. Bulanık küme teorisi kesin kümelerden daha çok uygulama bulmaktadır, çünkü bu teori insanın subjektif bir fikrini ifade etmek için daha uygundur. Bu yüzden, bu teorinin hayata, bilime, tekniğe ve onlarca diğer alanlara uygulanmasının nasıl yapıldığının öğrenilmesi ve incelenmesi gerekir. Bulanık kümeler üzerinde işlemler, basit tanımlamalar yardımı ile kesin kümeler üzerinde yapılan işlemlere benzer şekilde yapılır [25].

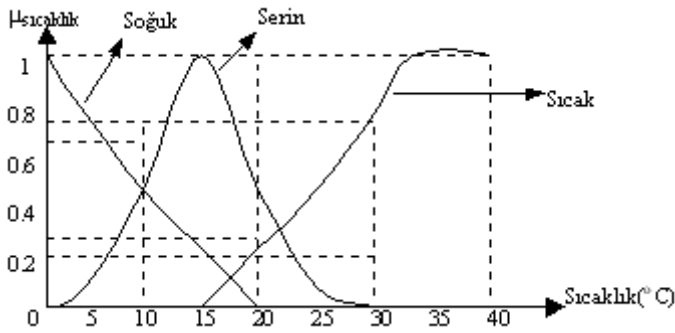
Örneğin, $X=[0, +40]$ aralığında “soğuk”, “serin” ve “sıcak” olarak adlandırılacak bulanık sıcaklık kümeleri ele alınacak olursa; sıcaklık 0°C ile 40°C

$$\text{Soğuk} = \{1/0 \ 0,8/5 \ 0,5/10 \ 0,2/15 \ 0/20\}$$

$$\text{Serin} = \{0/0 \ 0,1/5 \ 0,5/10 \ 1/15 \ 0,5/20 \ 0,1/25 \ 0/30\}$$

$$\text{Sıcak} = \{0/15 \ 0,2/20 \ 0,5/25 \ 0,8/30 \ 1/35 \ 1/40\}$$

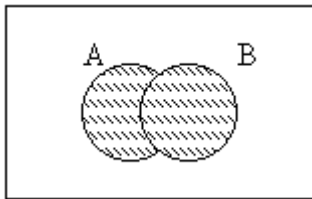
Bu kümelerin grafiksel görünümü Şekil 2.6’da gösterilmektedir.



Şekil 2.6 “Soğuk”, “Serin” ve “Sıcak” bulanık kümelerinin grafiksel görünümü

Bulanık kümelerde, matematiksel kümelerde yapılabilen “ve”, “veya”, “tümleyen”, “değil” gibi işlemler yapılabilir. Şekil 2.7’de gösterildiği gibi A ve B kümeleri aynı evrensel kümeye ait iki alt küme olsun. Bu iki küme için “veya” işlemi, “ $A \cup B = C$ ” şeklinde tanımlanır ve C kümesi de bulanık bir kümedir. Bulanık küme üyelik derecesiyle karakterize edilir ve C kümesinin üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi belirlenmektedir [26]:

$$\mu_C = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)]$$



Şekil 2.7 Aynı evrensel kümeye ait A ve B kümeleri için “veya” işlemi

Yukarıdaki örnekteki “soğuk” ile “serin” kümelerinin “veya” işlemiyle birleştirilmesi şu şekilde yapılır.

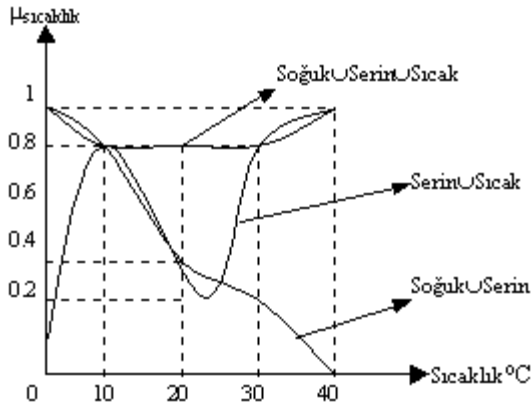
$$\begin{aligned} \text{Soğuk} \cup \text{Serin} = & \max[(1, 0)/0] + \max[(0.8, 0.1)/5] + \max[(0.5, 0.5)/10] \\ & + \max[(0.2, 1)/15] + \max[(0, 0.5)/20] \\ & + \max[(0, 0.1)/25] + \max[(0,0)/30] \end{aligned}$$

$$= 1/0 + 0.8/5 + 0.5/10 + 1/15 + 0.5/20 + 0.1/25 + 0/30$$

Benzer şekilde “serin” ve “sıcak” kümeleri için de “veya” işlemi aşağıdaki gibi uygulanabilir:

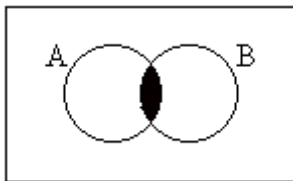
$$\begin{aligned} \text{Serin} \cup \text{Sıcak} &= \max[(0.1, 0)/0] + \max[(0.8, 0)/10] + \max[(0.1, 0.2)/20] \\ &\quad + \max[(0.2, 0.8)/30] + \max[(0, 1)/40] \\ &= 0.1/0 + 0.8/10 + 0.2/20 + 0.8/30 + 1/40 \end{aligned}$$

Sonuçta elde edilen bulanık küme, Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.8 Karışık sıcaklık bulanık kümeleri

Bulanık kümelerde “ve” işlemi, matematiksel kümelerdeki kesişim kümesini andırır özelliğindedir. Yine aynı evrensel kümeye ait A ve B kümeleri için “ve” işlemi “ $A \cap B = C$ ” şeklinde tanımlanır ve C bulanık bir kümedir. Bu tanım Şekil 2.9’daki gibi gösterilebilir [27].



Şekil 2.9 Aynı evrensel kümeye ait A ve B kümeleri için “veya” işlemi

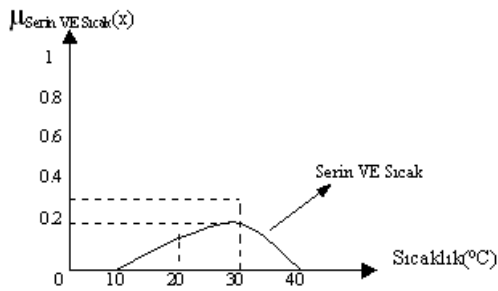
C bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu:

$$\mu_C(x) = \min [\mu_A(x), \mu_B(x)]$$

gibi hesaplanır. Yukarıdaki örnek için:

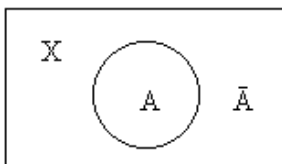
$$\begin{aligned} \text{Serin} \cap \text{Sıcak} &= \min[(0,0)/0] + \min[(0.1, 0)/5] + \min[(0.5, 0)/10] + \min[(1, 0)/15] \\ &\quad + \min[(0.5, 0.2)/20] + \min[(0.1, 0.5)/25] + \min[(0, 0.8)/30] \\ &\quad + \min[(0, 1)/35] + \min[(0, 1)/40] \\ &= 0/0 + 0/5 + 0/10 + 0/15 + 0/20 + 0/25 + 0/30 + 0/35 + 0/40 \end{aligned}$$

Serin \cap Sıcak kesişimi Şekil 2.10'da gösterilmektedir.



Şekil 2.10 Serin ve Sıcak bulanık kümelerinin kesişimi

Bulanık kümeler üzerinde tümleyen(değil) işlemi klasik kümelerdekinden biraz farklıdır. A bulanık kümesinin tümleyeni \bar{A} olarak gösterilir ve Şekil 2.11'deki gibi şematize edilebilir [28].



Şekil 2.11 A bulanık kümesinin tümleyeni

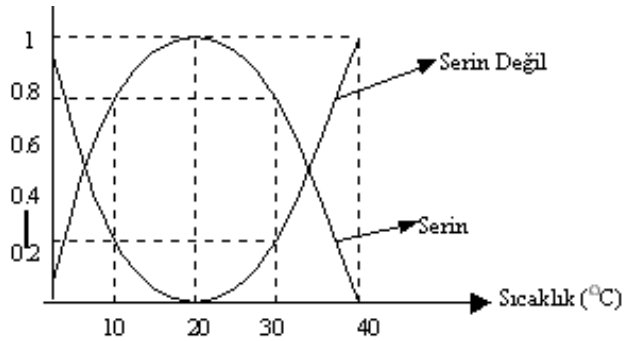
\bar{A} bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu için

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$$

formülüyle hesaplanır. Serin bulanık kümesinin tümleyeni için;

$$\begin{aligned} \text{Serin Değil} &= [1-0.1]/5 + [1-0.5]/10 + [1-1]/15 + [1-0.5]/20 + [1-0.1]/25 + [1-0]/30 \\ &= 0.9/0 + 0.5/10 + 0/15 + 0.5/20 + 0.9/25 + 1/30 \end{aligned}$$

Bu bulanık kümenin grafiksel görünümü Şekil 2.12’de verilmektedir.



Şekil 2.12 Serin Değil bulanık kümesi

Burada, kesin kümelerde A ve onun tümleyeni arasındaki $A \cap \bar{A} \neq 0$ ve $A \cup \bar{A} \neq X$ kanunlarının bulanık kümeler için geçerli olmadığı göze çarpmaktadır.

$$A \cap \bar{A} = \min [\mu_A(x) ; \mu_{\bar{A}}(x)] \leq 0.5$$

$$A \cup \bar{A} = \max [\mu_A(x) ; \mu_{\bar{A}}(x)] \geq 0.5$$

2.1.2. Dilsel değişkenler

Bulanık kümelerin yapay zekâ alanında önemli uygulamalarından biri dilsel hesaplamalardır. Burada amaç kesin rakamların yerine tabii dildeki ifadeleri

kullanarak mantıkta yapıldığı gibi hesaplamaların yapılabilmesidir. “Bugün hava çok sıcaktır.” cümlesinde “Bugünün hava sıcaklığı” bir değişken ve “çok” onun değeri olarak ele alınabilir. “Hava sıcaklığı” değişkeni rakam olarak 25⁰C, 30⁰C vs. değerler aldığıında bu değişkeni matematiksel olarak işlemek için iyi yöntemler mevcuttur. Fakat değişkenin değerini rakam olarak değil de kelime (“çok”) olarak ele aldığımızda bu değişkeni işlemek için klasik matematiksel bir teori mevcut değildir. Böyle bir yöntemi sağlamak için dilsel değişken kavramları kullanılır. Kabaca, eğer değişkenin değeri olarak tabii dilde kullanılan kelimeler ele alınırsa bu değişkene “dilsel değişken” denmektedir. Bazı dilsel değişkenler ve bu değişkenlere ait tipik değerler şunlardır [29]:

- a) Sıcaklık: az, normal, çok
- b) Sayı: birkaç, az, çok
- c) Yaş: bebek, genç, yaşlı
- d) Renk: beyaz, kara, kırmızı, mavi, yeşil
- e) Hız: yavaş, orta, hızlı

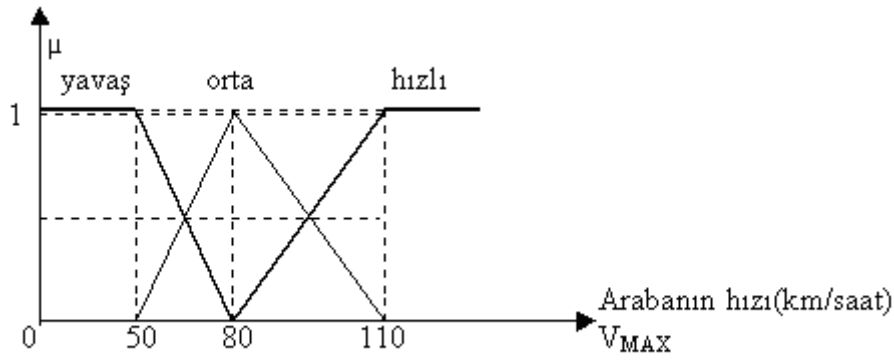
Aşağıdaki cümleler, günlük hayatta kullanılan dilsel değişkenlere örnek olabilir:

“Eğer çok sıcak ise, o halde biraz soğuk ekle.”

“Eğer elma kırmızı ise, o halde o yetişmiştir.”

Dilsel değişkenlerin değerini ifade edebilmek için çoğu zaman, “hızlı”, “hızlı değil”, “çok hızlı” ve “orta hızlı” gibi birden fazla kelime kullanılır. Genelde dilsel değişkenin değeri $x = x_1, x_2, \dots, x_n$ terimi ile ifade edilirse, bu değer x_1, x_2, \dots, x_n atomik terimlerinin “konketasyonu” (concatenation) ile elde edilir [29].

Atomik terimler 3 grup olarak sınıflandırılırlar. Bunlardan ilki başlangıç(primary) terimlerdir. Bu terimler bulanık kümelerin seviyeleridir. Şekil 2.13’te bir arabanın hızını dilsel değişken olarak ele alınması ve onun “yavaş”, “orta”, ve “hızlı” değerleri gösterilmektedir.



Şekil 2.13 Bir arabanın hızı dilsel değişkeninin “yavaş”, “orta” ve “hızlı” bulanık kümelerden değer alması

İkinci atomik terimler grubu, “Değil”(tümleyeni), “VE” ve “VEYA” ilişkileri içeren terimler ve diğer grup ise çitler(Hedğes-engeller) “çok”, “az”, ”az çok” vs gibi değerleri içeren terimlerdir. Şekil 2.13’te görüldüğü gibi dilsel değişken olan “arabanın hızı” değişkeni, “yavaş”, “orta” ve “hızlı” değerleri almaktadır. Ama bu değerlerden başka, “arabanın hızı”, “çok yavaş”, “az çok yavaş”, “çok hızlı”, “az hızlı” vs gibi değerler de alabilir. Bu değerleri ifade edebilmek için kullanılan terimlere çitler denmektedir [29].

2.2. Bulanık If-Then Kuralları

Bulanık sistemlerde ve bulanık kontrol sistemlerinde insan bilgisi büyük çoğunlukla If-Then (Eğer - O halde) bulanık kuralları ile sunulmaktadır. Bulanık Eğer - O halde kuralı,

Eğer < bulanık söylem > o halde < bulanık söylem >

şeklinde koşullu cümledir (söylem-proposition). Bulanık söylem, atomik ve bileşik (compound) söylem olarak iki tür olmaktadır. Atomik bulanık söylem,

x A’dır (x is A)

şeklinde olmaktadır. Burada x , dilsel değişken, A ise dilsel değerdir. A , x 'in fiziksel alanında belirlenmiş bir bulanık kümedir. Bileşik bulanık söylem ise “VE”, “VEYA” ve “DEĞİL” ilişkilerini kullanan atomik bulanık kompozisyonudur ve bu ilişkiler uygun olarak bulanık kesişme, birleşme ve tülemeyi ifade etmektedirler. Örneğin eğer x arabanın hızı ise o zaman aşağıdakilerin t bulanık söylem olduğu söylenebilir [30]. (Burada: S: yavaş(slow), M: orta(middle), ve F: hızlı(fast) bulanık kümeleri göstermektedir.)

x S'tir.

x M'dir.

x F'tir.

x S'tir veya x M değildir

x S değildir ve x F değildir

(x S'tir ve x F değildir) veya x M'dir.

Burada son üç söylem bileşik bulanık iddialardır. Bir bileşik söylemin içeriğindeki atomik iddialar özertirler ve aynı bir söylemdeki x çeşitli değerler alabilmektedir. Yani bileşik söylemdeki dilsel değişkenler genelde aynı olmayabilirler. Örneğin x arabanın hızı ve $y = \ddot{x}$ arabanın ivmesi (acceleration) ise ve eğer ivme için (L) bulanık kümesi belirlenmek istenirse, aşağıdaki bulanık söylem elde edilir [30].

x F'tir ve y L'dir

Buradan bileşik bulanık söyleme bir bulanık bağıntı gibi bakılabildiği görülmektedir. Böyle bir bulanık bağıntının üyelik fonksiyonları şu şekilde belirlenir. “VE” ilişkisi için bulanık kesişme kullanılmaktadır. x ve y 'nin, U ve V 'nin fiziksel alanlarında dilsel değerler olduğunu ve A ve B 'nin uygun olarak U ve V 'de bulanık kümeler olduğu varsayılırsa,

x , A 'dır ve y , B 'dir

Bileşik bulanık söylemi $U \times V$ 'de

$$\mu_{A \cap B}(x,y) = t [\mu_A(x), \mu_B(y)]$$

üyelik fonksiyonlu $A \cap B^{-1}$ bulanık bağıntısı olarak yorumlanabilir. t norm olarak min kullanılırsa,

$$\mu_{A \cap B}(x, y) = \min[\mu_A(x), \mu_B(y)]$$

“VEYA” ilişkisi için bulanık birleşme kullanılmaktadır. Yani “x, A’dir veya y, B”dir bileşik bulanık söylemi $U \times V$ ’de

$$\mu_{A \cup B}(x, y) = s[\mu_A(x), \mu_B(y)]$$

olarak ele alınır. Burada $s: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$ herhangi bir s-normudur. Örneğin s norm olarak max kullanılırsa

$$\mu_{A \cup B}(x, y) = \max[\mu_A(x), \mu_B(y)]$$

“DEĞİL” ilişkisi için bulanık tümeleme kullanılmaktadır.

