

ŒEHİRİÇİ KARAYOLU GEOMETRİK
STANDARTLARININ KARAYOLU
KAPASİTESİNE ETKİSİNİN MODELLENMESİ

İlker ŒAHİNOĐLU

Yüksek Lisans Tezi

İnŒaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz - 2009

ŞEHİRİÇİ KARAYOLU GEOMETRİK STANDARTLARININ KARAYOLU
KAPASİTESİNE ETKİSİNİN MODELLENMESİ

İlker ŞAHİNOĞLU

Dumlupınar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Nuran BAĞIRGAN

Temmuz - 2009

KABUL ve ONAY SAYFASI

İlker ŞAHİNOĞLU 'nun YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Şehiriçi Karayolu Geometrik Standartlarının Karayolu Kapasitesine Etkisinin Modellenmesi” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

...../...../.....

(Sınav Tarihi)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Nuran BAĞIRGAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Polat YALINIZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Eyyüp GÜLBANDILAR

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof.Dr. Atalay KÜÇÜKBURSA
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ŞEHİRİÇİ KARAYOLU GEOMETRİK STANDARTLARININ KARAYOLU KAPASİTESİNE ETKİSİNİN MODELLENMESİ

İlker ŞAHİNOĞLU

İnşaat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2009

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr. Nuran BAĞIRGAN

ÖZET

Karayolu kapasitesini etkileyen birden fazla değişken bulunmaktadır. Bu değişkenlerin etkileri tek tek olabildiği gibi, birkaçı bir araya geldiğinde de olabilmektedir. Bu çalışmanın amacı da; karayolu kapasitesini etkileyen bu değişkenlerin araştırılması ve bu değişkenlerden, şerit genişliği, boyuna eğim ile yol kenarında park eden araç sayısının birlikte karayolu kapasitesine etkilerinin değerlendirildiği bir modelin elde edilmesidir.

Karayolu kapasitesini etkileyen oldukça fazla belirsizliklerin bulunması nedeniyle modelin oluşturulmasında bulanık mantık yöntemi kullanılmaktadır. Model, MATLAB programının yardımı ile oluşturulmaktadır.

Model; iki şeritli, tek yönlü ve çıkış eğimli, B (ana cadde, durma yasağı var ve eşdüzey kesişmeler az) ve C (cadde, bekleme ve park yasağı var, kavşakların kapasitesi iyi) gibi iki farklı şehiriçi karayolu tipi için oluşturulmaktadır. Modelde şerit genişliği, boyuna eğim, yol kenarında park eden araç sayısı girdi, pratik kapasite de çıktı olarak alınmakta ve Mamdani çıkarım yöntemi kullanılmaktadır.

B ve C yol tipleri için ayrı ayrı oluşturulan modelden elde edilen sonuçlar referans alınan TS12008'deki verilerle karşılaştırıldığında B yol tipi için R-Kare dağılımı 0.9521, C yol tipi için ise 0.936 olarak elde edilmektedir.

Oluşturulan model ile karayolu kapasitesini etkileyen üç değişken birlikte değerlendirilmektedir. Değişken sayısını arttırarak modeli geliştirmek mümkündür.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Mantık, Karayolu Kapasitesi, Karayolu Geometrik Standartları

MODELLING THE EFFECT OF THE URBAN HIGHWAY GEOMETRIC STANDARDS TO HIGHWAY CAPACITY

İlker ŞAHİNOĞLU

Civil Engineering, MSc. Thesis, 2009

Thesis Advisor: Assistant Prof. Nuran BAĞIRGAN

SUMMARY

There are more many variables affecting highway capacity. While the effects of these variables could be individual, they sometimes come together. The aim of this study is to investigate the variables affecting highway capacity and to get a model in which the effects of the variables such as the lane width, lengthwise declivity and the number of the vehicles parked along the road can be evaluated.

Because there are many uncertainties affecting the highway capacity fuzzy logic method was used in the construction of the model. The model was formed with the help of MATLAB programme.

The model was formed for two different urban highway types as one way and ascent pitched, B (Main Street, no stopping zone and less coequal intersection) and C (street, no waiting and parking zone, the capacity of the crossroad is good). Lane width, longitudinal slope and the number of the vehicles parked along the road were considered as input and the practical capacity was seen as output and Mamdani inference method was used in the model.

When the results taken from the model for the B and C road types was compared to the data of TS12008 R-Square distribution as 0.9521 for B type road and 0.936 for C type road.

With the model three variables affecting the highway capacity were evaluated. It is possible to improve the model by increasing the number of variable.

Key Words: Fuzzy Logic, Highway Capacity, Highway Geometric Standards

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamı yöneten, her türlü bilgi ve tecrübelerini paylaşarak yardımlarını esirgemeyen danışmanım Yrd. Doç. Dr. Nuran BAĞIRGAN'a, teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarımnda bana yardımcı olan, bulanık mantık ile ilgili bilgi ve görüşlerini paylaşan Yrd. Doç. Dr. Eyyüp GÜLBANDILAR'a (Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi) teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmamın başlangıcından tamamlanmasına kadar her türlü maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KARAYOLU KAPASİTESİ.....	4
2.1. Kapasite.....	4
2.2. Kapasiteye Etki Eden Değişkenler.....	5
2.2.1. Platform değişkenlerinin kapasiteye etkisi.....	6
2.2.1.1. Şerit genişliğinin karayolu kapasitesine etkisi.....	6
2.2.1.2. Şerit sayısının karayolu kapasitesine etkisi.....	7
2.2.1.3. Yan açıklığın karayolu kapasitesine etkisi.....	7
2.2.1.4. Banket genişliğinin karayolu kapasitesine etkisi.....	9
2.2.1.5. Yardımcı şeritlerin karayolu kapasitesine etkisi.....	10
2.2.1.6. Boyuna eğimin karayolu kapasitesine etkisi.....	10
2.2.1.7. Yüzey koşullarının karayolu kapasitesine etkisi.....	11
2.2.2. Trafik değişkenlerinin kapasiteye etkisi.....	11
2.2.2.1. Trafik bileşiminin kapasiteye etkisi.....	11
2.2.2.2. Trafik yön ve şeritlere dağılımının kapasiteye etkisi.....	12
2.3. Kapasiteyi Arttıracak Tedbirler.....	13
3. BULANIK MANTIK.....	14
3.1. Bulanık Mantığın Tanımı ve Özellikleri.....	14
3.2. Bulanık Mantığın Gelişimi.....	15
3.3. Bulanık Mantığın İnşaat Mühendisliği ve Ulaştırma Alanındaki Yeri.....	16
3.4. Kümeler.....	18
3.4.1. Klasik küme teorisi.....	18
3.4.2. Bulanık küme teorisi.....	19
3.5. Bulanık Kümelerde Üyelik Dereceleri.....	20

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.6. Bulanık Küme İşlemleri.....	22
3.7. Bulanık Küme İlişkileri.....	23
3.8. Üyelik İşlevinin Kısımları.....	26
3.9. Üyelik Derecesinin Atanması.....	28
3.10. Bulanık Kurallar.....	28
3.10.1. Bulanık kuralların harmanlanması.....	29
3.10.2. Kural tabanlı sistemler.....	30
3.11. Durulaştırma İşlemleri.....	33
4. BULANIK MANTIK İLE MODELLEME.....	39
4.1. Bulanık Model Değişkenleri ve Üyelik İşlevlerinin Belirlenmesi.....	39
4.2. B Tipi Yol İçin Bulanık Kuralların Elde Edilmesi.....	44
4.3. C Tipi Yol İçin Bulanık Kuralların Elde Edilmesi.....	55
5. SONUÇLAR.....	63
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	66
EKLER	
1. B Tipi Yol İçin 26. Kuralın Grafik Gösterimi	
2. B Tipi Yol için Değişkenler ile Kapasite Arasındaki İlişki	
3. C Tipi Yol İçin 22. Kuralın Grafik Gösterimi	
4. C Tipi Yol için Değişkenler ile Kapasite Arasındaki İlişki	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Klasik kümenin venn şeması ile gösterimi.....	19
3.2. \underline{X} bulanık kümesi.....	20
3.3. Üyelik derecesi fonksiyonları (a) Klasik küme (b) Bulanık küme.....	21
3.4. \underline{A} ve \underline{B} bulanık kümelerinin birleşimi.....	22
3.5. \underline{A} ve \underline{B} bulanık kümelerinin kesişimi.....	23
3.6. \underline{A} bulanık kümesinin tümleyeni.....	23
3.7. Sagittal diyagramı.....	24
3.8. İlişki matrisi.....	24
3.9. Üyelik işlevinin kısımları.....	26
3.10. Karayolu boyuna eğimi bulanık alt kümeler.....	28
3.11. Kuralların grafik gösterimi.....	32
3.12.a Bulanık girdi ilk kısım.....	33
3.12.b Bulanık girdi ikinci kısım.....	34
3.12.c Tipik bulanık küme çıktısı, ikisinin birleşimi.....	34
3.13. En büyük üyelik ilkesi.....	35
3.14. Sentroid yöntemi.....	35
3.15. Ağırlıklı ortalama yöntemi.....	36
3.16. Ortalama en büyük üyelik yöntemi.....	36
3.17. Toplamların merkezi yöntemi.....	37
3.18. En büyük alanın merkezi yöntemi.....	38
4.1. Şerit genişliği (m)- 1.girdi.....	41
4.2. Park eden araç sayısı (araç/1.5km) – 2.girdi.....	42
4.3. Boyuna eğim(%) – 3.girdi.....	43
4.4. B yol tipi için pratik kapasite (oto/sa) – çıktı.....	43
4.5. B yol tipi için model sonuçlarının R-Kare dağılımı.....	48
4.6. Şerit genişliği-karayolu pratik kapasitesi ilişkisi.....	49
4.7. Yol boyunca park eden araç sayısı-karayolu pratik kapasitesi ilişkisi.....	50
4.8. Boyuna eğim- karayolu pratik kapasitesi ilişkisi.....	51
4.9. Farklı şerit genişlikleri için, Araç sayısı ve pratik kapasite karşılaştırması...	52
4.10. Farklı boyuna eğimler için, Araç sayısı ve pratik kapasite karşılaştırması.....	54
4.11. C yol tipi için pratik kapasite (oto/sa) – çıktı.....	55

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>		<u>Sayfa</u>
4.12.	C yol tipi için model sonuçlarının R-Kare dağılımı.....	59
4.13.	Uygulama yapılan yolun şematik gösterimi.....	60
4.14.	Uygulama yapılan yoldaki otobüs durakları.....	61
4.15.	Uygulama yapılan yoldaki yaya geçitleri.....	62

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Şerit genişlikleri için ayarlama katsayıları.....	6
2.2. Yan açıklığın ideal genişliğe göre meydana getirdiği azalmalar.....	7
2.3. Dar şerit ve banketler için düzeltme faktörleri.....	8
2.4. Dar şerit ve banketler için düzeltme katsayıları.....	9
2.5. Trafığın yönlere dağılımına ait düzeltme katsayıları.....	12
4.1. Tek yönlü kentiçi yollarda pratik kapasite değerleri.....	40
4.2. Yol kenarında park eden araç sayısı ve kapasite azalması arasındaki ilişki...	42
4.3. B tipi yol için modelin bulanık kuralları.....	44
4.4. B tipi yol için bulanık kuralların sayısal örneklendirilmesi.....	46
4.5. ŞG-PK(diğer değişkenler sabit) değişim çizelgesi.....	49
4.6. AS-PK(diğer değişkenler sabit) değişim çizelgesi.....	50
4.7. BE-PK(diğer değişkenler sabit) değişim çizelgesi.....	51
4.8a. AS-PK(diğer değişkenler sabit) değişim çizelgesi.....	52
4.8b. AS-PK(diğer değişkenler sabit) değişim çizelgesi.....	52
4.9a. BE-PK(diğer değişkenler sabit) değişim çizelgesi.....	53
4.9b. BE-PK(diğer değişkenler sabit) değişim çizelgesi.....	53
4.10. C tipi yol için modelin bulanık kuralları.....	55
4.11. C tipi yol için bulanık kuralların sayısal örneklendirilmesi.....	57

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
D, X	Evrensel küme
C	Evrensel kümenin alt kümesi
a, b	C alt kümesinin öğeleri
$\underline{A}, \underline{X}, \underline{B}$	Bulanık küme
$\bar{u}(x), \bar{u}(y), \bar{u}(z)$	x, z ve y üyelik işlevinin üyelik derecesi
$\bar{u}_{\underline{A} \cup \underline{B}}(x)$	\underline{A} ve \underline{B} bulanık kümelerin birleşiminin üyelik derecesi
$\bar{u}_{\underline{A} \cap \underline{B}}(x)$	\underline{A} ve \underline{B} bulanık kümelerin kesişiminin üyelik derecesi
$\bar{u}_{\underline{A}}(x)$	\underline{A} bulanık kümesinin tümleyeninin üyelik derecesi
T	Geçiş ilişki matrisi
R	X uzayından Y uzayına geçişi gerçekleştiren ilişki matrisi
S	Y uzayından Z uzayına geçişi gerçekleştiren ilişki matrisi
\bar{I}	İlişki matrisi
$\bar{u}_T(x, z)$	T geçiş ilişki matrisinin üyelik derecesi
$\bar{u}_R(x, y)$	R ilişki matrisinin üyelik derecesi
$\bar{u}_S(y, z)$	S ilişki matrisinin üyelik derecesi
y^i	($i=1, 2, 3, \dots, r$) tekil bulanık çıkarımları
y	Tekil bulanık çıkarımların kesişimi, harmanlanmış çıkarım
$\bar{u}_y(y)$	Harmanlanmış çıkarımın üyelik derecesi
x_1, x_2, x_3	Bulanık sistemin girdileri
S	Bulanık çıktı kümesi
$\bar{u}_s(y)$	S bulanık çıktı kümesinin üyelik derecesi
Z	Çıkarım bulanık kümesi
z	Z çıkarım bulanık kümesinin elemanları
z^*, y^*	Durulaştırılmış değer
U	Birleşim

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
ŞG	Şerit genişliği
BE	Boyuna eğim
AS	Yol kenarında park eden araç sayısı
HCM	Highway Capacity Manual
EB-EK	En büyük-en küçük işlemi
EK	En küçük
PK	Pratik kapasite
RPK	Referans verileri ile elde edilen pratik kapasite
min	Minimum
maks	Maksimum

1.GİRİŞ

Karayolu dünyada olduğu gibi ülkemizde de en önemli ulaştırma yatırımlarının başında gelmektedir. Bir karayolu ağının uzunluğu, ülke içinde dağılımı, geometrik standartlarının kalitesi ülke ekonomisinin kalkınması açısından önemli bir yere sahiptir [1].

Teknolojik gelişmelere bağlı olarak, gelişmiş ülkelerde 1950’li yıllarda hızlanan ve daha sonrada devam eden motorlu taşıt sayısındaki artış ülkemizin de içinde bulunduğu gelişmekte olan ülkelerde daha belirgin olmaktadır [2]. Motorlu taşıt sayısındaki bu artış bilhassa kent içi yollarda taşıt trafiğinde sıklıkla sebep olmaktadır. Bu hemen hemen her ülke için çözümlenmesi gereken bir sorundur.

Ulaştırma yatırımları pahalı yatırımlardır. Bu sebeple ülkeler, yollarının geometrik standartlarını talebe göre karşılama yoluna gitmektedirler. Bu sorun gelişmekte olan ülkelerde daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmakta ve yolların geometrik standartları sürekli olarak değişiklik göstermektedir. Karayollarının kapasitesini, en verimli şekilde kullanılabilmesi için yolların geometrik standartlarının kesintisiz uygulanması gerekmektedir. Ancak, ülkemizin de içinde bulunduğu gelişmekte olan ülkelerde hem çok yüksek geometrik standartlar kullanıp hem de bunların devamlılığını sağlamak zordur [3].

Bu nedenlerle karayollarının kapasitesinin en verimli şekilde kullanılması için kapasiteyi etkileyen etkenlerin değerlerinin ne olması gerektiğinin bilinmesi gerekmektedir. Karayolu platformundaki veya trafikteki bir değişimin kapasitede ne kadarlık bir değişim yapacağını belirlenmesi ile gerekli düzeltmeler yapılabilir ve karayolunun kapasitesi artırılabilir.

Bu çalışmada amaç; karayolu kapasitesini etkileyen etkenler (platform özellikleri, trafik özellikleri,...,v.b.) araştırılarak bunlardan şerit genişliği (ŞG), boyuna eğim (BE) ve yol kenarında park eden araç sayısının (AS) birlikte kapasiteye etkisini bulanık mantık yöntemi ile modellemektir. Karayolu kapasitesini etkileyen etkenlerden sadece üç tanesinin modelde kullanılmasının nedeni, bu değişkenler için önceki çalışmalardan veri elde etmiş olmak ve temel bir model oluşturmaktır. Daha sonraki çalışmalarda, bu modele, diğer değişkenler eklenerek modelin geliştirilmesi mümkündür.

Şerit genişliği (ŞG), boyuna eğim (BE) ve yol kenarında park eden araç sayısının (AS) kapasiteye etkisi önceki çalışmalardan yararlanılarak elde edilmektedir. Bu değişkenlerin (şerit genişliği, boyuna eğim ve park eden araç sayısı) etkilerinin ayrı ayrı değil, birlikte değerlendirilmesi kapasitenin belirlenmesinde daha etkili olacaktır.