Diğer bir örnekte de FP = (x, S’tir ve x, F değildir) veya x, M’dir bileşik bulanık söylemi düşünülürse, bu iddia $[0, V_{\max}]^3$ uzayında bir bulanık bağıntı olarak görülür (V_{\max} ve maximum hız), onun üyelik fonksiyonu

$$\mu_{FP}(x_1, x_2, x_3) = \max\{\min[\mu_S(x_1), (1-\mu_F(x_2))], \mu_M(x_3)\}$$

olarak belirlenir. Burada $x_1=x_2=x_3=x$ arabanın hızı, S-az, F-hızlı, M-orta hız anlamına gelmektedir. Görüldüğü gibi bulanık söylemler bulanık bağıntılar olarak yorumlanmaktadır. Bu durumda “eğer – o halde” işleminin nasıl yorumlanacağı merak doğurmaktadır. Klasik söylemler hesabında (proposition calculus) “eğer p, o halde q” ifadesi $p \rightarrow q$ şeklinde (\rightarrow implikasyonu ile) yazılmakta ve bu ilişki Tablo 2.1’deki gibi belirlenmektedir.

Tablo 2.1 $p \rightarrow q$ İçin Doğruluk Tablosu

p q	$P \rightarrow q$
T T	T
T F	F
F T	T
F F	T

Tablo 2.1’de p ve q söylem değişkenleridir ve doğru (T) ve yanlış (F) ikili değerleri almaktadırlar. Bu tabloda $p \rightarrow q \equiv \bar{p} \vee q$ veya $p \rightarrow q \equiv (p \wedge q) \vee \bar{p}$ olduğu da görülmektedir. Bulanık “eğer - o halde” kuralı için p ve q değişkenleri bulanık söylemler; -, \vee ve \wedge işlemleri ise uygun olarak bulanık tümeleme, bulanık birleşme ve bulanık kesişme olarak ele alınmaktadır. Bulanık tümeleme bulanık birleşme ve bulanık kesişme operatörlerinin sayısı bir hayli çok olduğundan bulanık “eğer - o halde” bulanık kurallarının da çeşitli yorumları mevcuttur. Bunlardan bazıları şöyle açıklanabilir. “eğer $\langle FP_1 \rangle$ o halde $\langle FP_2 \rangle$ ” ifadesinde FP_1 ’in $U = U_1 \times \dots \times U_n$ ’de olan bulanık bağıntı FP_2 ’nin ise $V = V_1 \times \dots \times V_n$ ’de bulanık bağıntı ve x ve y’nin ise uygun olarak U ve U’de dilsel değişkenler olduğu kabul edilirse aşağıdaki implikasyonlar elde edilir [30].

Dienes – Rescher implikasyonu:

$$\mu_{Q_D}(x,y) = \max[1 - \mu_{FP_1}(x), \mu_{FP_2}(y)]$$

Lukasiewicz implikasyonu:

$$\mu_{Q_L}(x,y) = \min[1, 1 - \mu_{FP_1}(x) + \mu_{FP_2}(y)]$$

Zadeh implikasyonu :

$$\mu_{Q_Z}(x,y) = \max\{\min[\mu_{FP_1}(x), \mu_{FP_2}(y)], 1 - \mu_{FP_1}(x)\}$$

Gödel implikasyonu :

$$\mu_{Q_G}(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{eger } \mu_{FR}(x) \leq \mu_{FR}(y) \\ \mu_{FR}(y) & \text{diger durumlarda} \end{cases}$$

Mamdani implikasyonu :

$$\begin{aligned} \mu_{Q_{MM}}(x,y) &= \min [\mu_{FP_1}(x), \mu_{FP_2}(y)] && \text{veya} \\ \mu_{Q_{MP}}(x,y) &= \mu_{FP_1}(x) \cdot \mu_{FP_2}(y) \end{aligned}$$

Goguen implikasyonu :

$$\mu_{Q_{GE}}(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{eger } \mu_{FR}(x) = 0 \\ \min(1, \mu_{FR}(y) / \mu_{FR}(x)) & \text{diger durumlarda} \end{cases}$$

Reichenbach implikasyonu:

$$\mu_{Q_{Rei}}(x,y) = 1 - \mu_{FP_1}(x) + \mu_{FP_1}(x) \cdot \mu_{FP_2}(y)$$

Larsen implikasyonu :

$$\mu_{Q_{Lar}}(x,y) = \mu_{FP_1}(x) \times \mu_{FP_2}(y)$$

Aliiev – Tserkovniy 1 implikasyonu:

$$\mu_{Q_{AB1}}(x,y) = \begin{cases} 1 - \mu_{FR}(x) & \text{eger } \mu_{FR}(x) < \mu_{FR}(y) \\ 1 & \text{eger } \mu_{FR}(x) = \mu_{FR}(y) \\ \mu_{FR}(y) & \text{eger } \mu_{FR}(x) > \mu_{FR}(y) \end{cases}$$

Aliiev – Tserkovniy 2 implikasyonu:

$$\mu_{Q_{AB2}}(x,y) = \begin{cases} 1, & \text{eger } \mu_{FR} \leq \mu_{FR}(y) \\ \min[1 - \mu_{FR}(x), \mu_{FR}(y)] & \text{eger } \mu_{FR} > \mu_{FR}(y) \end{cases}$$

Aliev – Tserkovny 3 implikasyonu:

$$\mu_{Q_{AB3}}(x,y) = \begin{cases} 1, & \text{eger } \mu_{FR_1}(x) \leq \alpha \mu_{FR_2}(y) \\ \frac{\mu_{FR_2}(y)}{\mu_{FR_1}(x) + (1 - \mu_{FR_2}(y))}, & \text{eger } \mu_{FR_1}(x) > \mu_{FR_2}(y) \end{cases}$$

Bir örnekle, bu implikasyonlardan bir kaçının uygulanış biçimleri şu şekilde açıklanabilir [30].

$U = \{1, 2, 3, 4\}$ ve $V = \{1, 2, 3\}$ olsun. $x \in U$ ile $y \in V$ ters söylemlerdir. Bu bilgiyi aşağıdaki gibi formüle etmek mümkündür:

“Eğer x büyük ise, o halde y küçüktür.”

Burada

Büyük = $0/1 + 0,1/2 + 0,5/3 + 1/4$ ve

Küçük = $1/1 + 0,5/2 + 0,1/3$ olsun.

Dienes – Rescher implikasyonu kullanılırsa $Q_d \rightarrow U \times V$

$$Q_d = 1/(1,1) + 1/(1,2) + 1/(1,3) + 1/(2,1) + 0,9/(2,3) + 1/(3,1) + 0,5/(3,2) \\ + 1/(4,1) + 0,5/(4,2) + 0,1/(4,3)$$

Lukasiewicz implikasyonu kullanılırsa:

$$Q_d = 1/(1,1) + 1/(1,2) + 1/(1,3) + 1/(2,1) + 1/(2,2) + 1/(2,3) + 1/(3,1) + 1/(3,2) \\ + 0,6/(3,3) + 1/(4,1) + 0,5/(4,2) + 0,1/(4,3)$$

Zadeh implikasyonu kullanılırsa:

$$Q_2 = 1/(1,1) + 1/(1,2) + 1/(1,3) + 0,9/(2,1) + 0,9/(2,2) + 0,9/(2,3) + 0,5/(3,1) \\ + 0,5/(3,2) + 0,5/(3,3) + 1/(4,1) + 0,5/(4,2) + 0,1/(4,3)$$

Gödel implikasyonu kullanılırsa:

$$Q_G = 1/(1,1) + 1/(1,2) + 1/(1,3) + 1/(2,1) + 1/(2,2) + 1/(2,3) + 1/(3,1) + 1/(3,2) \\ + 0,1/(3,3) + 1/(4,1) + 0,5/(4,2) + 0,1/(4,3)$$

Mamdani implikasyonları kullanılırsa:

$$Q_{MM} = 0/(1,1) + 0/(1,2) + 0/(1,3) + 0,1/(2,1) + 0,1/(2,2) + 0,1/(2,3) + 0,5/(3,1) \\ + 0,5/(3,2) + 0,5/(3,3) + 1/(4,1) + 0,5/(4,2) + 0,1/(4,3)$$

$$Q_{MP} = 0/(1,1) + 0/(1,2) + 0/(1,3) + 0.1/(2,1) + 0.05/(2,2) + 0.01/(2,3) + 0.5/(3,1) \\ + 0.25/(3,2) + 0.05/(3,3) + 1/(4,1) + 0.5/(4,2) + 0.1/(4,3)$$

Diğer bir örnekte de x_1 , arabanın hızı; x_2 , ivmesi ve y , ivmeye uygulanan güç olsun [30]. Bu durumda

“Eğer x_1 yavaş ve $x =$ küçük ise, o halde y büyüktür.”

“Yavaş” bulanık kümesi Şekil 2.13’te belirlenmişti. Matematiksel olarak şöyle de yazılabilir:

$$\mu_{yavaş}(X_1) = \begin{cases} 1 & \text{eger } X_1 \leq 50 \\ \frac{80 - X_1}{30} & \text{eger } 50 < X_1 \leq 80 \\ 0 & \text{eger } X_1 > 80 \end{cases}$$

“ Küçük” ivme alanında bir bulanık kümedir ve onun üyelik fonksiyonu şöyle yazılabilir:

$$\mu_{küçük}(X_2) = \begin{cases} \frac{10 - X_2}{10} & \text{eger } 0 \leq X_2 \leq 10 \\ 0 & \text{eger } X_2 > 10 \end{cases}$$

“Geniş”, hızlandırıcıya uygulanan güç alanındaki bir bulanık kümenidir ve onun üyelik fonksiyonu şu şekilde yazılabilir:

$$\mu_{büyük}(Y) = \begin{cases} 0 & \text{eger } y < 1 \\ y - 1 & \text{eger } 1 \leq y \leq 2 \\ 1 & \text{eger } y > 2 \end{cases}$$

x_1 , x_2 ve y 'nin alanları uygun olarak $U_1 = [0, 160]$, $U_2 = [0, 30]$ ve $V = [0,3]$ olsun

“FP₁ = x_1 yavaş ve x_2 küçük” söylemi için $U_1 \times U_2$ 'de bulanık bağıntının üyelik fonksiyonu;

$$\mu_{FP_1}(x_1, x_2) = \mu_{yavaş}(x_1) \mu_{küçük}(x_2)$$

$$= \begin{cases} 0 & \text{eger } x_1 \geq 80 \text{ veya } x_2 > 10 \\ \frac{10-x_2}{10} & \text{eger } x_1 \leq 50 \text{ veya } x_2 \leq 10 \\ \frac{(80-x_1)(10-x_2)}{320} & \text{eger } 50 < x_1 \leq 80 \text{ ve } x_2 \leq 10 \end{cases}$$

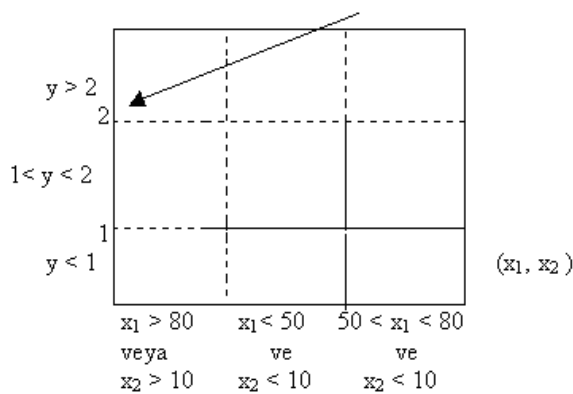
Eğer Dienes-Rescher implikasyonu kullanılırsa:

$$\mu_{Q_D}(x_1, x_2, y) = \max [1 - \mu_{FP_1}(x_1, x_2), \mu_{\text{geniş}}(y)]$$

$$1 - \mu_{FP_1}(x_1, x_2) = \begin{cases} 1 & \text{eger } x_1 \geq 80 \text{ veya } x_2 > 10 \\ x_2/10 & \text{eger } x_1 < 50 \text{ ve } x_2 \leq 10 \\ 1 - \frac{(80-x_1)(10-x_2)}{320} & \text{eger } 50 \leq x_1 \leq 80 \text{ ve } x_2 \leq 10 \end{cases}$$

$\mu_{\text{büyük}}(y)$ ile $1 - \mu_{FP_1}(x_1, x_2)$ 'in kombinasyonunu elde etmek için Şekil 2.14'e başvurmak gerekir.

$$\mu_{Q_D}(x_1, x_2, y) = \begin{cases} 1 & \text{eger } x_1 \geq 80 \text{ veya } x_2 > 10 \text{ veya } y > 2 \\ x_2/10 & \text{eger } x_1 < 50 \text{ ve } x_2 \leq 10 \text{ ve } y \leq 1 \\ 1 - \frac{(80-x_1)(10-x_2)}{320} & \text{eger } 50 < x_1 \leq 80 \text{ ve } x_2 \leq 10 \text{ ve } y \leq 1 \\ \max(y-1, x_2/10) & \text{eger } x_1 \leq 50 \text{ ve } x_2 \leq 10 \text{ ve } 1 < y \leq 2 \\ \max[y-1, 1 - \frac{(80-x_1)(10-x_2)}{320}] & \text{eger } 50 < x_1 \leq 80 \text{ ve } x_2 \leq 10 \text{ ve } 1 < y \leq 2 \end{cases}$$



Şekil 2.14 $1 - \mu_{FP_1}(x_1, x_2)$ ve $\mu_{\text{geniş}}(y)$ alanlarının bölünmesi ve onların kombinasyonu

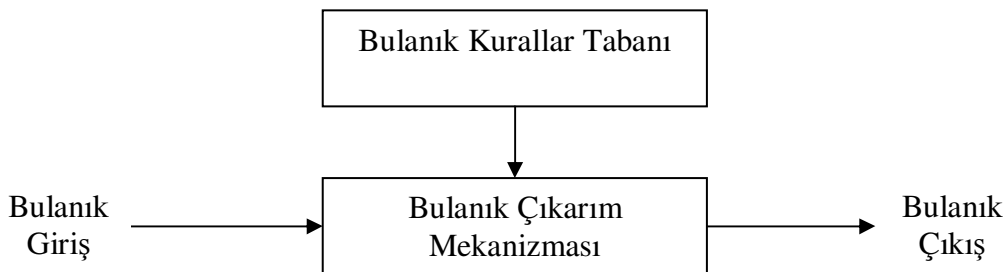
2.3. Bulanık Sistem

Bulanık kümeler ve bulanık mantık teorisinin en etkin uygulama alanı kontrol sistemleridir. Geleneksel kontrol sistemleri bulanık teorisinin yardımıyla bulanık kontrol sistemlerine dönüştürülebilir ve böyle sistemlerin uygulanması birçok avantajlar elde etmeğe olanak verir. Genelde, bulanık sistemler bilgiye ya da kurala dayalı sistemlerdir. Bir bulanık sistemin temelinde “eğer - o halde” kuralları bulunur demek mümkündür. Örneğin “Eğer sıcaklık soğuk ve basınç düşük ise, o halde sıcak su supabını orta pozitifte tut ve soğuk su supabının durumunu değişme.” cümlesi bulanık sistemin bir kuralı olarak düşünülebilir. Burada “soğuk”, “düşük”, “orta pozitif” gibi dilsel değerler kullanılır ve bu değerlerin uygun üyelik dereceleri mevcuttur. Bir bulanık sistem tasarımında ilk yapılacak iş “eğer o – halde” kurallar toplusunu elde etmektir. Bu kurallar çoğu zaman uzmandan yararlanılarak toplanılır [31].

Literatürde genelde üç tip bulanık sistemden söz edilmektedir:

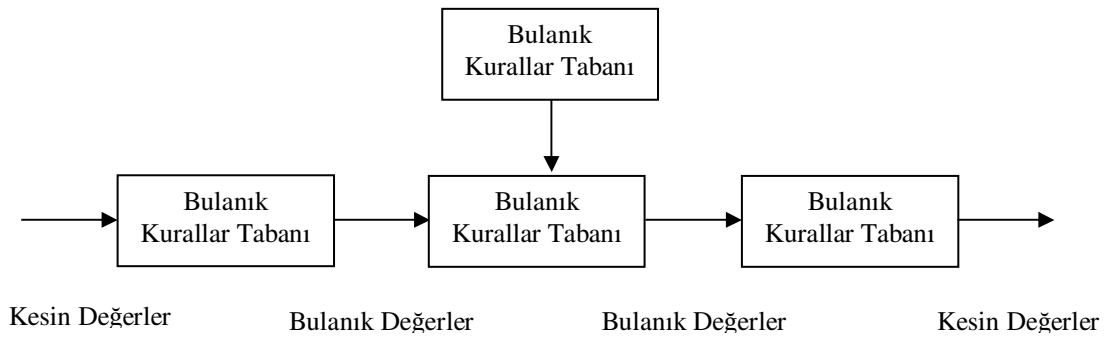
- Temiz (pure) bulanık sistemler;
- Bulanıklaştırıcı ve durulaştırıcı sistemler;
- Takaği – Sugeno – Kang (TSK) bulanık sistemler.

Temiz bulanık sistemlerde sistemin giriş ve çıkışları bulanıktır. Bulanık çıkarım mekanizması (Fuzzy Inference Engine) bulanık girişlere uygun kuralları bulanık kurallar tabanından (Fuzzy Rule Base) alarak imal edilir ve vardığı sonuçta bulanık olur. Bu yapıyı Şekil 2.15’te görebilmek mümkündür [31].



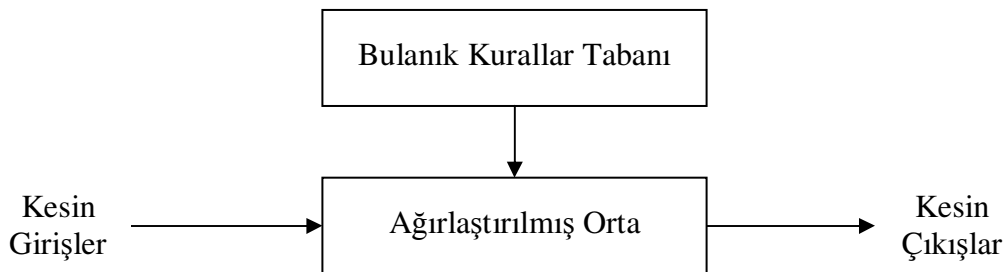
Şekil 2.15 Temiz bulanık sistemlerin temel şeması

Temiz bulanık sistemlerde giriş ve çıkış değerleri dilsel olarak kullanılmaktadır, hâlbuki gerçek sistemlerde bu değerler kesindir, bulanık değildir. Bu dezavantajı kaldırmak için sisteme girişteki kesin değerleri bulanık değerlere dönüştüren bulanıklaştırıcı(fuzzitier) ve çıkıştaki bulanık değerleri kesin değerlere dönüştüren durulaştırıcı(defuzzitier) uygun olarak sistemin girişine ve çıkışına ilave edilirler. Böyle sistem bulanıklaştırıcılı ve durulaştırıcılı sistem adlanmaktadır ve Şekil 2.16'daki gibi gösterilir [31].



Şekil 2.16 Bulanıklaştırıcı ve durulaştırıcılı sistem

Bulanık sistemlerin TSK modelinde sistemin giriş ve çıkış değerleri kesin değerlerdir. Bu modelde bulanık çıkarım mekanizması yerine Şekil 2.17'deki gibi şematize edilen ağırlaştırılmış orta (weighted average) kullanılır. Burada ağırlaştırılmış orta “eğer – o halde” kuralının “o halde” kısmında, çoğu zaman bir matematik formül kullanılır.



Şekil 2.17 Bulanık sistemin TSK modeli

Böyle bir kullanım ise bulanık mantığın çeşitli prensiplerini uygulamaya imkân vermemektedir. Bu yüzden TSK modelinin uygulama alanı kısıtlıdır [31].

Bulanık teori, bulanık sistemlerde, özellikle de otomatik kontrol sistemlerinde insan bilgisine dayanan dilsel bir kontrol strateji uygulamak için kullanılır. Bulanık kontrol sistemleri tasarlarken sırasıyla hedef, bilgi tabanını oluşturan bulanık kontrol kuralları belirlenir ve “bulanıklaştırma” ve “durulaştırma” yapılır. Bulanık teorisinin ileri sürülmesinden kısa bir süre geçmesine rağmen bulanık kontrol çok çabuk bir gelişme sağlamıştır [32].

2.4. Bulanık Kurallar Tabanı ve Çıkarım Mekanizması

Anlatıldığı gibi bir bulanık kural, bulanık “eğer - o halde” kuralıdır. Örneğin, “eğer $T \geq 30^{\circ}\text{C}$ ise, o halde $R = 1\text{ k}\Omega$ ” kuralı kesin; “eğer sıcaklık büyük ise, o halde motor hızını yükselt” kuralı bulanıktır. Görüldüğü üzere “büyük” ve “yükselt” değerleri bulanıktır ve uygun üyelik dereceleri ile belirlenirler. Aynı bir süreci temsil eden bulanık kurallar toplamı bulanık kurallar tabanını (Fuzzy rules base) oluşturur. Bir bulanık kurallar tabanında birbirine bağlı olan kurallar mevcuttur ve böyle bağlılık sistemin girişine verilen gerçeklerden yola çıkarak bir sonuca varmaya imkân vermektedir. M tane bulanık kural olduğu,

$$A_i^l \subset U_i, \quad B^l \subset V, \quad x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \in U \quad \text{ve}$$

$y \in V$ olduğu varsayılarak bir bulanık kuralın genel yapısı aşağıdaki gibi belirlenebilir:

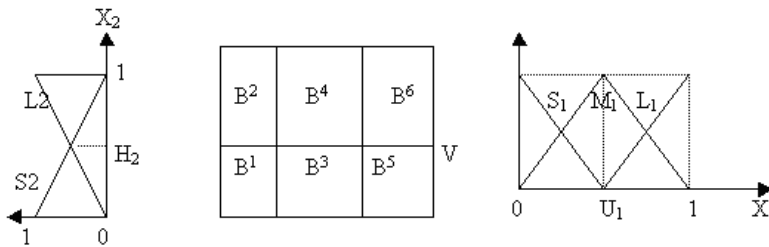
$Ku^{(l)}$: Eğer x_1, A_1 ve.....ve x_n, A_n ‘dir, o halde y, B^l dir

Burada $l=1, 2, \dots, M$ ifadesi birkaç değişik tip bulanık kuralı içerdiğinden “kanonik (yasal) bulanık eğer - o halde kuralı” olarak adlanır. Bu değişik tipler aşağıdakilerdir.

- a) Kısmi kurallar: $m \subset n$ olduğunda, Eğer $x_1 A_1^i$ ve.....ve $x_m A_m^i$ dir, o halde $y B^i$ dir.
- b) Veya kuralları: Eğer $x_1 A_1^i$ ve.....ve $x_m A_m^i$ dir veya $x_{m+1} A_{m+1}^i$ dir ve.....ve $x_n A_n^i$ dir, o halde $y B^i$ dir
- c) Tek bulanık ifade $y B^i$ dir.
- d) Dereceli kurallar, örneğin küçük x, büyük y
- e) Bulanık olmayan (geleneksel) kurallar.

Kurallar tabanındaki bulanık kurallar arasındaki ilişkiler ayrı ayrılıkta ve tümüyle ilgi odağıdır [33].

Örneğin $U_1 \times U_2 = U = [0,1] \times [0,1]$ ve $V = [0,1]$ kümelerinden olan uygun iki giriş $(x_1$ ve $x_2)$ ve bir çıkış $P_1(y)$ bulanık sisteme bakılırsa S_1, M_1, L_1 gibi üç bulanık değer (X₁ için) U_1 den, S_2 ve L_2 gibi iki bulanık değer (x₂ için) de U_2 'den olduğu varsayılabilir. Bu kümelerin Şekil 2.18'de gösterildiği gibi olduğu kabul edilirse;



Şekil 2.18 İki girişli, bir çıkışlı bulanık sistem örneği

Bu durumda bulanık kural tabanının tam olması için bu tabanın aşağıdaki altı kuralı içermesi gerekir.

Eğer $x_1 S_1$ ve $x_2 S_2$ ise, O halde $y B^1$ dir

Eğer $x_1 S_1$ ve $x_2 L_2$ ise, O halde $y B^2$ dir

Eğer $x_1 \in M_1$ ve $x_2 \in S_2$ ise, O halde $y \in B^3$ tür

Eğer $x_1 \in M_1$ ve $x_2 \in L_2$ ise, O halde $y \in B^4$ tür

Eğer $x_1 \in L_1$ ve $x_2 \in S_2$ ise, O halde $y \in B^5$ tür

Eğer $x_1 \in L_1$ ve $x_2 \in L_2$ ise, O halde $y \in B^6$ tür

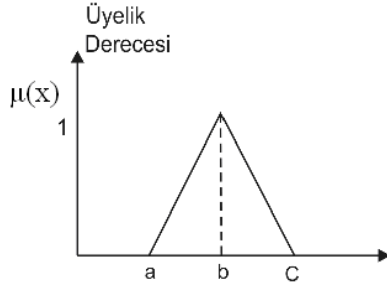
Burada B^i ($i = 1, 2, \dots, 6$) V deki bulanık kümelerdir. Tutarlı (consistent) bir bulanık eğer - o halde kuralları öyle kurallar toplusudur. Bu topluda eğer kısımları aynı, fakat o halde kısımları farklı olan kurallar yoktur. Tutarlılık koşulu geleneksel (bulanık olmayan) kurallar tabanı için çok önemlidir, fakat bulanık kurallarda bu koşulun çok önemi olmamaktadır, çünkü çıkarım mekanizması ve durulaştırıcı otomatik olarak uzlaşma oluşturur. Ama en iyisi münakaşalı kurallar tabanından kaçınmak, onun çatışmasız olmasını sağlamaktır. Eğer bulanık kurallarda iki komşu kuralın “o halde” kısımlarının kesişmesi boş küme değilse, bu kurallar sürekli (continuous) olarak adlandırılırlar. Bu bulanık sistemin giriş-çıkış tavrılarının pürüzsüz (smooth) olması anlamına gelmektedir [33].

2.4.1. Bulanıklaştırıcı

Gerçek değerlerin dilsel değerlere dönüştürülmesi işlemi “bulanıklaştırma” olarak adlandırılır. Bu amaçla bulanık kümeler ve onların üyelik fonksiyonları kullanılır. Başlıca kullanılan üyelik fonksiyonları şunlardır [34]:

- a) Üçgen (triangle) üyelik fonksiyonu: aşağıdaki gibi a, b, c şeklindeki üç parametre kullanılarak tanımlanabilir ve Şekil 2.19’deki gibi gösterilebilir;

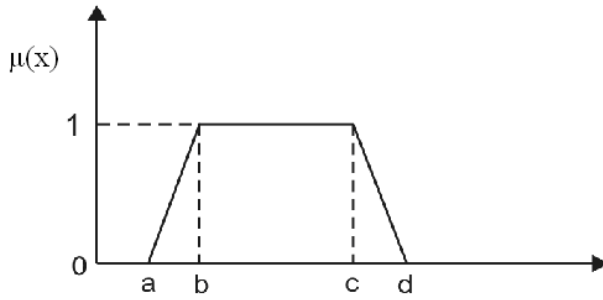
$$\text{triangle}(x, a, b, c) = \begin{cases} 0 & , x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & , a \leq x < b \\ \frac{c-x}{c-b} & , b \leq x \leq c \\ 0 & , c < x \end{cases}$$



Şekil 2.19 Üçgen üyelik fonksiyonu

- b) Yamuk (trapezoid) üyelik fonksiyonu: aşağıdaki gibi a,b,c,d şeklindeki dört parametre kullanılarak tanımlanabilir ve Şekil 2.20'deki gibi gösterilebilir;

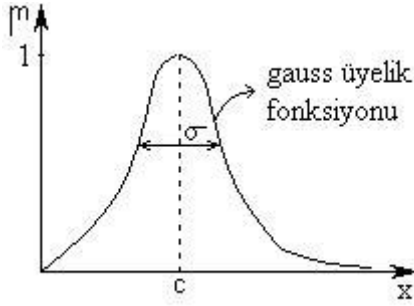
$$\text{trapezoid}(x, a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & , x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & , a \leq x < b \\ 1 & , b \leq x < c \\ \frac{d-x}{d-c} & , c \leq x \leq d \\ 0 & , d < x \end{cases}$$



Şekil 2.20 Yamuk üyelik fonksiyonu

- c) Gaus (Gaussian) üyelik fonksiyonu: c, g parametreleri kullanılarak aşağıdaki şekilde tanımlanır ve Şekil 2.21'deki gibi gösterilebilir;

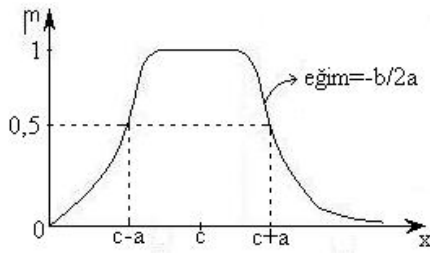
$$\text{Gaussian}(x, c, \sigma) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma}}$$



Şekil 2.21 Gaus üyelik fonksiyonu

- d) Genelleştirilmiş Bell üyelik fonksiyonu: a, b, c parametreleri kullanılarak aşağıdaki şekilde tanımlanır ve Şekil 2.22'deki gibi gösterilebilir;

$$Bell(x, a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}}$$



Şekil 2.22 Genelleştirilmiş Bell üyelik fonksiyonu

- e) Sigmoid üyelik fonksiyonu: a ve c parametreleri kullanılarak aşağıdaki şekilde tanımlanır ve Şekil 2.23'teki gibi gösterilebilir;

$$Sig(x, a, c) = \frac{1}{1 - e^{-a(x-c)}}$$

2.4.2. Durulaştırıcı

Durulaştırma (defuzzification), bulanık çıkarım sonucu elde edilen bulanık sonucun gerçek değere dnüşürölmesi işlemdir [35]. Diğer bir değişle bulanık $B' \subset V$ kümesinden kesin bir $y^* \in V$ noktasına gömölme işlemini “durulaştırıcı” olarak adlanır. Burada $V \subset R$ bulanık çıkarım mekanizmasının çıkışıdır. B' özel yollarla elde edildiğinden ona denk gelen en iyi noktayı seçmek için birkaç yöntem vardır. Durulaştırıcı için de aşağıdaki üç kıstas istenmektedir [36]:

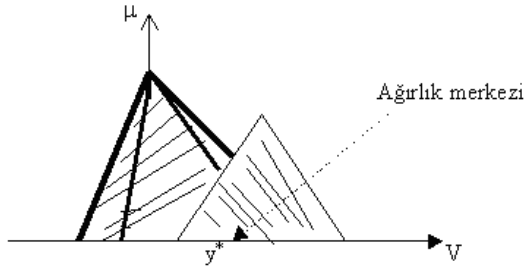
- Akla yakınlık (plausibility): y^* noktasının B' nü temsil etmesi sezgisel (intuitive) yolla belirlenir. Örneğin bu nokta yaklaşık olarak B' desteğinin ortasında yerleşebilir veya B' üyeliğinin en yüksek derecesini alabilir.
- Hesaplama basitliği. Bu kıstas gerçek zaman ölçeğinde çalışan kontrol sistemleri için çok önemlidir.
- Devamlılık (continuity) B' deki küçük bir değişiklik y^* de büyük değişikliğe neden olmamalıdır.

Bu kıstasları sağlayan üç tip durulaştırıcıdan bahsedilebilir:

- Ağırlık merkezci durulaştırıcı: Bu tip durulaştırıcı, y^* noktasını, B' nün üyelik fonksiyonu ile örten alanın ortası olarak belirtir, yani:

$$y^* = \frac{\int_v y \mu_B(y) dy}{\int_v \mu_B(y) dy} \quad (y.8)$$

burada \int_v - geleneksel integral sembolüdür ve Şekil 2.23'te bu işlem grafiksel olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.23 Ağırlık merkezli durulaştırıcının grafiksel sunumu

Bazen B' deki üyelik değerleri çok küçük olan $y \in V$ leri atmak gerekir. Bu, indisli ağırlık merkezli durulaştırıcı yardımı ile yapılır.

$$Y^* = \frac{\int_V y \mu_B(y) dy}{\int_V \mu_B(y) dy} \quad (y.8)$$

$$V_\alpha = \{y \in V \mid \mu_B(y) \geq \alpha\}$$

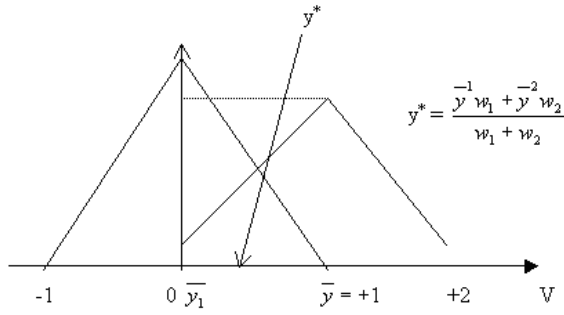
α - bir sabittir.

Ağırlık merkezli durulaştırıcının avantajı onun sezgisel akla yakınlığındandır. Dezavantajı hesaplanmasının yoğun olmasıdır [36].

b) Ortanın Maksimumu Durulaştırıcı: B' bulanık kümesinin M tane bulanık kümenin birleşmesi veya kesişmesi olduğundan ağırlık merkezli durulaştırıcı ifadesinin iyi yaklaştırılması (approximasyonu) M tane bulanık kümenin merkezlerinin ağırlıklı ortalamasıdır. Burada ağırlıklar, uygun bulanık kümelerin yüksekliği olarak görülürler. (Bulanık kümenin yüksekliği (height) kümedeki maksimum değer alan üyelik derecesidir.) Özellikle y^{-1} in 1^+ 'e bulanık küme ve W^e inde onun yüksekliğini olduğu varsayılırsa, merkezi orta bulanıklaştırıcı y^* şöyle belirlenir:

$$Y^* = \frac{\sum_{e=1}^M y^{-1} W_e}{\sum_{e=1}^M W_e}$$

Şekil 2.24'te $M=2$ için bu işlem grafiksel olarak görüntülenmektedir:



Şekil 2.24 Merkezi orta durulaştırıcının grafiksel sunumu

Bu yöntem en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Avantajı hesaplanmanın kolay olması ve sezgisel olarak akla yakın olmasıdır. y^{-i} ve w_e deki küçük değişiklikler y^* de de küçük değişiklikler getirmesi bu yöntemin diğer avantajıdır [36].