Karayolu kapasitesine birçok değişken etki etmektedir. Bu nedenle birden fazla belirsizlik içeren değişkenlerin, birbirlerine etkilerini sayısallaştırabilen bulanık mantık yöntemi kullanılmıştır. Bulanık mantığa dayalı model geliştirilmesinde en önemli konu, üyelik işlevlerinin belirlenmesidir. Üyelik işlevlerinin geliştirilmesinde kaynak araştırmasından yararlanılmıştır [4].

Karayolu kapasitesine etki eden etkenlerin; karayolu kapasitesine etkilerini birlikte değerlendiren çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Önceki çalışmalar daha çok, bu etkenlerin ayrı ayrı değerlendirildiği çalışmalardır.

Leong (1968) New South Wales'te kırsal alan üzerinde yaptığı çalışmasında 31 bölgede hızları ve kapasiteyi ölçmektedir. Çalışılan bölgelerde şerit ve banket genişlikleri değişkenlik göstermekte, banketler çakıldan oluşmaktadır. Elde edilen veriler çoklu regresyon kullanarak çözümlenmektedir. Bu çalışma sonucunda; hızın, artan banket genişliği ile arttığı ve özellikle iki şeritli bir karayolunda, şerit genişliği 3.7m'den 2.75m'ye azaldığında, karayolu kapasitesinin de %28 azaldığı sonucu elde edilmektedir [5].

Chakroborty ve Kikuchi (1990), kapasite ve hizmet düzeyi çözümlemesinde, bulanık küme teorisinin uygulanabilirliğini tartışarak bir model geliştirmekteler. Geliştirilen bu modelde ideal kapasite, görüş mesafesi, trafik hacmi ve taşıt aralığını girdi değişkenleri, ayarlama faktörü, gerçek kapasite ve hizmet düzeyini de çıkış değişkenleri olarak ele almaktadırlar. Bu çalışmada iki hizmet düzeyi arasındaki geçişin aniden değil de dereceli olarak değişeceği düşünülmektedir. Bu nedenle, hizmet düzeyi ve diğer değişkenleri, birbirine geçişlerin keskin olmadığı (üçgen) bulanık alt kümelere ayırarak modeli bu şekilde oluşturmaktadırlar. Bu çalışmanın sonucunda, bulanık küme teorisi kullanılarak oluşturulan modelin var olan yöntemden daha kesin ve iyi sonuçlar verdiği belirtilmektedir [6].

Ensari (1993) tarafından hazırlanan yüksek lisans tezinde karayolu geometrik standartlarının karayolu güvenliğine ve kapasiteye etkisi araştırılmaktadır. Bu çalışmada karayolu kapasitesine etki eden etkenler, karayolu geometrisi ve trafik özellikleri olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Karayolu platformu ile ilgili geometrik standartlar; şerit genişliği, şerit sayısı, yan açıklık, banketler, yardımcı şeritler ve eğim olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışma sonucunda şerit genişliğinin azalması durumunda kapasitenin olumsuz etkilendiği, yanal açıklıkların, yani kaplama kenarı ile karayolu kenarı arasında bulunan engellerin belli bir değerden daha az mesafede bulunmasının da kapasiteyi olumsuz etkilediği belirtilmektedir [7].

Yılmaz (2000) tarafından hazırlanan yüksek lisans tezinde ise; karayolu geometrik standartları ile karayolu güvenliği ve kapasitesi arasındaki ilişki ele alınmaktadır. Çalışmada karayolu kapasitesine etki eden etmenler tanımlanmakta ve karayolu geometrik standartlarının kapasiteye etkisi araştırılmaktadır. Karayolu güvenliği ile kapasitesinin arttırılabilmesi için karayolu geometrik standartların ne olması gerektiği konusunda teorik bilgileri sunmaktadır [1].

Chandra ve Kumar (2003), tarafından yapılan çalışmada; Hindistan'da şerit genişliğinin karışık trafik koşulları altında, iki şeritli bir karayolunun kapasitesine etkisi araştırılmaktadır. Genişliği 5.5m ile 8.8m arasında değişen iki şeritli karayollarının farklı kesimlerinden elde edilen veriler incelenerek, şerit genişliği için ayarlama faktörü elde edilmektedir. Elde edilen ayarlama faktörlerinin HCM (1994)'te verilenlerden daha düşük olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Buna neden olarak; karmaşık trafiğin olumsuz etkilerinin dar şeritlerde daha belirgin olduğu gösterilmektedir. Yine bu çalışmada, şerit genişliğini 0.3m arttırmanın kapasiteyi yaklaşık %14 arttırdığı, bu değer 0.6m olması durumunda ise kapasiteyi %24 arttırdığı sonucu verilmektedir [8].

2. KARAYOLU KAPASİTESİ

2.1 Kapasite

Hakim yol, trafik ve kontrol koşulları altında verilen bir zaman dilimi boyunca bir noktadan veya bir şerit ya da karayolunun düzgün bir kesiminden, uygun bir şekilde geçmesi beklenen maksimum saatlik akış oranıdır [9].

Kapasiteyi açıklamada çeşitli tanımlar kullanılmaktadır. Bunlar teorik kapasite ve pratik kapasite olarak adlandırılmaktadır.

Teorik Kapasite: Bir şerit veya platformun bir noktasından, sağlanabilen, ideale en yakın yol ve trafik koşulları altında bir saatte geçebilen azami otomobil sayısıdır [10].

Pratik Kapasite: Trafiğin aşırı tıkanmalar ile kazalara sebep olmayacak, ayrıca sürücülerin hız, takip aralığı ve sollama gibi hususlarda taşıt yönetmeliğindeki davranışları normalin üzerinde sınırlandırmaya yol açmayacak bir yoğunlukta bulunması durumunda hakim yol ve trafik koşulları altında yolun bütününden veya bir şeridinden bir saatte geçebilen azami taşıt sayısıdır [2].

Bir karayolunda, kapasitenin maksimum olabilmesi için; karayolu, trafik ve kontrol şartlarının ideal olması gerekmektedir.

İdeal koşul; daha ileri bir iyileştirmenin yolun kapasitesi ve hizmet düzeyinde bir artışa yol açmadığı durumdur [2].

Chakroborty ve Kikuchi (1990) çalışmalarında, var olan bir yolun kapasitesini belirlemenin iki adımdan oluştuğunu söylemektedirler. Bu adımlar aşağıdaki gibidir,

1. İdeal koşullarda kapasiteyi saptamak (ideal kapasite)
2. İdeal kapasiteyi var olan koşullara uyarlamak

Bu nedenle kapasite çözümlerinde en önemli konu ideal koşullar için gereken değerlerin belirlenmesidir.

HCM 2000'de (Highway Capacity Manual 2000); iki şeritli iki yönlü karayolları için ideal kapasite değerleri aşağıdaki gibi verilmektedir.

- Şerit genişliği 3.65m veya daha büyük
- Proje hızı iki şeritli yollarda 100 km/sa, çok şeritli yollarda 110 km/sa veya daha yüksek
- Banket genişliği 1.80m veya daha büyük ve bu genişlik içinde bir engel yok (yan açıklık en az 1.80m)
- Geçişin kısıtlandığı (görüş mesafesinin 450m den kısa olduğu) kesim yok
- Düz giden trafik için, dönüş yapan, ya da yandan katılan taşıtların sebep olduğu veya denetimden kaynaklanan bir sınırlandırma söz konusu değil
- Trafik sadece otomobil türü taşıtlar oluşturuyor
- Trafik yönlerine dağılımı eşit (50/50)

2.2 Kapasiteye Etki Eden Değişkenler

İdeal kapasite değerleri, varsayım ve gözlemler sonucu elde edildiğinden bir karayolunun tamamında bu ideal koşulların sağlanması mümkün değildir [6]. Gerçekte; karayollarında bu ideal kapasite değerlerini etkileyecek pek çok değişken bulunmaktadır. Hız ve geometri ile ilgili şartlar sağlansa bile, trafik yönlerine göre dağılımının eşit olması ve trafik bileşiminin ideal koşullarda verildiği gibi, yani tümünün otomobil olması pek mümkün olmamaktadır [2]. Bu nedenle hâkim yol, trafik ve denetim koşulları altında gerçek kapasite, ideal kapasite değerlerinin düzeltme katsayıları ile çarpılması sonucu elde edilmektedir [6].

Önceki çalışmalar incelendiğinde; kapasiteyi etkileyen etkenlerin iki bölümde toplandığı görülmektedir. Bunlardan birincisi yolun platformu (şerit genişliği, şerit sayısı, yan açıklık, banket genişliği, yardımcı şeritler, boyuna eğim, yüzey koşulları), diğeri ise sahip olduğu trafik koşulları (trafik bileşimi, trafik yön ve şeritlere dağılımı) ile ilgili değişkenlerdir. Bu iki bölümdeki değişkenler, kapasiteyi ayrı ayrı etkilese de, bazı durumlarda birbirleri ile ilişki içerisindedirler. Karayolunun sahip olduğu trafik koşulları kapasiteyi etkileyen geometrik değişkenlerin etkisinde artma veya azalma meydana getirmektedir. Örneğin, trafik akımında ağır taşıt yok ise, geometrik bir etken olan karayolunun boyuna eğimi, kapasiteye büyük ölçüde etki yapmamaktadır. Buna karşın ağır taşıtların, uzun ve dik boyuna eğimli karayolu kesimlerinde karayolu kapasitesine etkisi, düz kesimlere kıyasla çok daha fazla olmaktadır [10].