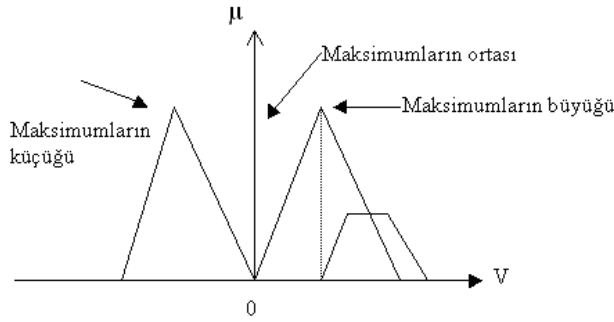
c) Maksimum Durulaştırıcı: Bu yöntem V 'de $\mu_B'(y)$ maksimum değeri olan bir y^* noktasını seçmeğe olanak tanır.

$$\text{Hgt}(B') = \{y \in V \mid \mu_B'(y) = \sup_{y \in V} \mu_B'(y)\}$$

olsun. Burada $\text{Hgt}(B') - B'$ bulanık kümesinin yüksekliği olup V deki $\mu_B'(y)$ 'lerin maksimum değer aldığı tüm noktalar kümesidir. Maksimum durulaştırıcı y^* , $\text{hgt}(B')$ deki belirli bir eleman olarak aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$y^* = \text{hgt}(B')$ deki herhangi bir nokta.

Eğer $\text{hgt}(B')$ yalnız bir noktadan ibaret ise bu durumda y^* yegâne bir yolla belirlenir. Eğer $\text{hgt}(B')$ birden fazla noktaya sahip ise bu noktalarda herhangi biri veya maksimumlardan küçüğü, büyüğü veya ortası götürülebilir, Şekil 2.25'te bu durumlar grafiksel olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.25 Maksimum durulaştırıcının grafiksel sunumu

Maksimum durulaştırıcı sezgisel akla yakın ve hesaplama açısından basittir. Ama B'deki küçük değişiklikler y^* de büyük değişiklikler getirir [36].

Durulaştırma yöntemlerini kıyaslayabilmek için şu şekilde bir örnek incelenebilir. B bulanık kümesinin, Şekil 2.26'da gösterilmiş iki bulanık kümenin birleşimi olduğu varsayalım. $y^{-1} = 0$ ve $y^{-2} = 0$ olduğu kabul edilirse merkezi orta durulaştırıcı yöntemi ile

$$y^* = \frac{y^{-1} w_1 + y^{-2} w_2}{w_1 + w_2} = \frac{w_2}{w_1 + w_2}$$

elde edilir. $w_2 = 0,8$ ve $w_1 = 1$ ise, o halde

$$y^* = \frac{0,8}{1,8} \approx 0,44$$

y^* ağırlık merkezci durulaştırıcı yöntemi kullanarak hesaplanacak olursa önce iki bulanık kümenin $y = w_2 / (w_1 + w_2)$ 'de kesiştiğine dikkat edilmelidir. Bundan dolayı $\int_V \mu_B(y) dy = 1$. bulanık kümenin alanı + 2. bulanık kümenin alanı – onların kesişmesi

$$= w_1 + w_2 - 1/2 \frac{w_1 w_2}{w_1 + w_2}$$

Şekil 2.24'ten

$$\begin{aligned}
 \int_{\mathcal{Y}} y \mu_B(y) dy &= \int_{-1}^0 y w_1 (1+y) dy + \int_0^{\frac{w_1}{w_1+w_2}} y w_1 (1-y) dy + \int_{\frac{w_1}{w_1+w_2}}^1 y w_2 y dy + \int_1^2 y w_2 (2-y) dy \\
 &= w_1 (1/2 y^2 + 1/3 y^3) \Big|_{-1}^0 + w_1 (1/2 y^2 - 1/3 y^3) \Big|_0^{\frac{w_1}{w_1+w_2}} + \\
 &w_2 1/3 y^3 \Big|_{\frac{w_1}{w_1+w_2}}^1 + w_2 (y^2 - 1/3 y^3) \Big|_1^2 = -1/6 w_1 + w_2 + 1/6 \frac{w_1^3}{(w_1 + w_2)^2}
 \end{aligned}$$

Bu son ifade bir önceki ifadeye bölünerek y^* bulunur:

$$y^* = \frac{-1/6 w_1 + w_2 + 1/6 \frac{w_1^3}{(w_1 + w_2)^2}}{w_1 + w_2 - 1/2 \frac{w_1 w_2}{w_1 + w_2}}$$

Tablo 2.2'de w_1 ve w_2 'ye bazı değerler vermekle her iki durulaştırıcı yöntemi ile bulunmuş y^* değerleri ve görelî hata gösterilmiştir. Tablo 2.2'den ağırlık merkezli yöntem merkezi orta yönteminden daha güçlüdür.

Tablo 2.2 Ağırlık merkezli ve merkezi orta durulaştırıcı yöntemlerinin kıyaslanması.

w ₁	w ₂	y* (ağırlık merkezli)	y* (orta merkezli)
0.9	0.7	0.4258	0.4375
0.9	0.5	0.5457	0.5385
0.9	0.2	0.7313	0.7000
0.6	0.7	0.3324	0.3571
0.6	0.5	0.4460	0.4545
0.6	0.2	0.6471	0.6250
0.3	0.7	0.1477	0.1818
0.3	0.5	0.2155	0.2500
0.3	0.2	0.3818	0.4000

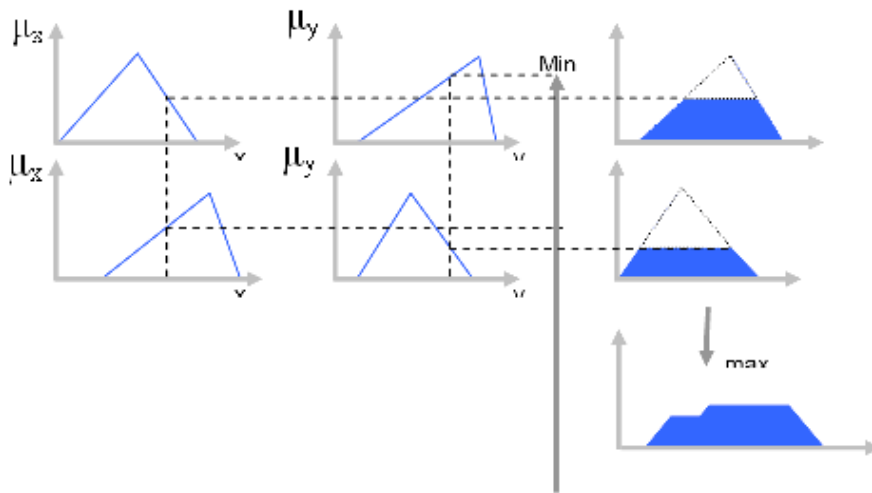
2.5. Mamdani Tipi Bulanık Modelleme

Bulanık mantık yönteminde yaygın olarak kullanılan iki yöntem vardır. Bunlar; Mamdani ve Sugeno yöntemleridir. Mamdani yöntemi, yaygın olarak kullanım alanı olan, uzman bilgisi gerektiren ve her türlü problemin çözümüne uygulanabilen bir bulanık mantık yöntemidir. Sugeno yöntemi ise değişken sayısının çok fazla olmadığı ya da bu değişkenlerin fazla sayıda alt kümelere ayrılmadığı durumlardaki problemlerin çözümünde kullanılır.

Mamdani tipi bulanık model çok kolay oluşturulur, insan davranışlarına çok uygundur. Bu nedenle yaygın bir kullanıma sahiptir ve diğer bulanık mantık modellerin temelini oluşturur. İlk defa bir buhar motorunun insan tecrübelerinden elde edilen sözel kontrol kuralları yardımıyla kontrolü amacıyla kullanılmıştır [37]. Bu modelde hem girdi değişkenleri ve hem de çıktı değişkeni kapalı formdaki üyelik fonksiyonları ile ifade edilir [38]. Mamdani tipi bir bulanık model aşağıdaki 5 adımda oluşturulur [39]:

- Girdilerin bulanıklaştırılması: Öncül kısımdaki bütün bulanık ifadeleri kullanarak girdi değişkenlerine ait 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecelerinin belirlenmesi.
- Bulanık mantık işlemlerini kullanarak kural ağırlıklarının belirlenmesi
- Bulanık küme mantıksal işlemcilerin (“ve”, “veya”) uygulanması
- Sonuçların toplanması: Her bir kuralın çıktısını temsil eden bulanık kümelerin birleştirilmesi
- Durulaştırma: Tek bir sayıya dönüştürülmüş toplam bulanık küme sonuçlarının durulaştırılması.

Mamdani çıkarımı bulanık içirme olarak Mamdani içermesini, ateşleme derecesi sıfırdan farklı kuralları birleştirmede ise max işlemcisini kullanır [40]. Şekil 2.26’da Mamdani tipi bulanık çıkarım şeması gösterilmiştir.

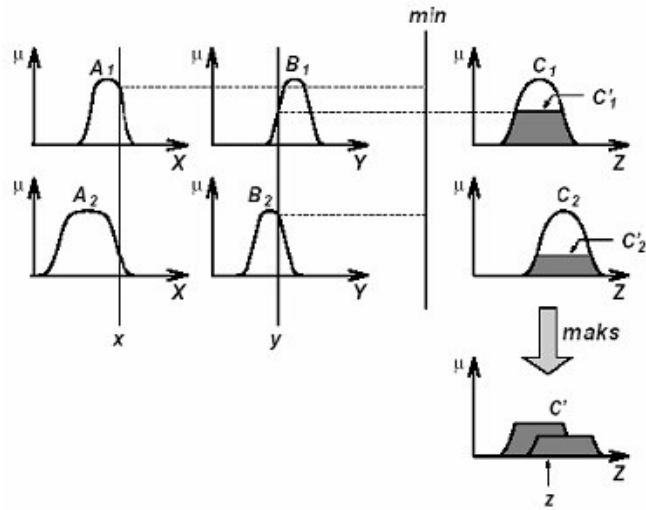


Şekil 2.26 Mamdani Bulanık çıkarım şemaları [40]

Şekil 2.27’de x ve y gibi sayısal iki değişkeni içeren iki kurallı bir Mamdani tipi bulanık modelde, z çıkış değerinin ci bulanık küme fonksiyonlarından nasıl hesaplandığı gösterilmektedir.

Kural 1: Eğer $x = A1$ VE $y = B1$ ise, o halde $z = C1$

Kural 2: Eğer $x = A2$ VE $y = B2$ ise, o halde $z = C2$



Şekil 2.27 Bulanık “VE” ve “VEYA” işlemleri için sırasıyla minimizasyon ve maksimizasyon operatörlerini kullanan Mamdani tipi bulanık çıkarım sistemi [38]

BÖLÜM 3. SÜRÜCÜ HIZINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Ülkemizdeki araç sayısı ve yılda gidilen yol miktarı dikkate alındığında, ölüm oranının Avrupa ortalamasından yaklaşık 14 kat daha yüksek olduğu görülmektedir. Trafik kazaları insan faktörü ile ortamsal özelliklerin (özellikle yol ve araç özellikleri) etkileşimi sonucunda oluşur. İnsan faktörü bu etkileşimde, bazen aktif (örneğin hatalı sollama gibi bir kural ihlali yaparak) bazen de pasif bir etmen (yorgun ve dikkatsiz araç kullanma, yol kusurlarına dikkate etmem vb.) olarak çoğu zaman başat rol oynar. İnsan faktörü araç kullanma sıklığından, sürücülerin demografik özelliklerine, psikomotor becerilerden kişilik özelliklerine kadar geniş bir yelpazede değerlendirilir ve bütün bu faktörlerin farklı oranlarda kazalarda rolü söz konusudur. Örneğin, demografik özelliklerden birisi olan araç kullanma süresi arttıkça kaza yapma sıklığının da arttığı bilinmektedir. Cinsiyet bakımından ise bütün dünyada olduğu gibi Türkiye’de erkek sürücülerin kadın sürücülerden, araç sayısı ve km dikkate alındığında bile, daha fazla ölümlü kaza yaptıkları bilinmektedir. Azalan bilişsel ve psikomotor yetenekleri nedeniyle 65–70 yaş üzerindeki sürücülerin de hem daha sık kaza yaptıkları hem de gençlere oranla kazalarda yaralanma ve ölme oranlarının daha yüksek olduğu bulunmuştur. Araç kullanma deneyiminin eksikliği de kazalara etki eden bir başka demografik faktördür. Araç kullanma becerisinin deneyimle arttığı ve kazalardan kaçınma için çok gerekli olan “yolu okuma ve tehlikeleri fark etme becerisinin” deneyimle kazanıldığı bulunmuştur [41].

Deneyimle de bağlantılı olarak, insan faktöründe ikinci önemli etmen sürücülük becerileridir. Sürücülük becerileri doğrudan kişinin araç kullanırken gösterdiği performansa karşılık gelir. Ancak bu performans araç kullanma ve güvenli sürücülük olmak üzere iki farklı beceri alanını kapsamaktadır. Birincisi, bir anlamda psikoteknik değerlendirmeye ölçülmeye çalışılan ve araç kullanma yetkinliği için gerekli olan fiziksel ve zihinsel özellikleri kapsamaktadır. Güvenli sürücülük becerisi

ise, kazalardan kaçınma ve güvenli sürücülüğü aktif olarak yol davranışlara yansıtma yeteneğine karşılık gelmektedir [41].

Sürücü becerileri, bilgi işlem süreçleri ve motor beceriler ile ilişkili iken, araç sürüş tarzı, sürücünün kişilik özelliklerini, tutumlarını ve güdülerini yansıtmaktadır. Sürücülük becerileri, bilgi işleme süreçlerini ve eğitim ve pratikle gelişen (örneğin sürücülük deneyimi) motor becerileri içermektedir. Başlangıçta, tüm bu işlemler bilinçli bir kontrol gerektirmektedir. Fakat zamanla daha fazla pratik yapılması ve sürücülük deneyiminin artmasıyla otomatik hale gelmektedir. Öğrenmeye ilaveten, araç kullanmayla ilişkili becerilerin sürücünün genel bilgi işleme becerilerinden de etkilendiği düşünülebilir. Sürücülük tarzı, araç kullanma alışkanlıklarıyla (örneğin sürücünün seyahat edeceği yolu seçmesi) ilgilidir. Sürücülük tarzı geçen yıllarla birlikte oluşmaktadır ama sürücülük deneyiminin artmasıyla beraber daha güvenli bir hal alacağı anlamına gelmez. Pratik yapmak ve çeşitli trafik koşul ve ortamlarına daha fazla maruz kalmak tahmin edilebileceği gibi becerilerde gelişmeye yol açacağı gibi aynı zamanda bireyin araç kullanma üzerindeki kontrolünün artmasına ve güvenliğe olan ilginin azalmasına, dolayısıyla daha riskli sürücülük tarzına yol açmaktadır [42].

Sürücü davranışları ile ilgili olarak yapılan bir başka çalışmada ise, hata ve kusurlar ile trafik kurallarını ihlal etme arasında kavramsal bir ayrım güdülmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Trafik çevresinde hata ve kusurların, sürücünün hüküm verme, çıkarımda bulunma ve idrak süreçlerindeki yetersizliklerden kaynaklandığı; ihlallerin ise emniyetli olan usul ve işlemlerden kasıtlı sapmalar oldukları belirtilmektedir.