2.2.1 Platform değişkenlerinin kapasiteye etkisi

Bir karayolunun kapasitesi yoldaki kısıtlayıcı fiziksel özelliklerden önemli derece etkilenmektedir. Karayolu kapasitesine etki eden platform değişkenleri aşağıdaki gibi verilmektedir.

- Şerit genişliği
- Şerit sayısı
- Yan açıklık
- Banket genişliği
- Yardımcı şeritler
- Boyuna eğim
- Yüzey koşulları

2.2.1.1 Şerit genişliğinin karayolu kapasitesine etkisi

Yolların kapasitesi el kitabında, ideal koşullar altında şerit genişliği 3.65m olarak verilmektedir [9]. Bu ideal genişlikten daha dar şeritler, kesiksiz akım koşulları altında daha az kapasiteye sahiptir. Şeritlerin dar ve geniş olmalarının kapasite üzerindeki etkisi daha çok taşıtların geçme manevraları sırasında meydana gelmektedir. İki şeritli bir karayolunda; kendinden daha düşük hızdaki aracı geçmek isteyen araç, karşı yönden gelen aracın şeridini kullanacağından bu manevrada araçlar, geniş şeritlere göre dar şeritleri daha uzun süre işgal ederler. Çok şeritli karayollarında ise geniş şeritlere göre, dar şeritlerde daha çok sayıda araç, bulunduğu şeridi kullandığı gibi yan şeride de tecavüz ederler. Böylece iki şeridi birden kullanmış olurlar. Bu durum da kapasitenin azalmasına neden olur [10].

HCM 1994'e göre şerit genişliğinin 2.7m ile 3.6m arasındaki farklı değerleri için ayarlama katsayıları Çizelge 2.1'de verilmektedir [11].

Çizelge 2.1. Şerit genişlikleri için ayarlama katsayıları [11]

Şerit Genişliği (m)	Ayarlama Katsayıları HCM(1994)
3.6	1.00
3.3	0.93
3.0	0.84
2.7	0.70

Çizelge 2.1 incelendiğinde, şerit genişliği 3.6 m'den daha az alındığında, o karayolunun kapasitesinin azalacağı görülmektedir. Yapılan bir çalışmada; şerit genişliği 0.3m arttırıldığında kapasitenin %14 arttığı, 0.6m bir genişletme sonucu ise %24 oranında arttığı sonucu elde edilmektedir [8]. Bu çalışmaya benzer bir çalışma sonucunda ise özellikle, iki şeritli bir karayolunun şerit genişliğinin 3.7m'den 2.75m'ye düştüğü durumda kapasitesinin %28'e kadar düştüğü anlatılmaktadır [5].

2.2.1.2 Şerit sayısının karayolu kapasitesine etkisi

Karayolu genişliği, kapasitenin sürekli bir işlevi değildir. Yani yol genişliğinin bir noktadan sonra sürekli arttırılması kapasiteyi arttırmamaktadır [12]. Kapasite çözümlerinde amaç, karayolunun maksimum taşıt geçirmesini sağlayacak şerit genişliğinin ve şerit sayısının belirlenmesidir.

Örneğin, iki şeritli bir karayolu trafik yönünden doyma noktasına gelmişse artık bu yolun genişliğinin bir miktar arttırılması kapasiteye olumlu yönde bir katkıda bulunmaz. Bu nedenle burada yapılacak düzeltme ancak şerit sayısını arttırmak yani iki şeritli yoldan üç veya dört şeritli yola geçmek ile mümkün olacaktır [12].

2.2.1.3 Yan açıklığın karayolu kapasitesine etkisi

Yan açıklıklar, kaplama kenarı ile yol kenarında bulunan trafik işaret direği, elektrik direği, istinat duvarı, yol kenarında park eden veya duran taşıtların arasındaki mesafedir [2].

Yan açıklığın tanımında bahsedilen engellerin, trafik şeritlerine olan mesafeleri kapasite üzerinde önemli etkilere sahiptir. Yan engeller sürücülerin üzerinde psikolojik olarak yolda bir daralma olduğu hissini uyandırmaktadır. Bu nedenle sürücüler, yolun iç tarafına doğru yani komşu şeritlere doğru kaymaya başlar, hızlarını düşürürler ya da takip mesafesini artırırlar ki bu da kapasitenin azalmasına neden olmaktadır [12].

Yan açıklığın, ideal değerden sapmasının şerit genişliğine etkileri Çizelge 2.2'de gösterilmektedir [12].

Çizelge 2.2. Yan açıklığın ideal genişliğe göre meydana getirdiği azalmalar [12]

Yan Açıklık(m)	1.80	1.20	0.60	0.00
2x3.60m'ye Göre Azalmalar	7.20	6.90	6.30	5.40

Yükseklikleri 15cm veya daha altında olan bordür gibi yan engellerin, trafik hareketleri üzerinde önemli derecede etkileri yoktur. Ancak bu yan engellerin şerit kenarından olan mesafelerinin 1.80m'den az olması durumunda kapasiteye etkileri önemli derecede artmaktadır [10].

Çok şeritli karayollarında, yolun kapasitesini etkileyen şerit sayısı, şerit genişliği ve yan açıklık için düzeltme katsayıları Çizelge 2.3'te birlikte değerlendirilmektedir [13].

Çizelge 2.3. Dar şerit ve banketler için düzeltme faktörleri [13]

Engele Uzaklık (m)*	Düzeltilme Katsayıları							
	Engel bir tarafta				Engel iki tarafta			
	Şerit genişliği (m)							
	3.7	3.3	3.0	2.7	3.7	3.3	3.0	2.7
Bölünmüş çok şeritli yol-Her yönde iki şerit								
≥2	1.00	0.97	0.91	0.81	1.00	0.97	0.91	0.81
1	0.98	0.95	0.89	0.80	0.97	0.94	0.88	0.78
0	0.90	0.87	0.82	0.73	0.81	0.79	0.74	0.66
Bölünmüş çok şeritli yol-Her yönde üç şerit								
≥2	1.00	0.96	0.89	0.78	1.00	0.96	0.89	0.78
1	0.98	0.94	0.88	0.77	0.97	0.93	0.86	0.76
0	0.94	0.91	0.85	0.74	0.91	0.87	0.81	0.70
Bölünmemiş çok şeritli yol-Her yönde üç şerit								
≥2	1.00	0.95	0.89	0.77	N	N	N	N
1	0.97	0.93	0.87	0.76	N	N	N	N
0	0.88	0.85	0.80	0.70	0.81	0.79	0.74	0.66
Bölünmemiş çok şeritli yol-Her yönde üç şerit								
≥2	1.00	0.95	0.89	0.77	N	N	N	N
1	0.97	0.94	0.88	0.76	N	N	N	N
0	0.88	0.90	0.83	0.72	0.91	0.87	0.81	0.70

Çizelgede * işareti, engelin her iki tarafta yola farklı uzaklıkta olması durumunda ortalamalarının alınacağını, N tanımlaması ise engelin tek tarafta olması durumundaki faktörlerin alınacağını belirtmektedir.

2.2.1.4 Banket genişliğinin karayolu kapasitesine etkisi

Karayolu kaplamasının iki yanında, kaplamaya bitişik ve kaplama kenarı ile şev başı arasında kalan kısma banket denilmektedir [2].

Banketlerin yapılması sırasında banket genişliğinin yeterli olmasına ve yol boyunca mevcut genişliğinin korunmasına dikkat edilmelidir. Bu hususlar trafik şeritlerindeki kapasitenin devamlı olarak sağlanması açısından önem taşımaktadır. Trafiğin aktığı şeritlerin haricinde araçların sığınmaları için gereken banket genişliğinin mevcut olmaması durumunda, arızalanan taşıtlar, trafik şeridine taşarlar. Bu durum trafik şeritlerinin sahip olduğu efektif genişliklerin azalmasına, taşıtların varsa komşu şeritlere doğru kayarak, yolun kapasitesini azaltmasına neden olmaktadır [10].

İki şeritli iki yönlü karayollarında dar şerit ve banketler için düzeltme katsayıları Çizelge 2.4'te gösterilmektedir [13].