Sürücü davranışlarına etki eden sürücüye bağlı diğer birkaç unsuru da şu şekilde sıralamak mümkündür: sürücü görsel tarama çeşitliliği; hızın algılanması ve yargılanması; aradaki mesafenin algılanması ve yargılanması; risk alma seviyesi; reaksiyon zamanı; sürücülerin kişisel özellikleri; yorgunluk, alkol veya ilaç kullanımı gibi sürücüdeki geçici bozukluklar; sosyal yapı; eğitim düzeyi; zekâ yapısı; çevre koşullarına uyabilme yeteneği ve bilgi düzeyi. Ayrıca hava ve yol koşulları ile aracın fiziksel özellikleri de sürücü davranışına etki eden çevresel faktörlerdir. Ancak trafik

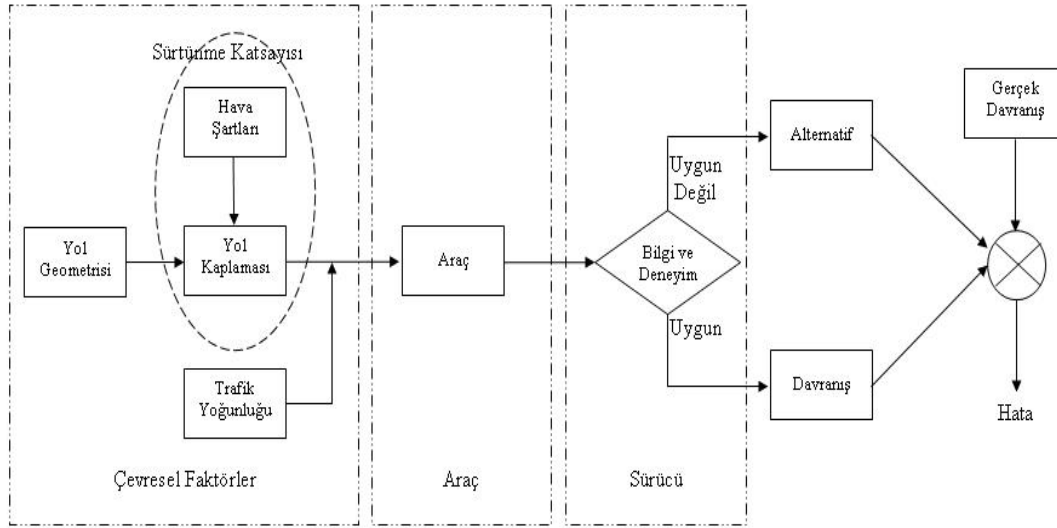
sorunlarına sebep olan insan faktörü oranı diğer faktörlere göre çok çok yüksektir. Örneğin Türkiye’de % 95 civarındadır [43].

Sürücülerin psikolojik durumları, kişilik özellikleri gibi sosyal ve psikolojik etkenler ve/veya trafik alt yapısı ile kazalar arasında tespit edilen ilişkiler karşı karşıya bulunulan sorunun kaynaklarını teşhis ve tespit etmede önemli ipuçları temin etmektedirler. Ancak bu araştırmalar, genel olarak, değişken olarak tanımladıkları nitelik ve durumlar arasında tespit edilen istatistiksel korelasyonu kendi başına bir durumun açıklaması olarak kabul edip, bu değişkenler arasındaki ilişkinin gerçek mahiyetini sorgulamadıklarından bazı önemli kuramsal ve pratik soruların cevabı yeterince belirginleşmemektedir [44].

İnsan biyo-psiko-sosyal bir varlıktır. İşte belki bundan dolayı olsa gerek insan davranışlarını tahmin edebilmek ve ona göre önlemler almak pek kolay olmamaktadır [41]. Bu nedenle sürücü davranışı üzerine yapılan çalışmalar daha çok, çevresel faktörler ve araç durumu üzerine yoğunlaşmıştır.

3.1. Çevresel Faktörler

Trafik; sürücü, araç ve çevrenin etkileşiminden oluşur. Sürücü, hareketine, bulunduğu ortam şartlarını, kullandığı aracı da düşünerek bilgi, deneyim ve zekâsıyla karar verir. Virajlı ve/veya eğimli bir yoldaki davranışıyla düz bir yoldaki davranışı aynı olmayacak ya da otomobille yaptığı hızı kamyonla da denemeye kalkmayacaktır. Sürücü hızına etki eden bir diğer unsur da yolun kaplaması ve havanın durumudur. Güneşli bir günde beton bir yolun sürtünme katsayısı 0.75 olurken yağmurlu bir gündeki asfalt kaplama bir yolun sürtünme katsayısı 0.25’e kadar düşebilmektedir. Sürücü, ayrıca yolun trafik yoğunluğunu da düşünmek zorundadır. Trafik kazası ya da yol çalışması gibi değişik nedenlerle tıkanmış bir trafikteki hızı, trafik akışına uymak zorundadır. Sürücü, tüm bu faktörleri göz önüne alarak tercihini yapar ve güzergâhını belirler. Bulduğu durum, kişisel tercihinin uygunsa hareketine devam eder, değilse alternatif yol seçerek hareket eder. Tüm bu durumlar düşünülerek sürücünün davranış modeli Şekil 3.1.’deki gibi oluşturulmuştur.



Şekil 3.1. Sürücü davranış modeli

Sürücü davranışını etkileyecek çevresel faktörler, en genel anlamda, yoldaki trafik akışı, yolun eğimi, yoldaki virajlar ve yolun sürtünme katsayısıdır. Yolun herhangi bir bölümünde, değişik sebeplerle oluşmuş bir tıkanıklık varsa, sürücü, davranışını bu tıkanıklığa göre düzenler. Trafik tıkanıklığı olmayan bir yolda ise yolun fizikî ve geometrik özelliklerine dikkat etmek zorundadır. Bu bağlamda en önemli konu virajlardır.

Newton'un II. yasasına göre r yarıçaplı dairesel bir yörüngede hareket eden cisim a ivmesine sahiptir ve a vektörü dairenin merkezine yönelir.

$$a_r = v^2 / r$$

Newton'un bu yasası yarıçap doğrultusu boyunca uygulandığında, hesaplanacak merkezci ivmeye sebep olan net kuvvetin değeri bulunabilir.

$$\sum F_r = m \cdot a_r = m \cdot v^2 / r \quad (1)$$

Bir aracın dairesel yörüngede hareket etmesine imkân sağlayan merkezci kuvvet statik sürtünme kuvvetidir. Buna göre (1) eşitliğinden sürtünme kuvveti bulunur:

$$f_s = m.v^2 / r \quad (2)$$

Aracın virajı dönebileceği en yüksek hız, aracın yoldan dışarı doğru kaymasına karşı gelen hızdır. Bu noktada statik sürtünme kuvveti en yüksek değere sahiptir:

$$f_{s,\text{mak}} = \mu_s \cdot n$$

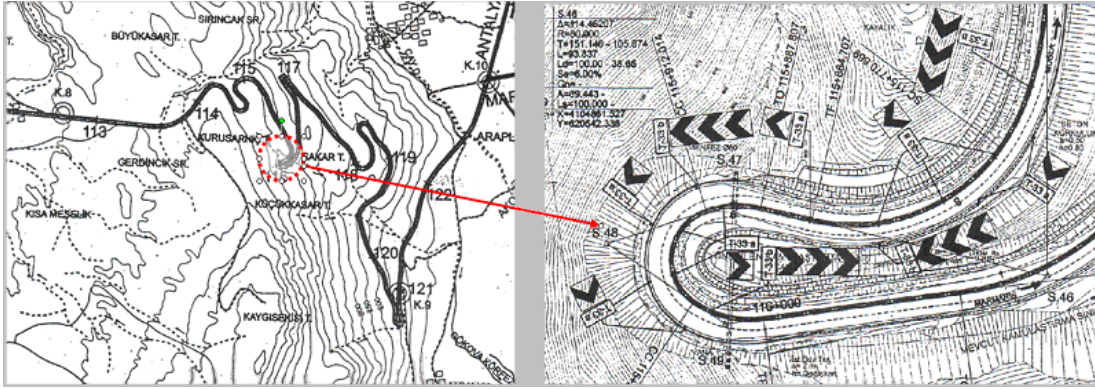
Bu durumda n doğal kuvvet, ağırlığa eşit olduğundan 2 eşitliğinde yerine konularak en yüksek hız bulunur [45]:

$$v_{\text{mak}} = \sqrt{(f_{s,\text{mak}} \cdot r) / m} = \sqrt{(\mu_s \cdot m \cdot g \cdot r) / m} = \sqrt{\mu_s \cdot g \cdot r}$$

Sürücü davranışlarına ilişkin oluşturulan bulanık mantık modelinden elde edilen hız tahminleri, T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü'nün çalışmalarından alınan sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

3.1.1 Yolun geometrik ve fizikî özelliklerinin hesaplanması

Otoyol, devlet yolu ve il yolu gibi karayolu taşımacılığı alanında çalışmalarını titizlikle sürdüren T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü, yolun fizikî ve geometrik özelliklerini ve yol üzerindeki trafik bilgilerini de takip etmektedir [46]. Örnek olarak Şekil 3.2a'da Muğla-Marmaris yolunun bir bölümü büyük ölçekli harita şeklinde ve bu yola ait geometrik detay ise Şekil 3.2b'de küçük ölçekli harita şeklinde sunulmaktadır [47].



Şekil 3.2a Muğla-Marmaris yol ayrımı
(büyük ölçekli harita)

Şekil 3.2a Muğla-Marmaris yol ayrımı
(küçük ölçekli harita)

Haritadan hareketle yola ait ortalama viraj yarıçapı ve ortalama eğimler şu şekilde hesaplanmıştır.

Yola ait ortalama viraj yarıçapı:

l : yol uzunluğu,

r : uzunluğa ait viraj yarıçapı,

$$\frac{\sum(r.l)}{\sum l}$$

Yolun ortalama eğimi;

β : uzunluğa ait eğim,

$$\frac{\sum(\beta.l)}{\sum l}$$

3.2. Araç

Yol geometrisi özellikle sürücü hızına etki eden bir faktördür. Sürücüler tepe üstü noktalara geldiklerinde, yol eğiminin yüksek olduğu yerlerde ve özellikle de virajlara yaklaştıklarında hızlarını önemli ölçüde düşürmeli, yol geometrisine bağlı olarak görüş durumu azaldığında gerektiğinde korna çalmalıdır. Trafikte meydana gelen kayıtlı kazaların birçoğunda sebep yol geometrisidir.

Ülkemizde 2918 Sayılı Karayolları Trafik Kanunu şehirlerarası yollarda ve şehir içinde sürücülerin hangi şartlarda araç kullanacaklarına dair sınırlamalar getirmiştir. Kanunda, ülkemizdeki yolların geometrik özelliklerine ve her türlü hava koşullarındaki durumuna göre hız sınırlaması getirilmiştir. Hız ölçen teknik cihaz veya çeşitli teknik usullerle yapılan tespit sonucu hız sınırlarını aşan sürücülere para cezası uygulanır [43]. Şehirlerarası karayollarımızda uygulanan hız sınırlarının tespiti yetkisini İçişleri Bakanlığının uygun görüşünü almak kaydıyla Karayolları Genel Müdürlüğü'ne vermiştir. Şehir içi yollarda ise bu yetki İl Trafik Komisyonları'na bırakılmış olup, bazı illerimizde şehir içi hız tahditlerinde yeni düzenlemeler yapılmıştır [44]. Tablo 3.1.'de ülkemizde değişik araç türleri için şehir içi, şehirlerarası ve otoyolda yasal hız sınırları görülmektedir [22].

Tablo 3.1 Türkiye'de değişik araç türleri için şehir içi, şehirlerarası ve otoyolda yasal hız sınırları

ARAÇ CİNSİ	ŞEHİR İÇİ	ŞEHİRLERARASI	OTOYOLDA
	(Km/Sa)	(Km/Sa)	(Km/Sa)
Otomobil	50	90	120
Otobüs	50	80	100
Minibüs, kamyon ve kamyonet	50	80	90
Arazi taşıtları ve motosikletler	50	70	80
Tehlikeli madde taşıyan araçlar ve özel Yük taşıma izin belgesi veya özel izin belgesi ile karayoluna çıkan araçlarda (Belgelerinde aksine bir hüküm yoksa)	30	50	60
Motorlu ve motorsuz bisikletler	30	50	-
Lastik tekerlekli traktörler, arızalı bir aracı çeken araçlar ve iş makineleri	20	20	-

3.2.1 Devlet yollarında tespit edilen ortalama hızlar

T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından yapılan trafik sayımları, seyyar, sabit ve özel sayımlar olmak üzere üç farklı şekilde yapılmaktadır. Sabit sayımlar, yıl içerisinde sürekli yapılan sayımlardır. Seyyar sayımlar, kısa süreli sayımlar olup 4 mevsim, 7 gün ve 24 saat yapılan sayımlardır. Özel sayımlar ise genellikle cihazlı sayımlarda 48 saat, el sayımlarında 8 saat süreyle yapılan sayımlardır [46].

Bulanık mantık modeli sonuçlarıyla karşılaştırılacak taşıt hızları üç grupta toplanmıştır:

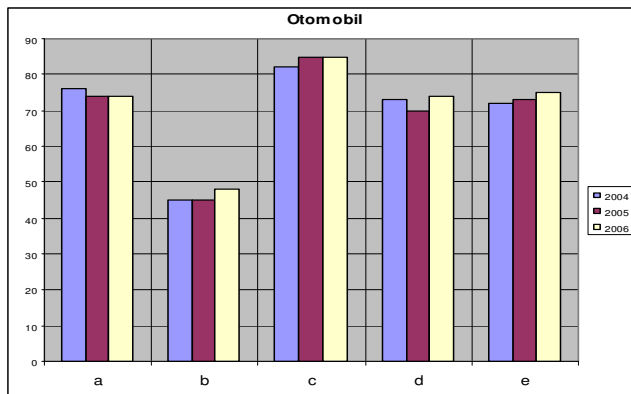
- Otomobil: Otomobil, pikap, kamyonet, cip, toplam yüklü ağırlığı 3,5 tonu geçmeyen taşıtlar ve yolcu taşıma kapasitesi yaklaşık 8–14 kişi olan taşıtlar (minibüs v.b)
- Otobüs: Yolcu taşıma kapasitesi yaklaşık 25 kişiden fazla olan taşıtlar.
- Kamyon

Türkiye'nin değişik noktalarında, 2004, 2005 ve 2006 yıllarında aynı yol üzerinde yapılan ölçümlerde birbirine yaklaşık sonuçlar alınmıştır [46, 48, 49]. Örnek olarak Tablo 3.2'de 2004, 2005 ve 2006 yıllarında hız ölçümleri yapılan yollar gösterilmiştir.

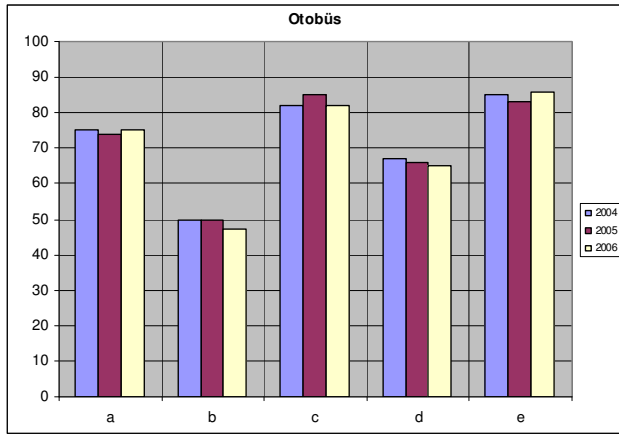
Tablo 3.2 Türkiye'nin değişik noktalarında ortalama hız ölçümü yapılan yollar

a	Muğla 400–03 kontrol kesim numaralı yolun 52–53–54–55. km'leri
b	Kırıkkale 753–01 kontrol kesim numaralı yolun 1–2. km'leri
c	Kayseri 825–01 kontrol kesim numaralı yolun 1–2–3. km'leri
d	Artvin 950–01 kontrol kesim numaralı yolun 1–2–3–4–5. km'leri
e	Ağrı 965–08 kontrol kesim numaralı yolun 1–2–3. km'leri

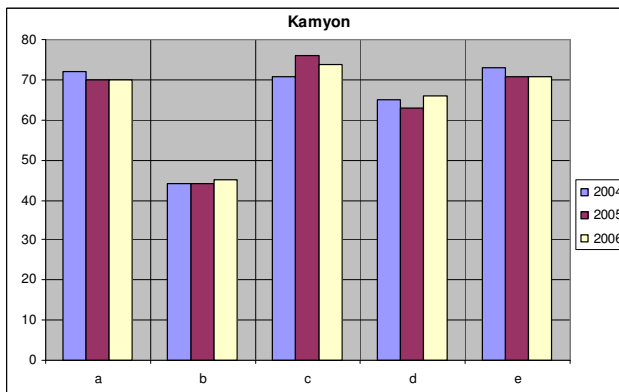
Şekil 3.3a,b,c'de ise Tablo 3.2'de gösterilen yollarda üç araç tipi için elde edilen sonuçlar grafiksel olarak sunulmuştur.