Çizelge 2.4. Dar şerit ve banketler için düzeltme katsayıları [13]

Kullanılabilir Banket Genişliği (m)*	Şerit 3.7 m		Şerit 3.3 m		Şerit 3.0 m		Şerit 2.7 m	
	HD**	HD	HD	HD	HD	HD	HD	HD
	A-D	E	A-D	E	A-D	E	A-D	E
≥2	1.00	1.00	0.93	0.94	0.84	0.87	0.70	0.76
1	0.89	0.96	0.82	0.91	0.75	0.84	0.63	0.73
0	0.70	0.88	0.65	0.82	0.58	0.75	0.49	0.66

Bu tabloda * ifadesi banketlerin genişliklerinin farklı olması durumunda ortalamasının alınacağı, **HD tanımlaması ise hizmet düzeyini göstermektedir.

Ayrıca, banketlerin genişliği ve bu genişliğin korunmasına ilave olarak yüzey özellikleri, enine eğimi, trafik şeridi veya çevresindeki elemanlara benzememek gibi etkenleri de bünyesinde barındırmaları gerekmektedir [2].

2.2.1.5 Yardımcı şeritlerin karayolu kapasitesine etkisi

Karayolu kapasitesine etki eden diğer yol elemanlarından biri de yardımcı şeritlerdir. Bu yardımcı şeritler; park, hız değiştirme, örülme, dönüş, dönüş yapan taşıtları depolama, yolun uzun ve dik eğimli çıkış kesimlerinde, yavaş giden taşıtları hızlı akan trafik şeridinden ayıran tırmanma şeridi gibi platform elemanlarıdır. Bu elemanların yeterli uzunluk ve genişlikte yapılması yol kapasitesini olumlu yönde etkilemektedir [2].

Karayolu genişliği ne olursa olsun kaplama üzerine park yapılması kapasite kaybına sebep olmaktadır. Eğer yol boyunca park etme olanağı yaratmak zorunlu ise, yardımcı bir şerit olan park şeritlerinin yapılması gerekmektedir. Park şeritlerinin bulunması, parkın, yol kapasitesine olan olumsuz etkilerini tamamen ortadan kaldırmayacak ancak azaltacaktır. Ayrıca yerin yeterli olması durumunda yapılan bu park şeritleri, arızalanan araçlar için banket görevi de üstlenirler. Ancak bu şekilde park şeridine bırakılan araçlar, yol kenarındaki bordürlere tam yanaşmış olsalar bile trafik şeridinde hareket eden araçların sürücüleri tarafından yan engel olarak algılanırlar. Böyle bir durumda yan açıklığın az olmasının olumsuz etkileri burada da ortaya çıkar ki bu durum kapasiteyi olumsuz etkiler [10].

Hız değiştirme şeritleri kendi arasında yavaşlama ve hızlanma şeridi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu şeritlerin yapılmasındaki amaç, ana yoldaki transit trafiğe katılma veya bu trafikten ayrılmalar sırasında araçların yoldaki akımı engellemeden hızlarını arttırma veya azaltmalarını temin etmektir. Hız değiştirme şeritlerinin mevcut olması transit trafikteki akımın kesintiye uğramadan akmasına yardımcı olmaktadır. Bu sebeple hız değiştirme şeritleri kapasiteye de olumlu katkıda bulunmaktadır [10].

Dönüş ve depolama şeritlerinin amacı ise kavşakların kapasitesini arttırarak, trafik sıkışıklıklarını ve yol ağının kapasitesinin düşmesini engellemektir [14].

2.2.1.6 Boyuna eğimin karayolu kapasitesine etkisi

Yolların kapasitesi el kitabında; boyuna eğimin kapasiteye etkisi şu şekilde değerlendirilmektedir [10].

- Eğer karayolunda eğimli bir kesim var ise bu yol kesimi her zaman olmasa bile genellikle görüş mesafesini kısıtlar ve bu nedenle iki şeritli yollarda geçme manevralarının güvenli bir şekilde yapılacağı yol uzunluğunun oranını etkiler.

- Taşıtlar, düz yol kesimlerine göre, eğim yukarı iken daha az, eğim aşağı iken daha fazla fren mesafesine sahiptir. Bu nedenden dolayı taşıtlar arasında, güvenli bir takip mesafesi için inişte daha fazla, çıkışta ise daha az mesafe bulunması gerekir.
- Ağır taşıtlar, özellikle yüklü kamyonlar, yolların düz kesimlerine göre, dik eğimli kesimlerde çıkışta daha düşük hızlarda hareket ederler. Bu durum otomobiller için belli bir eğime kadar sorun teşkil etmemektedir. Bu sebeple ağır taşıtlar için eğim, yolların kapasitesini etkilemektedir [10].

2.2.1.7 Yüzey koşullarının karayolu kapasitesine etkisi

Kapasiteyi etkileyen bir diğer platform değişkeni karayolunun sahip olduğu yüzey koşullarıdır. Yoldaki akışın kesilmeden hızlı ve sürekli olması için yolun yüzey koşullarının da dikkate alınması gerekmektedir. Bozulmuş, bakımsız kaplamalar; hızı, konforu, taşıt işletme maliyetini ve güvenliği olumsuz yönde etkilemektedir. Bunun sonucunda ise yolun bozulma derecesi ile orantılı olarak kapasite ve hizmet düzeyinde azalma olmaktadır [2].

2.2.2 Trafik değişkenlerinin kapasiteye etkisi

Benzer geometrik standartları taşıyan karayolları (açıklanan platform değişkenleri aynı olsa bile) farklı kapasitelere sahip olabilirler. Bu bir yolun sahip olduğu trafik özelliklerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır [10].

Kapasiteye etki eden trafik değişkenleri, trafiğin bileşimi yani trafiği oluşturan araçların türlerine göre oranları ile trafiğin yönler ve şeritlere dağılımıdır.

2.2.2.1 Trafiğin bileşiminin kapasiteye etkisi

Ağır taşıtlar (kamyon, otobüs v.b.) trafiği iki şekilde etkilemektedir: Birincisi, ağır taşıtlar, boyutları daha küçük olan otomobil türü taşıtlara göre yollarda daha geniş bir alan kaplamaktadırlar. İkincisi, ağır taşıtların platform değişkenleri arasında sayılan yardımcı şeritlerde, hızlarını koruyabilmeleri ve manevra yetenekleri, otomobil türü taşıtlara göre daha zayıftır. Sözü edilen bu durumlar kapasite üzerinde olumsuz etki meydana getirmektedir [2].

Özellikle iki şeritli iki yönlü karayollarında genelde ağır taşıtlar otomobil türü taşıtlarla aynı hızı yakalayamadıklarından trafik akımında ağır taşıtlar arasında önemli boşluklar meydana gelmektedir. Bu durum özellikle eğimli kesimlerde söz konusu olmaktadır. Bu da kapasitenin azalmasına neden olmaktadır [2].

Yolun kapasitesini çözümlerken, ağır taşıtların saydığımız bu etkilerini dikkate almak için bu taşıtların birim otomobil eşdeğerlerine ihtiyaç vardır. Birim otomobil eşdeğeri o taşıtın

boyutu, manevra yeteneği, hız gibi değişik yönlerden, otomobile göre trafik akımı içindeki etkisini yansıtan bir değerdir. Sözü edilen bu birim otomobil eşdeğeri, ağır taşıtlar için yolun sahip olduğu geometrik değişkenlere özellikle eğimin miktarına ve eğimli kesimin uzunluğuna bağlı olarak büyük değerlere ulaşmaktadır [2].

2.2.2.2 Trafiğin yön ve şeritlere dağılımının kapasiteye etkisi

İki şeritli iki yönlü karayollarının kapasiteleri ve işletme koşulları üzerinde, trafiğin yönler arasında dağılım oranı da etkili olmaktadır. İdeal koşullarda, trafiğin yönlere dağılımının eşit olması gerekmektedir. Trafiğin yönlere dağılımında dengesizlikler artış gösteriyorsa yolun kapasitesi düşer ve yolun işletme koşulları da kötüleşir. Ayrıca tek yönlü çok şeritli yollarda trafiğin şeritler arasında dağılımı kapasiteyi etkilemektedir. Bu tür çok şeritli yollarda banket kenarındaki şeritler diğer komşu şeritlere nazaran daha az trafik taşımaktadır [2].

İki şeritli iki yönlü karayolunda, trafiğin yönlere göre dağılımına ait düzeltme katsayıları Çizelge 2.5'te verilmektedir [13].