Şekil 3.3a 2004, 2005, 2006 yıllarında 5 farklı noktada elde edilen otomobil hızı ortalamaları



Şekil 3.3b 2004, 2005, 2006 yıllarında 5 farklı noktada elde edilen otobüs hızı ortalamaları



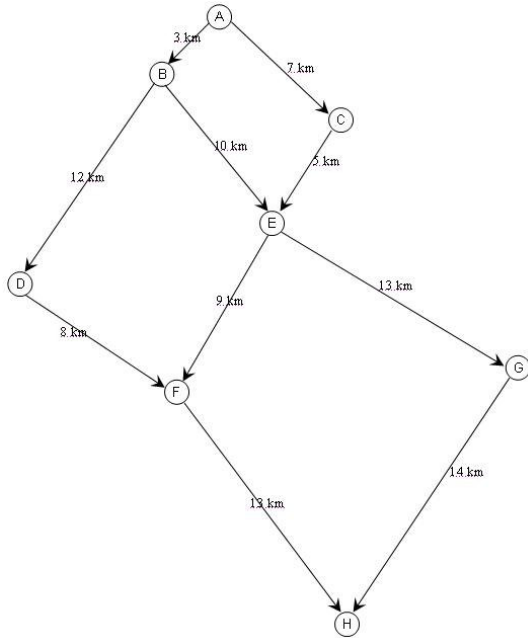
Şekil 3.3c 2004, 2005, 2006 yıllarında 5 farklı noktada elde edilen kamyon hızı ortalamaları

3.3. Güzergâh Belirleme

Sürücüler, (istisnalar bir yana bırakılırsa) varacakları yere en kısa sürede gitmek isterler. Bu yüzden yola başlamadan önce yaptıkları güzergâh planlarında veya sürüş sırasındaki plan değişikliklerinde buna dikkat ederler. Başlangıç noktasından bitiş noktasına giden değişik ihtimaller arasındaki “en kısa mesafe” her zaman “en kısa süre” anlamına gelmez. Yolun herhangi bir bölümündeki tıkanıklık ya da yol geometrisinin eğimli ve/veya virajlı olması, gidilebilecek maksimum hızı düşürecek dolayısıyla en kısa yol da değişecektir. Ancak başlangıç-bitiş noktaları arasındaki en kısa yolu maksimum hıza göre düşünmek de sağlıklı bir çözüm değildir. Sürücünün, eğimli ve/veya virajlı bir yoldaki ortalama hızının, aynı yolda, ulaşılabilecek maksimum hıza oranı; sürücünün düz bir yoldaki ortalama hızının, o yolda

ulaşılabilecek maksimum hıza oranına eşit olmayabilir. Aynı şekilde sürtünme katsayısının azaldığı yağmurlu/karlı hava şartlarında eğimli bir yolda sürücüler çok çok yavaş gidebilirler. Bu nedenle seçilecek “en kısa yol”, ortalama sürücü davranışlarına göre belirlenmelidir.

Şekil 3.4’te “A” noktasından “H” noktasına gitmek isteyen bir sürücünün kullanabileceği güzergâhlar, oklar(yol) ve düğümler kullanılarak şematize edilmiştir. Düğümler arası mesafe oklar üzerinde belirtilmiştir. Sürücü, ok yönündeki istikametleri kullanarak “H” noktasına varmaya çalışacaktır.



Şekil 3.4 “A” noktasından “H” noktasına varmak isteyen bir sürücünün yol haritası

Şekil 3.4’teki harita için Dijkstra Algoritması uygulanarak en kısa yol belirlenmiştir.

Dijkstra algoritması, kaynak düğümüyle ağdaki başka bir düğüm arasındaki en kısa yolu belirlemek üzere tasarlanmıştır. Algoritma bir etiketleme prosedürü kullanır. Etiketleme şu şekilde yapılmaktadır:

u_i ----- \rightarrow 1. düğümden i. düğüme en kısa uzaklık,

$d_{ij} (>=0) \rightarrow (i,j)$ bağlantısının uzunluğu olmak üzere;

j düğümü için etiket:

$$[u_j, i] = [u_i + d_{ij}, i], d_{ij} >= 0$$

şeklindedir.

Düğüm etiketleri geçici ve kalıcı olarak işaretlenirler. Geçici etiket, aynı düğüme daha kısa bir yol bulunursa başka bir etiketle değiştirilir. Daha iyi bir yol bulunamayacaksa etiket kalıcı olarak işaretlenir. Algoritma adım adım şu şekilde açıklanabilir:

0. adım:

1.düğüm(başlangıç düğümü) kalıcı etiketle $[0, -]$ şeklinde işaretlenir. $i = 1$ 'dir.

i. adım:

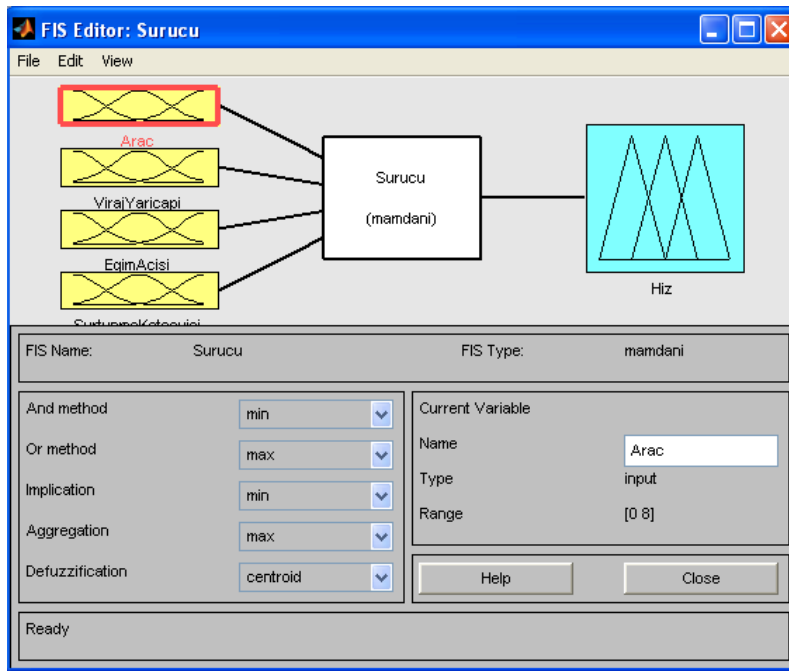
j 'nin kalıcı etiketlenmemiş olması koşuluyla, i . düğümden ulaşılabilen her j düğümü için geçici $[u_i + d_{ij}, i]$ etiketleri hesaplanır. j düğümü başka bir k düğümü içinde $[u_j, k]$ ile zaten etiketli ise ve $u_i + d_{ij} < u_j$ ise $[u_j, k], [u_i + d_{ij}, i]$ ile değiştirilir.

Tüm etiketler kalıcı ise işlem durdurulur. Aksi halde tüm geçici etiketler arasından $[u_r, s]$ nin en kısa mesafeli(= u_r) olanı seçilir (eşitlik varsa herhangi biri seçilebilir.) $i = r$ olarak atanır ve i . adım tekrarlanır [50].

Haritanın, görülen kuşbakışı görüntüsü için uygulanan Dijkstra Algoritmasıyla elde edilen en kısa yol: A-C-E-F-H güzergâhıdır.

BÖLÜM 4. SÜRÜCÜ HIZININ MAMDANI METODU İLE MODELLENMESİ

Sürücü davranışlarına sebep olan faktörler Bölüm 3’te anlatılmış ve bu faktörlerin etkilerine göre, Bulanık Mantık metotlarından Mamdani yaklaşımıyla Şekil 4.1.’deki gibi “Sürücü Hız Tahmin Modeli” oluşturulmuştur. Model, MATLAB R2007a programında hazırlanmıştır.



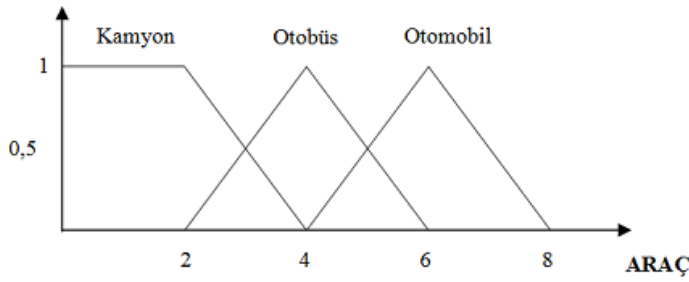
Şekil 4.1. Mamdani metoduyla oluşturulan sürücü hız tahmin modeli

Giriş olarak;

- Araç türü,
- Yolun ortalama viraj yarıçapı,
- Yolun ortalama eğim açısı,

d) Yol ile aracın tekerlekleri arasındaki sürtünme katsayısı,

değerleri girilmiş ve bu durumlardaki aracın ortalama “hız”ı tespit edilmeye çalışılmıştır. Eğer aracın bulunduğu ortamda trafik sıkışıklığı varsa, aracın hızı da trafik akış hızına eşit olacaktır. Bu nedenle, oluşturulan modele “ortalama trafik akışı” dâhil edilmemiştir. Şekil 4.1.’de de görüldüğü üzere, bulanık kurallar arasında kurulacak “VE” işlemi için “min”, “VEYA” işlemi için ise “max” değerleri seçilmiştir. Bulanıklaştırma için “kırpma” (min), bulanık sonuç birleştirme için “max” ve berraklaştırma için ise “centroid” seçenekleri seçilmiştir. Belirlenen giriş değerlerinden “Araç” değişkeni için oluşturulan üyelik fonksiyonları Şekil 4.2.a’da sunulmuştur. Üyelik fonksiyonları oluşturulurken karayolu üzerindeki ortalama hızlar gözönünde bulundurulmuştur.



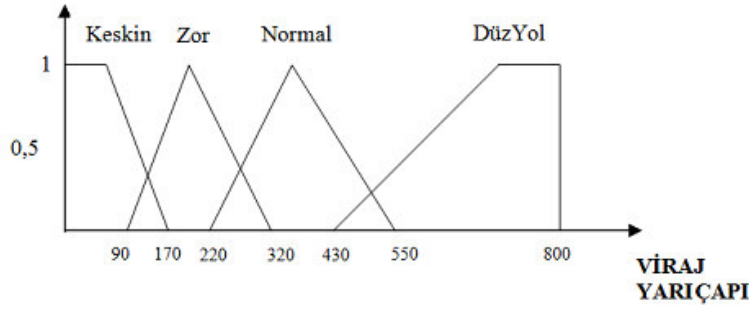
Şekil 4.2a Sürücü davranış modeline ait “Araç” üyelik fonksiyonları

“Araç” değişkeni için kullanılan üyelik fonksiyonları, üyelik fonksiyonlarının geometrik şekilleri ve bu geometrik şekillere ait değerler Tablo 4.1a’da gösterilmiştir.

Tablo 4.1a Araç üyelik fonksiyonuna ait değerler

Araç Türü	Geometrik Şekil	Değerler			
Kamyon	Yamuk	0	0	2	4
Otobüs	Üçgen	2	4	6	
Otomobil	Üçgen	4	6	8	

“Viraj Yarıçapı” değişkeni için oluşturulan üyelik fonksiyonları Şekil 4.2b’de gösterilmiştir. Üyelik fonksiyonları oluşturulurken karayolu üzerindeki viraj durumları gözönünde bulundurulmuştur.



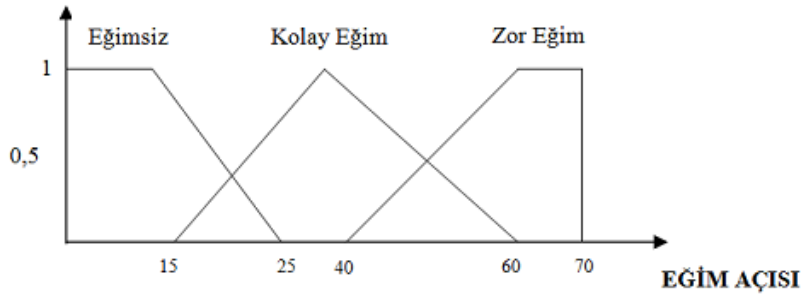
Şekil 4.2b Sürücü davranış modeline ait “Viraj Yarıçapı” üyelik fonksiyonları

“Viraj Yarıçapı” değişkeni için kullanılan üyelik fonksiyonları, üyelik fonksiyonlarının geometrik şekilleri ve bu geometrik şekillere ait değerler Tablo 4.1b’deki gibi düzenlenmiştir.

Tablo 4.1b Viraj Türü üyelik fonksiyonuna ait değerler

Viraj Türü	Geometrik Şekil	Değerler			
Keskin	Yamuk	0	0	50	170
Zor	Üçgen	90	200	320	
Normal	Üçgen	220	380	550	
DüzYol	Yamuk	430	700	800	800

“Eğim Açısı” değişkeni için oluşturulan üyelik fonksiyonları Şekil 4.2c’de gösterilmiştir. Üyelik fonksiyonları oluşturulurken karayolu üzerindeki eğimler ve araçların bu eğimlerdeki performansları gözönünde bulundurulmuştur. Eğimler derece cinsinden hesaplanmıştır.



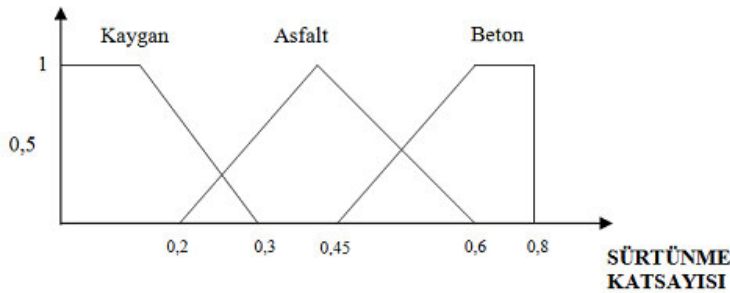
Şekil 4.2c Sürücü davranış modeline ait "Eğim Açısı" üyelik fonksiyonları

"Eğim Açısı" değişkeni için kullanılan üyelik fonksiyonları, üyelik fonksiyonlarının geometrik şekilleri ve bu geometrik şekillere ait değerler Tablo 4.1c'deki gibi oluşturulmuştur.

Tablo 4.1c Eğim Açısı üyelik fonksiyonuna ait değerler

Eğim Açısı	Geometrik Şekil	Değerler			
Eğimsiz	Yamuk	0	0	10	25
Kolay Eğim	Üçgen	15	35	60	
Zor Eğim	Yamuk	40	60	70	70

"Sürtünme Katsayısı" değişkeni için oluşturulan üyelik fonksiyonları Şekil 4.2d'de sunulmuştur. Üyelik fonksiyonları oluşturulurken karayolu üzerindeki kaplama türleri, yol kaplaması ile lastik tekerlek arasındaki sürtünme katsayısı ve araçların bu tür yollardaki hızları dikkate alınmıştır.



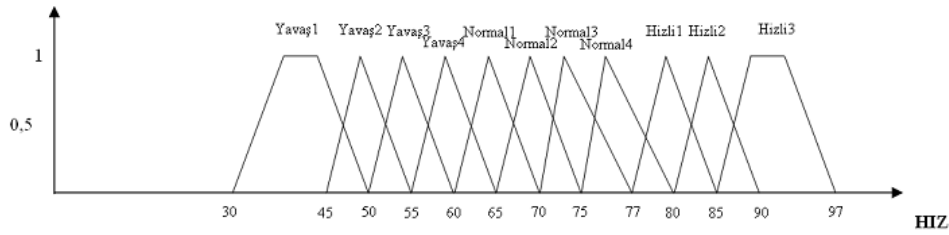
Şekil 4.2.d Sürücü davranış modeline ait "Sürtünme Katsayısı" üyelik fonksiyonları

“Sürtünme Katsayısı” değişkeni için kullanılan üyelik fonksiyonları, üyelik fonksiyonlarının geometrik şekilleri ve bu geometrik şekillere ait değerler Tablo 4.1d’deki gibi oluşturulmuştur.

Tablo 4.1d Sürtünme Katsayısı üyelik fonksiyonuna ait değerler

Sürtünme Katsayısı	Geometrik Şekil	Değerler			
		Kaygan	Yamuk	0	0
Asfalt	Üçgen	0,2	0,5	0,6	
Beton	Yamuk	0,45	0,7	0,75	0,8

Belirlenen kriterlere göre elde edilecek “hız” için oluşturulan üyelik fonksiyonları ise Şekil 4.3.’te gösterildiği gibi hazırlanmıştır.



Şekil 4.3 Sürücü davranış modeline ait “Hız” üyelik fonksiyonları

“Hız” sonucuna ait üyelik fonksiyonları, üyelik fonksiyonlarının geometrik şekilleri ve bu geometrik şekillere ait değerler Tablo 4.2’deki gibi oluşturulmuştur.

Tablo 4.2 Hız üyelik fonksiyonuna ait değerler

Hız	Geometrik Şekil	Değerler			
Yavas1	Yamuk	30	40	45	50
Yavas2	Üçgen	45	50	55	
Yavas3	Üçgen	50	55	60	
Yavas4	Üçgen	55	60	65	
Normal1	Üçgen	60	65	70	
Normal2	Üçgen	65	70	75	
Normal3	Üçgen	70	73	77	
Normal4	Üçgen	75	77	80	
Hızlı1	Üçgen	77	81	85	
Hızlı2	Üçgen	80	85	90	
Hızlı3	Yamuk	85	88	92	97

Kamyon, otobüs ve otomobilin, asfalt kaplama bir yol üzerindeki, değişik “viraj yarıçapı” ve “eğim açısı” durumları için oluşturulan kurallar Tablo 4.3a,b,c’de, sürücü modeli için oluşturulan tüm kurallarsa Tablo 4.4.’de sunulmuştur.