Çizelge 2.5. Trafiğin yönlere dağılımına ait düzeltme katsayıları [13]

Yönlere Dağılım	100/0	90/10	80/20	70/30	60/40	50/50
Düzeltilme Faktörü	0.71	0.75	0.83	0.89	0.94	1.00

Karayolunun kapasitesini, saydığımız bu iki ana bölümdeki değişkenlerle birlikte karayolunun sahip olduğu denetim ve yönetim koşulları ile sürücü ve yayaların davranışlarının da etkili olduğunu Yayla (2006, s.82) şu şekilde açıklamaktadır:

“Kapasiteyi etkileyen denetim ve yönetim koşulları; yoldaki eş düşey kavşakların sıklığı, bu kavşaklardaki denetim şekilleri, yoldaki yatay ve düşey işaretlemenin düzeyi, yolda parka izin verilip verilmemiş olması trafik zabıtasınca yapılan denetimin etkinlik derecesi olarak sıralanabilir. Kapasiteyi etkileyen sürücü ve yaya davranışları ise; sürücü ve yaya olarak yoldan yararlananların trafik kurallarına uyma dereceleri, sürücülerin hatalı şerit kullanımları, yola olan alışkanlıkları, şehiriçi yollarda sık sık şerit değiştirmeleri, yolcu indirme veya bindirmede kenara yanaşmamaları vb. hususlar olarak sıralanabilir.”

2.3 Kapasiteyi Arttıracak Tedbirler

Karayollarının kapasitesi için yapılacak bir etütte çok çeşitli etkenlerin göz önüne alınması gerekmektedir. Karayolunun; platform ve trafik özellikleri ile bulunduğu yerin bölgesel, topoğrafik özelliklerini de ilave ederek, her bir yol için ayrı bir kapasite etüdü yapmak gerekmektedir [12].

Sonuç (1983, s.171)'a göre yolların kapasitesini arttıracak işletme tedbirleri aşağıdaki gibidir.

- Park yapma kuralları benimsenmelidir.
- Trafığın fazla olduğu yerlerde fuar, panayır, bayram yeri gibi çok trafik çekecek kuruluşlara izin verilmemelidir.
- Özellikle şehiriçi yollarda zirve saatlerde ağır taşıt yasağı getirilmeli benzin istasyonlarının yerleri, ara mesafeleri ve servis yolları iyi seçilmelidir.
- Eğer bir yolda iki yönlü trafikten biri çok yoğunsa, o yoldaki az trafiği, zirve saatlerde daha az önemli bir başka yola vererek, tüm yolu çok trafik için tek yönlü olarak kullanmaya çalışmalıdır.
- Trafik polisini iyi organize etmek, bu suretle arızalı arabaların yoldan çabuk çekilmesini ve kaza soruşturmalarının çabuk yapılmasını sağlamalıdır.
- Tıkanma tehlikesi olan yoğun trafikli yollarda, radyo, telefon, havadan gözleme ve televizyonun da yardımıyla taşıtların, trafiği daha az yüklü yollara aktarılmasını sağlamalıdır.
- İki şeritli çift yönlü yollarda, ağır taşıtlar için gerekli tırmanma şeritleri yapılmalıdır.
- Trafik eğitimine önem verilmeli, sürücü ve yayayı trafik kurallarına iyice alıştırmalıdır.

3. BULANIK MANTIK

3.1 Bulanık Mantığın Tanımı ve Özellikleri

Gerçek dünya karmaşıktır. Bu karmaşıklık genel olarak belirsizlik ve kesin düşünce veya kararlar verilemeyişten kaynaklanmaktadır. Genel olarak, değişik biçimlerde ortaya çıkan karmaşıklık ve belirsizlik gibi tam ve kesin olmayan bilgi kaynaklarına bulanık adı verilmektedir [15].

Bulanık mantık, Amerika'da Berkeley Üniversitesi'nde Lütfi Zadeh tarafından 1965 yılında yayınlanan bir makalede ileri sürülmektedir. Elmas (2003, s.26) Zadeh'in çalışmalarını aşağıdaki şekilde açıklamaktadır:

“Zadeh bu çalışmasında insan düşüncesinin büyük çoğunluğunun bulanık olduğunu, kesin olmadığını belirtmiştir. Bu yüzden 0 ve 1 ile temsil edilen boolean mantık bu düşünce işlemi yeterli bir şekilde ifade edememektedir. İnsan mantığı, açık kapalı, sıcak, soğuk, 0 ve 1 gibi değişkenlerden oluşan kesin ifadelerin yanı sıra az açık, az kapalı, serin, ılık gibi ara değerleri de göz önüne almaktadır. Bulanık mantık, klasik mantığın aksine iki seviyeli değil, çok seviyeli işlemleri kullanmaktadır. Ayrıca Zadeh insanların denetim alanında, mevcut makinelerden daha iyi olduğunu ve kesin olmayan dilsel bilgilere bağlı olarak etkili kararlar alabildiklerini savunmuştur.”

Bulanık mantığın genel özellikleri Zadeh tarafından aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [16].

- Bulanık mantıkta, kesin değerlere dayanan düşünme yerine, yaklaşık düşünme kullanılır.
- Bulanık mantıkta her şey $[0,1]$ aralığında belirli bir derece ile gösterilir.
- Bulanık mantıkta bilgi büyük, küçük, çok az gibi dilsel ifadeler şeklindedir.
- Bulanık çıkarım işlemi dilsel ifadeler arasında tanımlanan kurallar ile yapılır.
- Her mantıksal sistem bulanık olarak ifade edilebilir.
- Bulanık mantık matematiksel modeli çok zor elde edilen sistemler için çok uygundur.

3.2 Bulanık Mantığın Gelişimi

Altrock (1995) bulanık mantığın gelişimini ve uygulamalarını aşağıdaki gibi açıklamaktadır;

“Teorik olarak bulanık mantık ile yapılamayacak bir şey yoktur. Bulanık mantık, geleneksel mantığın bir uzantısıdır. Bundan dolayı, geleneksel tasarım teknikleri kullanılarak yapılan bir uygulama, bulanık mantık ile de yapılabilir. Fakat birkaç konuda geleneksel çözümler basit, hızlı ve daha etkilidir. Bulanık mantık geleneksel tekniklerle birleştirildiğinde daha başarılı sonuçlar elde edilmektedir.

Avrupa’da bulanık mantığın ilk endüstriyel uygulamaları 1970’ten sonra yapılmıştır. İngiltere’de İbrahim Mamdani, geleneksel tekniklerle denetleyemediği bir akım jeneratörünü bulanık mantık kullanarak kontrol edebilmiştir. Almanya’da Hans Zimmermann, emir destek sistemleri için bulanık mantığı kullanmıştır. Bu ilk çalışmaların sonucunda çimento ocağının denetimi gibi diğer endüstriyel uygulamalar gelişmiştir. Ancak bulanık mantık, endüstride büyük takdirler getirememiştir.

‘Çok değerli mantık’ veya ‘sürekli mantık kavramları’ ile yapılan bu birkaç bulanık mantık uygulaması gizli tutulmuştur. 1980’li yıllarda Avrupa’da bulanık mantık, karar destekleme ve veri çözümlenme uygulamalarında tekrar kullanılmaya başlanmıştır. Pek çok bulanık mantık teknolojisi bu uygulamalar ve araştırma projeleri ile geliştirilmiştir.

Avrupa’daki ilk bulanık uygulamalarından esinlenen Japon işletmeler, 1980’den sonra, denetim mühendisliğinde ilk bulanık mantık teorisini kullanmaya başladılar. Standart bilgisayarlarda ilk bulanık mantık algoritmalarının çok hesaplamalı verimliliğinden dolayı uygulamaların çoğu bulanık mantıklı bilgisayarlara verilmiştir. İlk bulanık mantık uygulamalarından bazıları, 1983’te Fuji elektriğin yaptığı bir su davranış tesisi ve 1987’de Hitachi tarafından açılan metro sistemidir.

İlk uygulamaların başarısı Japonya’da ilgiyi çok arttırmıştır. Japonya’da bulanık mantığın tutulmasının bir takım nedenleri vardı. Japon mühendisler ilk önce basit bir çözümlerle başlayarak daha sonra bunu geliştirmişlerdir.

Bulanık mantık, hızlı ve optimum kullanımı destekler. Ayrıca bir bulanık mantık sistemi kolay anlaşılır ve basittir. Bulanık mantık sisteminin üstünlüğü, diferansiyel denklemleri yok etmeden kullanabilmesidir.

Bulanık mantığın kısa zamanlarda geniş alanlarda kullanılmasında teknolojik etkenler, nedenlerden sadece bir kısmıdır. Japon hükümeti de teknoloji aktarımında destekleyici olmuştur. Bu alanda Japonya’da yüzlerce yeni endüstri alanı gelişmiştir. Bunun sonucu olarak da günümüzde akıllı denetim veya veri modelleme alanlarında bulanık mantık kullanılmaktadır. Bulanık mantık, fotoğraf makineleri, video kameraları, otomobil ve fabrika denetiminde kullanılmıştır. Ayrıca kimya ve biyolojide de bulanık mantık en uygun kullanımı vermektedir.

Japonların bu gelişmelerinde beş yıl sonra Avrupa, tekrar bulanık mantığı teknolojik gelişmelerinde kullanmaya başlamıştır. O günden sonra bulanık mantık tekniği ile çalışan 200’den fazla üretim yapılmıştır. Uygulamalardaki bu başarılarından dolayı bulanık mantık, tasarım tekniğinde bir standart olarak düşünülmektedir.

Amerika, Japonya ve Avrupa’dan farklı olarak, bulanık mantığı, iletişim araçları, ofis ve bilgisayar donanımlarında kullanmaktadır.”

3.3 Bulanık Mantığın İnşaat Mühendisliği ve Ulaştırma Alanındaki Yeri

Bağırhan (2006, s.48), bulanık mantığın inşaat mühendisliği ve ulaştırma alanında uygulanma nedenlerini aşağıdaki gibi açıklamaktadır:

“Mühendislikte matematiksel model oluşturulurken sözel bilgiler çoğunlukla önemsizdir. İnşaat mühendisliğinde de matematiksel bağıntılar kullanılmakta ve sonuçları elde edilmektedir. Ancak, kullanılan bağıntılara duyulan güvensizlikten dolayı her zaman güvenlik katsayıları kullanılmaktadır. Bu da bulanıklığın ve şüphenin olduğunun göstergesidir. İnşaat mühendisliğinde bulanık mantık uygulamaları daha çok hidrolik ve ulaştırma alanlarındadır. Bulanık mantık uygulamaları diğer mühendisliklerde olduğu gibi inşaat mühendisliğinde de 1980’li yıllarda başlamıştır.

Ulaştırma alanında çalışırken, sorunları çözümlenmeye çalıştığımızda karşımıza pek çok belirsizlik çıkmaktadır. Bu belirsizlikleri sayılarla tanımlamak oldukça zordur. Örneğin; sürücü davranışlarının karayolu emniyetine etkisini kesin sayılarla anlatmak olanaksızdır. Trafik işletmecilerinin vereceği kişisel içeren kararlar karayolu güvenliğini nasıl etkilemektedir? Bu kesinlik belirtmez. Karayolu kaplamasındaki cıvalanmanın trafik kazalarına etkisinin ne olduğunu ancak istatistik bilgilerle anlatabiliriz. Trafik ve ulaştırma sorunları çözülürken sadece bağıntı ve denklemleri kullanmayız. Mühendislikte kesinlikten bahsetmemize karşın bağıntılara duyulan

güvensizlik nedeni ile kullandığımız emniyet katsayıları da yine belirsizlik şüphesindedir. Ayrıca, trafikte sıkça karşılaştığımız sözel bilgiler vardır ve bunlar kişisel bilgi içermektedir.”

Murat (2004, s.53) trafik mühendisliği alanında bulanık mantık tekniği konusunda yapılmış olan çalışmaları aşağıdaki gibi açıklamaktadır:

“Bulanık mantık tekniğinin trafik sinyalizasyonundaki ilk uygulaması, 1977 yılında Pappis ve Mamdani tarafından yayınlanmıştır. İki adet tek yönlü yolun kesiştiği bir kavşakta bulanık mantık denetleyici uygulanmıştır. Zaman, gelen taşıt sayısı ve kuyruk uzunluğu bulanık denetleyici için girdi parametreleri, yeşil süreyi uzatma miktarı ise çıktı parametresi olarak alınmıştır. Nakatsuyama ve diğerleri (1984) tarafından, ilk çalışmadan esinlenerek bir bulanık mantık denetleyici modeli geliştirilmiştir. J.J. Janecek ve M.R. Zargham (1995) tarafından yapılan çalışmada, 4 kollu 4 fazlı ayırık bir kavşak ele alınmıştır. Bu çalışmada fazların değişimi ile ilgilenilmemiş, sinyal faz sürelerinin uzatılması veya azaltılmasının denetimi amaçlanmıştır. Kim (1997) tarafından yapılan çalışmada, aynı şekilde 4 kollu ve 4 fazlı ayırık bir kavşak ele alınmıştır. Çalışma kapsamında, mevcut faz süresinin artırılmasına veya azaltılmasına karar verme amaçlanmıştır. Sabit faz düzenini ele alan en kapsamlı çalışma ise, Helsinki Teknoloji Üniversitesinden Jarkko P. Niittymaki (1997) tarafından yapılan çalışmadır. Niittymaki, yaptığı çalışmada taşıt dinamiği ile ilgili temel konuları ele almış, Finlandiya’daki trafik koşulları için doygun akım araştırması yapmış ve iki fazlı bir bulanık denetleyici geliştirmiştir. Tzes, Mcshane ve Kim (1995) tarafından yapılan çalışmada hem ayırık (izole), hem de eşgüdümlü (koordine) kavşaklar için bulanık mantığa dayalı bir denetleyici önerilmiştir. Gerson Beauchamp ve diğerleri (1997) tarafından yapılan çalışmada, trafik denetimi amaçlı bulanık mantığa dayalı bir faz seçici önerilmiştir. Stephen Chiu ve Sujeet Chand (1993.a) tarafından yapılan çalışmada, bir kavşağın, bir önceki kavşağa göre eşgüdümlü sinyalizasyonunun bulanık mantık ile düzenlenmesi önerilmiştir. Jee-Hyong Lee ve diğerleri (1995) tarafından yapılan çalışmada, eşgüdümlü kavşakların denetimi amacıyla bir bulanık mantık denetleyici geliştirilmiştir. Murat (2001), tarafından geliştirilen bulanık mantık modeli ise çok fazlı denetlenen ayırık sinyalizasyon kavşakların denetimine yöneliktir.

Yol ağlarında meydana gelen tıkanma ve kazaların belirlenmesi amacıyla, Krause ve diğerleri tarafından bir algoritma geliştirilmiştir (Krause, 1996). Gözlenen

yol kesimindeki taşıt sayısı bir gösterge olarak alınmış ve serbest trafik hacmi hız değerleri ile karşılaştırılarak bir model oluşturulmuştur. Busch ve diğerleri (1994) çoklu bir model yaklaşımı geliştirmiş ve klasik kaza tahmini veya belirleme sistemi ile karşılaştırarak olumlu sonuçlar elde etmiştir (TRAIL, 1998).

Lee tarafından geliştirilen algoritmada farklı kaynaklardan elde edilen trafik sayım ve gözlem değerleri birleştirilmiş ve geçmişteki seyahat süresi değerlerinden de faydalanarak seyahat süresi tahmini yapılmıştır (Choi ve Lee, 1997).

Chakroborty ve Kikuchi (1990) tarafından yapılan modellemede ideal kapasite, görüş mesafesi, trafik hacmi, taşıt aralığı parametreleri girdi; düzeltme faktörü, gerçek kapasite ve hizmet düzeyi ise çıktı olarak seçilmiştir. Ndoh ve Ashford (1994) tarafından yapılan çalışmada geleneksel modellemede kullanılan değerlerin yerine kullanıcılar tarafından algılanan hizmet düzeyleri modellenmiştir.

Kikuchi ve Chakroborty (1992), bulanık mantığa dayalı bir taşıt takip modeli geliştirmiştir. Sürücülerin tepkilerini hazırladıkları bir kural tabanı çerçevesinde ele almış ve hız, takip mesafesi parametrelerini bulanık olarak modellemişlerdir. Rekersbrink (1995) ise bulanık sürüş modeli önermiştir. Bu modelde, taşıtın hızlanma-yavaşlaması ve şerit değiştirmesi tamamen bulanık kümelerle temsil edilmiştir.

Teodorovic ve Kikuchi (1991) tarafından bir bulanık mantık rota (güzergah) seçim modeli geliştirilmiştir. Bu modelde yaklaşık seyahat süreleri bilinen iki alternatif yolun oluşturulan kural tabanı ile karşılaştırılması yapılmaktadır.”

3.4 Kümeler

İncelenen olayın sonucunda istenilen karar değişkeni için belirlenen olabirlikler toplamını içeren topluluğa küme adı verilmektedir [15]. Kümeler, klasik kümeler ve bulanık kümeler olmak üzere iki grupta incelenmektedir.

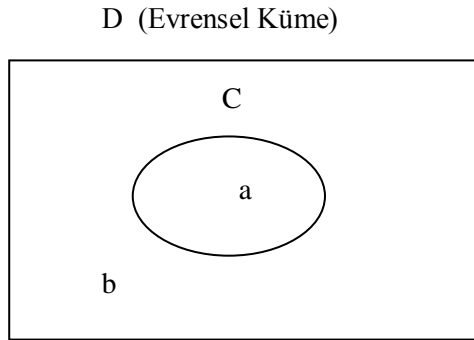
3.4.1 Klasik küme teorisi

Klasik kümelerin üyelik dereceleri Aristo mantığına dayanmaktadır. Bu nedenle elemanlar 1 veya 0 değerlerinden bir tanesini almaktadır [15]. Klasik küme teorisinde bir öğe bu kümenin ya elemanıdır ya da değildir. Yani hiçbir zaman kısmi üyelik söz konusu olmamaktadır. Ele alınan öğenin üyelik değeri 1 ise kümenin tam elemanıdır, 0 ise elemanı değildir [16].