Tablo 4.3a Asfalt kaplama bir yolda Kamyon için oluşturulan kurallar

ASFALT BİR YOL İÇİN KAMYON MODELİ		VİRAJ			
		Keskin	Zor	Normal	Düz Yol
EĞİM	Eğimsiz	Yavas2	Normal1	Normal3	Normal2
	Kolay Eğim	Yavas1	Normal1	Normal1	Normal3
	Zor Eğim	Yavas1	Yavas3	Normal3	Normal2

Tablo 4.3b Asfalt kaplama bir yolda Otobüs için oluşturulan kurallar

ASFALT BİR YOL İÇİN OTOBÜS MODELİ		VİRAJ			
		Keskin	Zor	Normal	Düz Yol
EĞİM	Eğimsiz	Yavas3	Yavas2	Normal2	Hızlı1
	Kolay Eğim	Yavas3	Normal1	Hızlı2	Hızlı1
	Zor Eğim	Yavas2	Yavas2	Hızlı2	Normal3

Tablo 4.3c Asfalt kaplama bir yolda Otomobil için oluşturulan kurallar

ASFALT BİR YOL İÇİN OTOMOBİL MODELİ		VİRAJ			
		Keskin	Zor	Normal	Düz Yol
EĞİM	Eğimsiz	Normal1	Normal1	Hızlı1	Hızlı2
	Kolay Eğim	Normal1	Normal3	Hızlı2	Hızlı3
	Zor Eğim	Yavas3	Yavas3	Hızlı1	Hızlı1

Oluşturulan model kullanılarak, Kırıkkale'deki 753–01 kontrol kesim numaralı yolun 4. bölümündeki 2 km'lik mesafede ortalama kamyon hızı şu şekilde bulunabilir:

Yola ait ortalama eğim açısı $48,24^\circ$, ortalama viraj yarıçapı 85 m ve yol kaplaması betondur. Dolayısıyla bulanık modelde, 2. ve 4. dilsel kurallar işleme alınır.

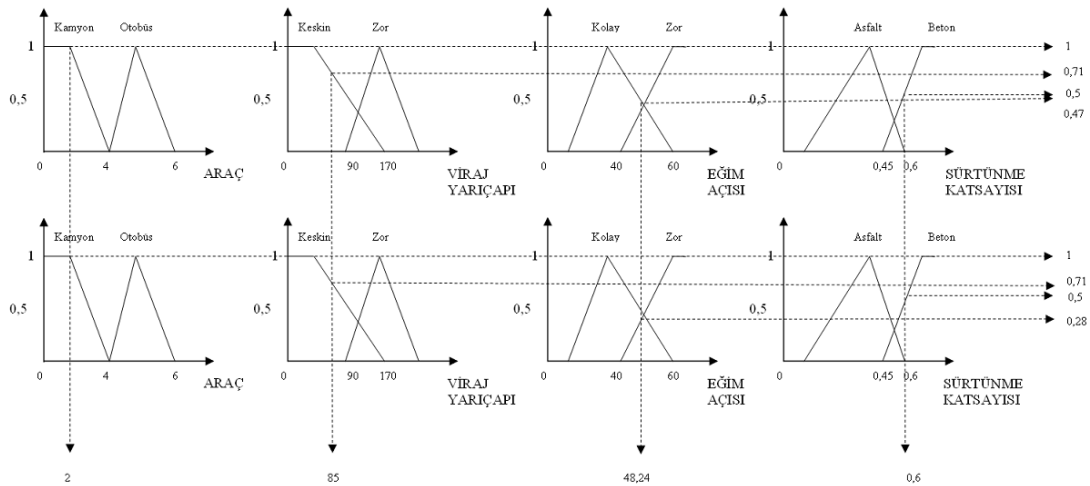
Kural 2:

Eğer (Araç=Kamyon) ve (Viraj Yarıçapı=Keskin) ve (Eğim Açısı=Kolay Eğim) ve (Sürtünme Katsayısı=Beton) o halde (Hız=Yavaş1)

Kural 4:

Eğer (Araç=Kamyon) ve (Viraj Yarıçapı=Keskin) ve (Eğim Açısı=Zor Eğim) ve (Sürtünme Katsayısı=Beton) o halde (Hız=Yavaş3)

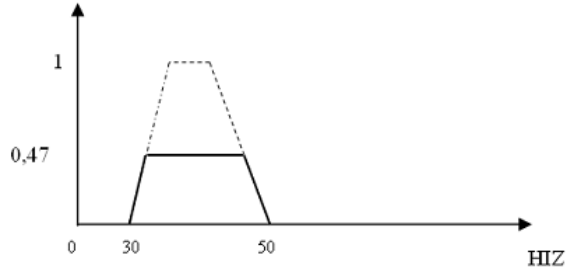
2. ve 4. kurallar grafiksel olarak Şekil 4.4'teki gibi incelenebilir:



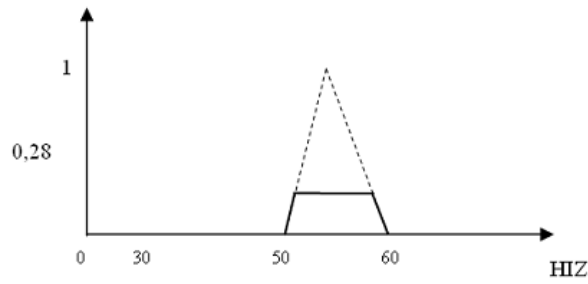
Şekil 4.4 Modelin 2. ve 4. kuralının örneğe göre işleyişi

Şekil 4.4'ten de görüldüğü gibi araç türü ve yola ait bilgiler giriş fonksiyonlarına uygulandığında, 2. kural için 1, 0,71, 0,47, 0,5 değerleri; 4. kural için ise 1, 0,71, 0,28, 0,5 değerleri elde edilmiştir. Model oluşturulurken kurallar arasındaki “VE” işlemi için “min” seçildiğinden berraklaştırma yapılırken 2.kural için 0,47 ve 4. kural

için ise 0.28 değerleri kırpma metoduna uygulanacaktır. Şekil 4.5a'da 2. kural için ve Şekil 4.5b'de de 4. kural için uygulanan kırpma metotları gösterilmiştir.

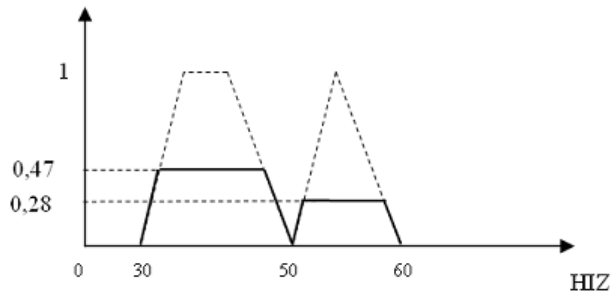


Şekil 4.5a Modelin 2. kuralına uygulanan kırpma metodu



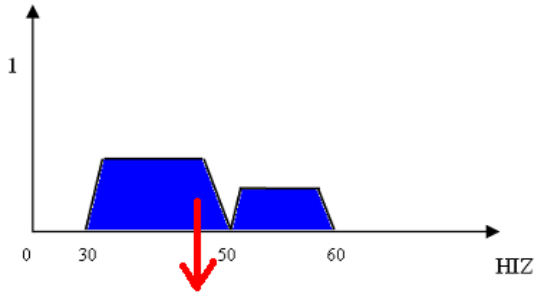
Şekil 4.5b Modelin 4. kuralına uygulanan kırpma metodu

2. ve 4. kural uygulandıktan sonra elde edilen son hal Şekil 4.5c'de sunulduğu gibidir.



Şekil 4.5c Modele 2. ve 4. kurallarına uygulanan kırpma işlemi

Bulanık model oluşturulurken berraklaştırma işlemi için “centroid” seçeneği seçildiği için elde edilen son şeklin ağırlık merkezi dikkate alınacaktır. Şekil 4.6’da ağırlık merkezi belirlenecek şekil görülmektedir.



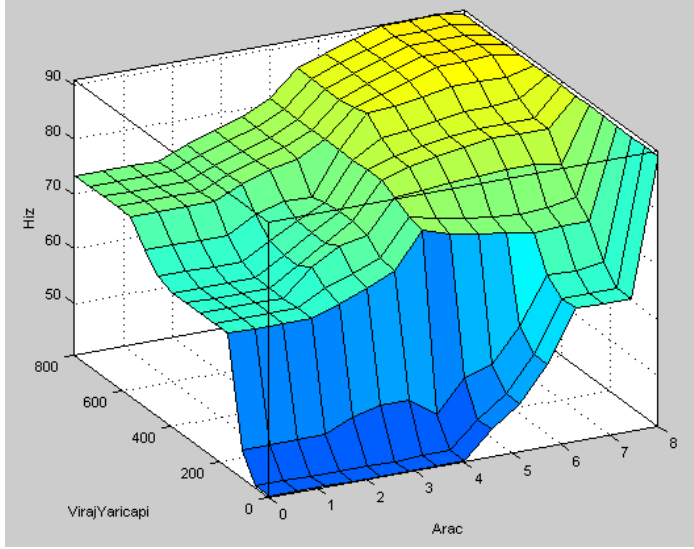
Şekil 4.6 Ağırlık merkezi bulunacak şekil

Şeklin ağırlık merkezi,

$$y^* = \frac{\int_v y \mu_B(y) dy}{\int_v \mu_B(y) dy}$$

formülüyle 44,9 olarak bulunur.

Kurallar neticesinde araç türü ve viraj yarıçapına bağlı girişler ile bu girişlere bağlı hız sonucu arasındaki ilişkiyi gösteren 3 boyutlu yüzey görüntü Şekil 4.7’de sunulmuştur.



Şekil 4.7 Dilsel kurallar sonrasında oluşan yüzey görüntü

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Türkiye’de devlet yolları üzerindeki 42 değişik noktaya ait geometrik bilgiler, Bölüm 3’te anlatılan hassasiyetle hesaplanmış ve Bölüm 4’te Mamdani metodu kullanılarak oluşturulan hız tahmin modeline uygulanmıştır. Modelin tahmin sonuçları, yine Bölüm 3’te anlatılan hassas ölçümlerle bulunan hız ortalamalarıyla karşılaştırılmıştır.

Türkiye’de devlet yolları üzerindeki 33 il sınırı içinde bulunan 42 değişik noktada, 2004, 2005 ve 2006 yıllarında yapılan ölçümlerden elde edilen hız verileri [46, 48, 49] ve bu yollara ait fizikî ve geometrik bilgiler [51] Tablo 5.1’de gösterilmiştir.

Tablo 5.1 Türkiye’de 42 devlet yolu üzerinde 2004, 2005, 2006 yıllarındaki hız ortalamaları

Bl No	il	KKNö	Uzunluk (km)	ORTALAMA			Eğim Açısı (Derece)	Viraj Yarıçapı (m)	Kaplama
				Otomobil Ortalama Hız (km/sa)	Otobüs Ortalama Hız (km/sa)	Kamyon Ortalama Hız (km/sa)			
5	Adana	400-20	3	82,00	83,00	75,00	7,41	390	Asfalt
5	Adana	815-05	10	72,33	70,67	64,33	6,00	235	Asfalt
3	Afyon	665-02	20	82,50	82,50	73,00	15,00	570	Asfalt
11	Ağrı	965-08	3	73,33	84,67	71,00	45,29	340	Beton
7	Amasya	805-10	4	82,00	82,00	75,50	8,00	500	Asfalt
4	Ankara	180-07	1	81,33	69,22	70,00	17,00	245	Beton
10	Artvin	950-01	5	72,33	66,00	67,00	30,96	255	Beton
10	Artvin	010-27	10	56,67	44,67	46,00	48,00	101	Asfalt
2	Aydın	320-01	10	89,00	84,00	75,67	15,00	465	Asfalt
2	Aydın	515-02	15	73,67	69,67	67,33	28,00	220	Asfalt
14	Balıkesir	550-06	3	70,00	68,00	65,00	7,41	240	Asfalt
2	Balıkesir	550-07	4	73,00	70,00	66,00	5,14	230	Asfalt
2	Balıkesir	550-07	10	80,67	78,33	70,33	23,00	385	Asfalt
9	Batman	955-11	10	62,00	57,00	60,33	53,00	170	Beton
11	Bitlis	300-32	3	72,00	68,00	70,00	14,04	210	Beton
7	Çorum	785-03	11	68,50	57,00	58,67	27,00	155	Asfalt
2	Denizli	585-06	16	87,00	81,33	75,67	9,00	480	Asfalt
9	Diyarbakır	360-08	12	74,00	74,50	63,50	39,00	230	Asfalt
4	Düzce	010-05	18	54,33	46,67	50,00	56,50	130	Asfalt
4	Düzce	100-11	16	86,50	83,00	71,50	8,00	350	Asfalt
8	Elazığ	300-24	5	76,00	73,50	72,00	19,00	290	Asfalt
4	Eskişehir	200-08	14	88,00	82,50	75,50	8,00	435	Asfalt
4	Eskişehir	675-01	13	87,00	83,00	76,33	13,00	420	Asfalt
5	G.Antep	400-22	9	59,33	59,67	54,33	48,00	160	Asfalt
10	Giresun	010-19	11	69,67	71,00	64,33	41,00	280	Beton
2	İzmir	240-01	16	78,67	78,00	68,67	27,00	370	Asfalt
4	Karabük	100-14	10	87,33	82,67	73,00	11,00	520	Asfalt
15	Kastamonu	765-02	2	59,50	54,00	53,00	44,42	150	Asfalt
15	Kastamonu	030-04	1	70,00	70,00	63,00	46,94	240	Asfalt
6	Kayseri	300-18	2	83,00	84,50	68,00	43,83	430	Asfalt
5	Kayseri	825-01	3	84,00	81,33	74,00	16,70	380	Asfalt
4	Kırıkkale	753-01	2	46,00	49,00	45,00	48,24	85	Beton
4	Kırıkkale	200-14	3	89,00	79,00	73,00	41,02	700	Asfalt
3	Konya	695-08	4	84,00	80,00	69,00	2,29	600	Asfalt
5	Malatya	300-22	3	58,00	51,00	56,00	64,00	180	Asfalt
5	Mersin	400-18	4	82,00	80,50	69,00	21,80	370	Asfalt
2	Muğla	400-03	4	74,67	74,33	70,00	41,02	320	Beton
7	Sivas	010-15	4	83,00	81,00	72,00	15,00	350	Asfalt
9	Ş.Urfa	885-13	16	70,00	65,00	61,00	15,00	130	Asfalt
9	Şırnak	400-31	10	49,67	42,33	41,33	62,00	68	Asfalt
10	Trabzon	010-21	5	83,33	83,33	77,33	11,00	410	Asfalt
2	Uşak	595-11	5	84,50	85,00	74,00	69,68	350	Asfalt

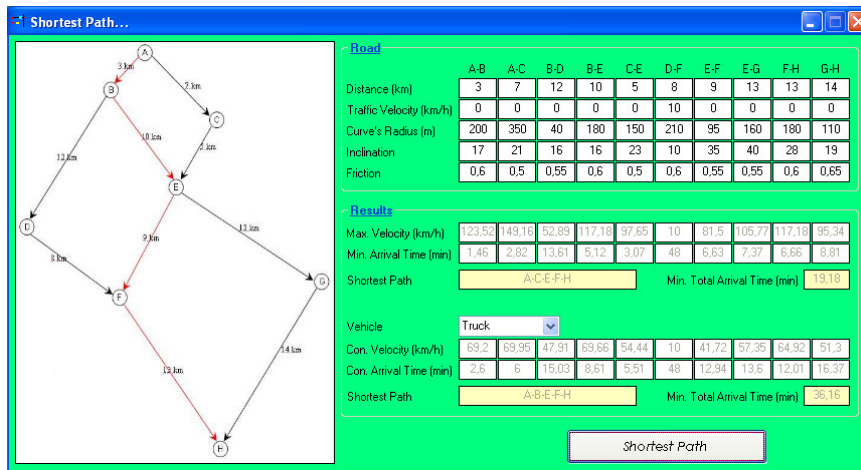
Tablo 5.1’de görülen, yollara ait fizikî ve geometrik veriler, oluşturulan modele uygulanarak elde edilen sonuçlar, aynı tablodaki, araçların ortalama hızlarıyla kıyaslanmıştır. Kıyaslama sonrası elde edilen sonuçlar Tablo 5.2’de sunulmuştur.

Tablo 5.2 Bulanık modelden alınan sonuçlarla ölçülen verilerin kıyaslanması

KIYASLAMA											
Yollar		Otomobil			Otobüs			Kamyon			
İl	KKNo	Ölçülen Ortalama Hız (km/sa)	Bulanık Sonuç	Hata Oranı %	Ölçülen Ortalama Hız (km/sa)	Bulanık Sonuç	Hata Oranı %	Ölçülen Ortalama Hız (km/sa)	Bulanık Sonuç	Hata Oranı %	
Adana	400-20	82,00	84,50	3,05	83,00	80,40	3,13	75,00	74,40	0,80	
Adana	815-05	72,33	71,50	1,15	70,67	68,40	3,21	64,33	67,20	4,46	
Afyon	665-02	82,50	84,10	1,94	82,50	81,00	1,82	73,00	70,10	3,97	
Ağrı	965-08	73,33	74,60	1,73	84,67	82,10	3,04	71,00	70,70	0,42	
Amasya	805-10	82,00	84,70	3,29	82,00	80,40	1,95	75,50	74,20	1,72	
Ankara	180-07	81,33	79,10	2,74	69,22	70,50	1,85	70,00	69,20	1,14	
Artvin	950-01	72,33	70,60	2,39	66,00	67,10	1,67	67,00	66,60	0,60	
Artvin	010-27	56,67	55,00	2,95	44,67	45,80	2,53	46,00	45,10	1,96	
Aydın	320-01	89,00	85,10	4,38	84,00	80,40	4,29	75,67	73,90	2,34	
Aydın	515-02	73,67	72,10	2,13	69,67	71,70	2,91	67,33	65,00	3,46	
Balıkesir	550-06	70,00	72,60	3,71	68,00	68,90	1,32	65,00	67,50	3,85	
Balıkesir	550-07	73,00	74,30	1,78	70,00	72,90	4,14	66,00	65,20	1,21	
Balıkesir	550-07	80,67	83,40	3,38	78,33	78,50	0,22	70,33	68,30	2,89	
Batman	955-11	62,00	59,90	3,39	57,00	54,80	3,86	60,33	61,40	1,77	
Bitlis	300-32	72,00	73,40	1,94	68,00	70,00	2,94	70,00	70,00	0,00	
Çorum	785-03	68,50	69,00	0,73	57,00	58,90	3,33	58,67	56,00	4,55	
Denizli	585-06	87,00	85,50	1,72	81,33	80,20	1,39	75,67	73,70	2,60	
Diyarbakır	360-08	74,00	73,60	0,54	74,50	72,70	2,42	63,50	65,40	2,99	
Düzce	010-05	54,33	53,30	1,90	46,67	48,60	4,14	50,00	48,20	3,60	
Düzce	100-11	86,50	84,60	2,20	83,00	80,40	3,13	71,50	74,30	3,92	
Elazığ	300-24	76,00	78,00	2,63	73,50	73,40	0,14	72,00	70,70	1,81	
Eskişehir	200-08	88,00	84,70	3,75	82,50	80,40	2,55	75,50	74,20	1,72	
Eskişehir	675-01	87,00	84,60	2,76	83,00	80,40	3,13	76,33	74,30	2,66	
G. Antep	400-22	59,33	60,30	1,63	59,67	57,70	3,30	54,33	56,40	3,81	
Giresun	010-19	69,67	69,50	0,24	71,00	69,30	2,39	64,33	67,20	4,46	
İzmir	240-01	78,67	80,80	2,71	78,00	76,10	2,44	68,67	66,50	3,16	
Karabük	100-14	87,33	86,30	1,18	82,67	80,20	2,99	73,00	71,90	1,51	
Kastamonu	765-02	59,50	57,60	3,19	54,00	56,40	4,44	53,00	54,30	2,45	
Kastamonu	030-04	70,00	68,10	2,71	70,00	68,50	2,14	63,00	62,10	1,43	
Kayseri	300-18	83,00	82,00	1,20	84,50	82,70	2,13	68,00	66,90	1,62	
Kayseri	825-01	84,00	83,80	0,24	81,33	79,50	2,25	74,00	72,80	1,62	
Kırıkkale	753-01	46,00	47,10	2,39	49,00	50,10	2,24	45,00	44,90	0,22	
Kırıkkale	200-14	89,00	90,10	1,24	79,00	78,70	0,38	73,00	72,20	1,10	
Konya	695-08	84,00	84,20	0,24	80,00	81,00	1,25	69,00	70,10	1,59	
Malatya	300-22	58,00	58,80	1,38	51,00	50,10	1,76	56,00	56,10	0,18	
Mersin	400-18	82,00	83,90	2,32	80,50	78,30	2,73	69,00	69,30	0,43	
Muğla	400-03	74,67	73,60	1,43	74,33	76,10	2,38	70,00	70,20	0,29	
Sivas	010-15	83,00	84,80	2,17	81,00	80,40	0,74	72,00	74,10	2,92	
Ş. Urfa	885-13	70,00	67,40	3,71	65,00	64,40	0,92	61,00	60,10	1,48	
Şırnak	400-31	49,67	51,50	3,68	42,33	41,80	1,25	41,33	42,80	3,56	
Trabzon	010-21	83,33	84,60	1,52	83,33	80,40	3,52	77,33	74,40	3,79	
Uşak	595-11	84,50	83,50	1,18	85,00	86,70	2,00	74,00	73,40	0,81	
				Max. Hata	4,38			Max. Hata	4,44	Max. Hata	4,55
				Ort. Hata	2,21			Ort. Hata	2,44	Ort. Hata	2,22

Tablo 5.2'den de görülebileceği gibi oluşturulan bulanık modelden elde edilen sonuçlarla KGM'nin ölçümleri birbirine yakındır. Kamyon için gözlemlenen en büyük hata oranı % 4,55 ortalama hata oranı ise % 2,22'dir. Otobüs için en büyük hata oranı % 4,44 ve ortalama hata oranı % 2,44'tür. Otomobil için ise bulunan en büyük hata oranı % 4,38 ortalama hata oranı ise 2,21'dir.

Bölüm 3.3'te oluşturulan yol modeli için değişik senaryolar kurulmuş ve bu durumda "A" noktasından "H" noktasına giden en kısa yollar belirlenmeye çalışılmıştır. Oluşturulan bir senaryo Şekil 5.1'de sunulmuştur.



Şekil 5.1 "A-H" güzergahı için oluşturulan senaryo, tespit edilen en kısa yol ve süreler

Şekil 5.1'deki senaryoya göre "A" noktasından "H" noktasına gitmek isteyen bir kamyon sürücüsü, yolun yalnızca "D-F" bölümünde trafik sıkışıklığıyla karşılaşacak ve bu noktadaki ortalama trafik akışı 10 km/sa olacaktır. Yolun değişik bölümlerindeki yol uzunlukları (distance), ortalama viraj yarıçapları (curve's radius), ortalama eğimler (inclination) ve yol kaplamaları (friction) da yine Şekil 5.1'de gösterilmiştir.

Bu şartlarda, yolun değişik bölümlerinde, ulaşılacak maksimum hızlar (max. velocity), bu hızlara göre oluşacak en küçük ulaşım süreleri (min. arrival time) ve bu ulaşım süreleri için uygulanan Dijkstra algoritması ile en kısa yol "A-C-E-F-H" yolu olarak belirlenir ve 19.18 dakikada "H" noktasına varılabilir.

Ancak ortalama kamyon hızı(con. velocity)'na göre oluşacak en küçük ulaşım süreleri (con arrival time [min]) için Dijkstra algoritması uygulandığında, ortalama % 2,22 hata oranı ile belirlenen en kısa güzergâh, “A-B-E-F-H” yoludur ve ulaşım süresi 36.16 dakikadır.

Oluşturulan model, GPS sistemleri gibi, yola ait fizikî bilgileri alabilen ve trafik yoğunluğunu tespit edebilen cihazlarla birlikte kullanılırsa, göz ardı edilebilir hata oranıyla başlangıç-bitiş noktaları arasındaki en kısa yol, minimum erişim süresi belirlenebilir ve uygulanacak hız limitleriyle güvenli sürüşler sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] COOK, A. R. and CLEVELAND, D. E., "Detection of freeway capacity reducing incidents b traffic stream measurements," *Transport Res. Rec.* 495, 1974.
- [2] DUDEK, C. L., MESSER, C. J., and NUCKLES, N. B., "Incident detection on urban freeways," *Transport Res. Rec.* 495, 1974.
- [3] DUDEK, C. L., "Better management of traffic incidents - scope of the problem," *Summer meeting of Transport Res. Board*, 1974.
- [4] DUDEK, C. L., MESSER, C. J., and DUTT, A. K., "Study of detector reliability for a motorist information system on the gulf freeway," *Transport Res. Rec.* 495, 1974.
- [5] MAY, A. D., CHOW, W. M., ELDOR, M., LU, C. K., and SAKASITA, M., "Optimal design and operation of freeway incident detection-service systems," *Dep. Transportation Rep. DOT TST-75-92*, 1975.
- [6] McDERMOTT, J. M., "Surveillance and control for incidents on Chicago area freeways," *Proc. Summer Meeting of Transport Res. Board*, 1974.
- [7] PAYNE, H. J., "Freeway incident detection based upon pattern classification," *Proc. IEEE Con\$ Decision Control*, 1975.
- [8] PAYNE, H. J., HLFENBEIN, E. D., KNOBEL, H. C., "Development and testing of incident detection algorithms," *Final Report FHWA Contract FH-11- 8278*, 1976.
- [9] ZANG, L., JIA, L., LUO, Y., "An Intelligent Control Method for Urban Traffic Signal Based on Fuzzy Neural Network", *IEEE*, 1-4244-033204/06, 2006.
- [10] XUE, D., DONG, Z., "An Intelligent Contraflow Control Method for Real Time Optimal Traffic Scheduling Using Artificial Neural Network, Fuzzy Pattern Recognition, and Optimization", *IEEE*, 1063-6536/00\$10.00, 2000.
- [11] LU, J., CAO, L., "A Quantization Method of Traffic Congestion Evaluation Based on Fuzzy Logic", *IEEE*, 0-7803-7952-71031817.00, 2003.

- [12] BINGHAM, E., “Reinforcement Learning in Neurofuzzy Traffic Signal Control”, 0377-2217/01, 2001.
- [13] LUCIC, P., TEODEROVIC, D., “Transportation Modeling: An Artificial Life Approach”, IEEE, 1082-3409/02, 2002
- [14] SIRINIVASAN, D., CEU, R. L., POH, Y. P., NGA., K. C., “Development of An Intelligent Technique for Traffic Network Incident Detection”, IEEE, 0952-1976/00, 2000
- [15] BASSET, M., ZIMMER, C., GISSINGER, G. L., “Fuzzy Approach to the Real Time Longitudinal Velocity Estimation of a FWD Car in Critical Situation”, IEEE, Vehicle System Dynamics, pp 477-489, 1997.
- [16] CATANIA, V., FICILI, G., PANNO, D., “An Assessment of Resource Exploitation Using Artificial Intelligence Based Traffic Control Strategies”, IEEE, 0-8186-7852-6/97, 1997
- [17] TEKTAŞ, M., AKBAŞ, A., TOPUZ, V., “Yapay Zeka Tekniklerinin Trafik Kontrolünde Kullanılması Üzerine Bir İnceleme”, Marmara Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO
- [18] LIN, Y., TANG, P., ZHANG, W. J., YU, Q., “Artificial Neural Network Modeling of Driver Handling Behaviour in a Driver-Vehicle-Environment System”, Inderscience Enterprises, 2004
- [19] TAKAHASHI, H., “Automatic Speed Control Device Using Self-Tuning Fuzzy Logic”, IEEE, TH0231/88/0000-0065, 1988
- [20] KONIG, R., SAFFRAN, A., BRECKLE, H., “Modeling of Drivers’ Behaviour”, IEEE, 0-7~01-2105-7~04/~, 1994
- [21] “Türkiye Cumhuriyeti Karayolu İyileştirme ve Trafik Güvenliği (KİTĞİ) Trafik Güvenliği Projesi Türkiye İçin Ulusal Trafik Güvenliği Programı”, İçişleri Bakanlığı, Milli Eğitim Bakanlığı, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Sağlık Bakanlığı, Gazi Üniversitesi, Ana Rapor, Aralık 2001
- [22] Emniyet Genel Müdürlüğü 2001, 2002 Kaynakları, s,279, 288,165,175, Ankara
- [23] <http://farabi.selcuk.edu.tr/egitim/bulanik/bulanik/bolum01.htm> Eylül, 2008
- [24] <http://farabi.selcuk.edu.tr/egitim/bulanik/bulanik/bolum02.htm> Eylül, 2008
- [25] ALTAŞ, İ. H., Bulanık Mantık: Bulanıklık Kavramı. *Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e*, Bilesim yayıncılık A.Ş, Sayı:62, Sayfalar:80–85, İstanbul, Temmuz 1999
- [26] <http://farabi.selcuk.edu.tr/egitim/bulanik/bulanik/bolum05.htm> Eylül, 2008

- [27] <http://farabi.selcuk.edu.tr/egitim/bulanik/bulanik/bolum06.htm> Eylül, 2008
- [28] <http://farabi.selcuk.edu.tr/egitim/bulanik/bulanik/bolum07.htm> Eylül, 2008
- [29] <http://farabi.selcuk.edu.tr/egitim/bulanik/bulanik/bolum56.htm> Eylül, 2008
- [30] <http://farabi.selcuk.edu.tr/egitim/bulanik/bulanik/bolum58.htm> Eylül, 2008
- [31] <http://farabi.selcuk.edu.tr/egitim/bulanik/bulanik/bolum61.htm> Eylül, 2008
- [32] LEE, C. L., Fuzzy logic in control systems: Fuzzy logic Vol.20, controller, Part1 and Part2, IEEE Trans. On systems and Cybernetics, No.2 Marc/April, 1990
- [33] <http://farabi.selcuk.edu.tr/egitim/bulanik/bulanik/bolum62.htm> Eylül, 2008
- [34] TEMURTAŞ F. “Bulanık Mantık Ders Notları 3”
- [35] TEMURTAŞ F. “Bulanık Mantık Ders Notları 4”
- [36] <http://farabi.selcuk.edu.tr/egitim/bulanik/bulanik/bolum67.htm> Eylül, 2008
- [37] MAMDANI, E.H., ASSILIAN, S., (1975), ”An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller”, *Int. Journal of Man-Machine Studies*, 7(1), 1-13
- [38] AKYILMAZ, O., “Esnek Hesaplama Yöntemlerinin Jeodezide Uygulamaları”, *Doktora tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2005
- [39] YILMAZ, M., ARSLAN, E., “Bulanık Mantığın Jeodezik Problemlerin Çözümünde Kullanılması”, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu 23-25 Kasım 2005, İTÜ – İstanbul
- [40] YENER, H., “Personel Performansına Etki Eden Faktörlerin Yapısal Eşitlik Modeli (YEM) ile İncelenmesi ve Bir Uygulama”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi, Ankara, Eylül 2007
- [41] SÜMER, N., LAJUNEN, T., ÖZKAN, T., “Sürücü Davranışlarının Kaza Riskindeki Rolü: İhlaller ve Hatalar”, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Psikoloji Bölümü, Ankara
- [42] ÖZKAN, T., SÜMER, N., AYVAŞIK, B., ER, N., “Kişilik Özellikleri, Koordinasyon Becerileri, Sürücü Davranışları ve Trafik Kazaları”
- [43] GÖKDENİZ, İ., TOLUNAY, M.K., Trafik Sorunlarına Sosyal Psikoloji Bağlamında İnsan Merkezli Sistem Yaklaşımı

- [44] SÖNMEZ, A., “Ağır Vasıta Sürücüleri’nin Çalışma Koşulları ve Trafik Kazaları Uzun Mesafe Yük ve Yolcu Taşımacılığı Yapan Sürücüler Üzerine Bir Çalışma”, T.C. İçişleri Bakanlığı Emniyet Genel Müdürlüğü Trafik Hizmetleri Başkanlığı Trafik Araştırma Merkezi, Ankara, 1999
- [45] Servay Fizik
- [46] 2006 Trafik ve Ulaşım Bilgileri, Otoyollar ve Devlet Yollarının Trafik Dilimlerine Göre Yıllık Ortalama Günlük Trafik Değerleri ve Ulaşım Bilgileri, Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı Ulaşım ve Maliyet Etüdüleri Şubesi Müdürlüğü, Temmuz 2007
- [47] Muğla-Marmaris Ayrımı Yolu KM=99+700.000-122+958.115 Trafik Projeleri, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü 2. Bölge Müdürlüğü
- [48] 2004 Trafik ve Ulaşım Bilgileri, Otoyollar ve Devlet Yollarının Trafik Dilimlerine Göre Yıllık Ortalama Günlük Trafik Değerleri ve Ulaşım Bilgileri, Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı Ulaşım ve Maliyet Etüdüleri Şubesi Müdürlüğü, Haziran 2005
- [49] 2005 Trafik ve Ulaşım Bilgileri, Otoyollar ve Devlet Yollarının Trafik Dilimlerine Göre Yıllık Ortalama Günlük Trafik Değerleri ve Ulaşım Bilgileri, Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı Ulaşım ve Maliyet Etüdüleri Şubesi Müdürlüğü, Haziran 2006
- [50] http://www.cbs2007.ktu.edu.tr/bildiri/P_41.pdf Eylül, 2008
- [51] “*Satış Cinslerine, Bakım Programına ve Kış Programına Göre 2007 Yılı Devlet ve İl Yolları Uzunlukları*” T.C. Ulaştırma Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Bakım Dairesi Başkanlığı, Ocak 2008

ÖZGEÇMİŞ

Dursun EKMEKÇİ, 01.01.1981'de Karabük'te doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Karabük'te tamamladı. 2004 yılında Sakarya Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu ve aynı yıl askere gitti. Balıkesir Astsubay M.Y.O.'da yedek subay olarak yaptığı vatani görevinden 2005'te terhis oldu. 2006 yılında halen çalışmakta olduğu M.T.A. Genel Müdürlüğü'nde Bilgisayar Mühendisi olarak göreve başladı ve yine aynı yıl Sakarya Üniversitesi Bilgisayar ve Bilişim Mühendisliği EABD'de yüksek lisans öğrenimine başladı.