Klasik kümeler, matematiksel ifadelerle ve şematik olarak aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

- Bir evrensel D kümesi $D=\{C,b\}$ olsun.
- Bu kümenin bir alt kümesi $C=\{a\}$ olsun.

Sözel olarak anlatılan bu klasik küme, venn şeması şeklinde gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Klasik kümenin venn şeması ile gösterimi

Şekilden görüldüğü gibi klasik kümelerde, a ögesi C kümesinin 1 üyelik derecesi ile elemandır. b ögesinin ise C kümesine göre üyelik derecesi 0 olarak tanımlanmaktadır [16].

3.4.2 Bulanık küme teorisi

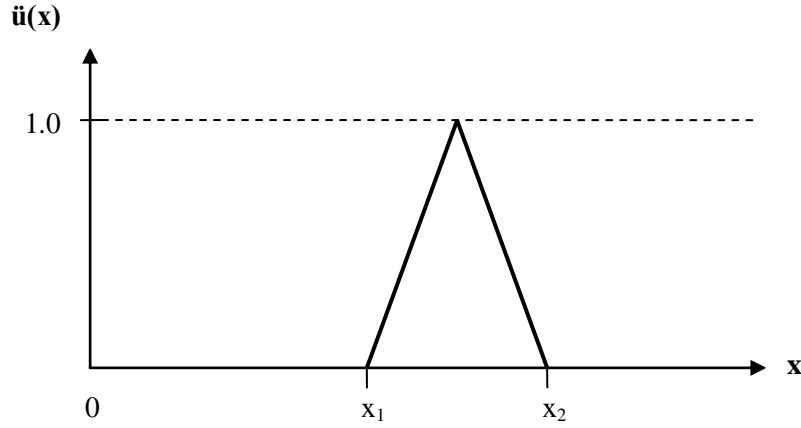
Bulanık mantığın temelini teşkil eden bulanık küme teorisi, klasik küme teorisine alternatif olarak L.A. Zadeh tarafından ortaya atılmaktadır [19].

Klasik kümelerde bir öğeden diğerinde geçişler keskin ve aniden değişen üyelik dereceleri ile olmaktadır. Ancak bulanık kümelerde birbirine geçişler yumuşak ve sürekli olmaktadır [15].

Bulanık kümeler, öğeleri birbirinden farklı üyelik derecelerine sahip elemanlardan meydana gelmektedir. Ayrıca bulanık kümenin herhangi bir ögesi başka bir kümenin de ögesi olabilmektedir [15].

Bulanık kümeler altı çizgili olan büyük harfler ile gösterilmektedir. Örnek olarak A bulanık kümesi gibi. Bulanık kümelerde, yatay ekseninde bulunan ve gerçek sayılar olarak adlandırılan değerlerin her biri düşey ekseninde bulunan ve değerleri 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecelerine dönüştürülmektedir. Yatay ekseninde bulunan gerçek sayı x , bunun üyelik derecesi ise $\mu(x)$ notasyonu ile ifade edilmektedir [15].

Bir klasik X kümesinin elemanları $X=\{x_1,x_2,x_3,\dots\}$ şeklinde gösterilmektedir. Bu kümenin bulanık hali ise aşağıdaki gibi gösterilmektedir.



Şekil 3.2. X bulanık kümesi (Şen, 2004)

$$\underline{X} = \left\{ \frac{\ddot{u}(x_1)}{x_1} + \frac{\ddot{u}(x_2)}{x_2} + \dots \right\} = \left\{ \sum_i \frac{\ddot{u}(x_i)}{x_i} \right\} \quad (3.1)$$

Bulanık küme şeklinde gösterimde bölüm işareti kesinlikle bölme işlemi ifade etmemektedir. Yalnızca yukarıda anlatıldığı gibi x gerçek sayısına karşılık gelen $\ddot{u}(x)$ üyelik derecesini göstermektedir [15].

Bulanık küme teorisinin ortaya atılmasından sonra, Zadeh yayınladığı çalışmalarında, bulanık küme teorisinin, en büyük yaklaşıklıkla insanın karar verme sistemini modelleyebilecek yeterlilikte olduğu fikrini ortaya atmaktadır [24].

3.5 Bulanık Kümelerde Üyelik Dereceleri

Belirsizlik durumlarında en uygun yöntem küme elemanlarına değişik üyelik derecelerinin verilmesi ile olmaktadır [19].

Şen (2004, s.14) bulanık kümelerde üyelik derecelerini aşağıdaki gibi anlatmaktadır;

“Aristo mantığına göre çalışan ve şimdiye kadar alışlagelen klasik küme kavramında, bir kümeye giren öğelerin oraya ait oluşları durumunda üyelik dereceleri 1’e, ait olmamaları durumunda ise 0’a eşit varsayılmıştır. Bunun arasında hiçbir üyelik derecesi düşünülemez. İşte bulanık kümeler kavramında 0 ile 1 arasında değişen, farklı

üyelik derecelerinden söz etmek mümkündür. Her bir bulanık söz için tanımlanan üyelik derecelerinin aşağıda verilen üç temel özelliği sağlaması gerekir.

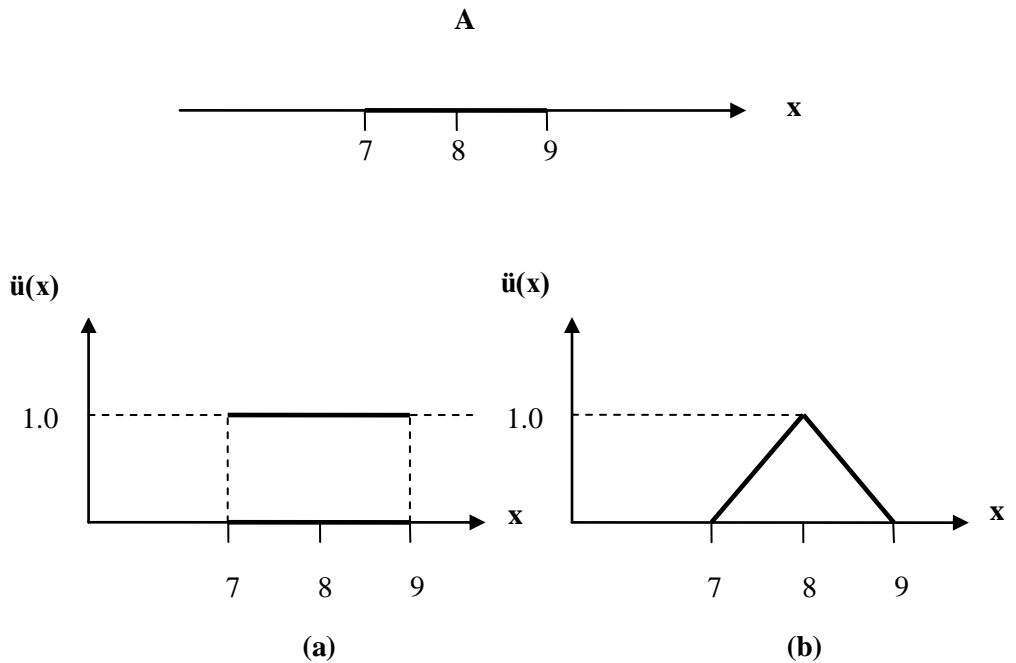
Bulanık kümenin normal olmasıdır ki bunun için en azından o kümede bulunan öğelerden bir tanesinin en büyük üyelik derecesi olan 1'e sahip olması gerekliliğidir.

Bulanık kümenin monoton olması istenir ki, bunun anlamı üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeye yakın sağda ve soldaki öğelerin üyelik derecelerinin de 1'e yakın olmasıdır.

Üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeden sağa veya sola eşit mesafede hareket edildiği zaman bulunan öğelerin üyelik derecelerinin birbirine eşit olmasıdır ki buna da bulanık kümenin simetrik özelliği adı verilir.

Bulanık kümelerin özelliği, sayılan bu şartlardan ilk ikisini mutlaka sağlayacak biçimde değişik üyelik derecesi fonksiyonlarına sahip olmasıdır. Ancak, bulanık küme üyelik derecesi fonksiyonlarının, mutlaka simetrik olması özelliğini sağlaması gerekmemektedir.”

Şen (2004, s.15) bu anlatılanları şekil olarak aşağıdaki gibi ifade etmektedir.



Şekil 3.3. Üyelik derecesi fonksiyonları (a) Klasik küme (b) Bulanık küme

3.6 Bulanık Küme İşlemleri

Boş olmayan evrensel X kümesi üzerinde \underline{A} ve \underline{B} bulanık kümeleri tanımlanmış olsun. Klasik kümelerdeki işlemlere benzer olarak bulanık kümelerde de birleşim, kesişim ve tümleyen gibi işlemler yapılmaktadır.

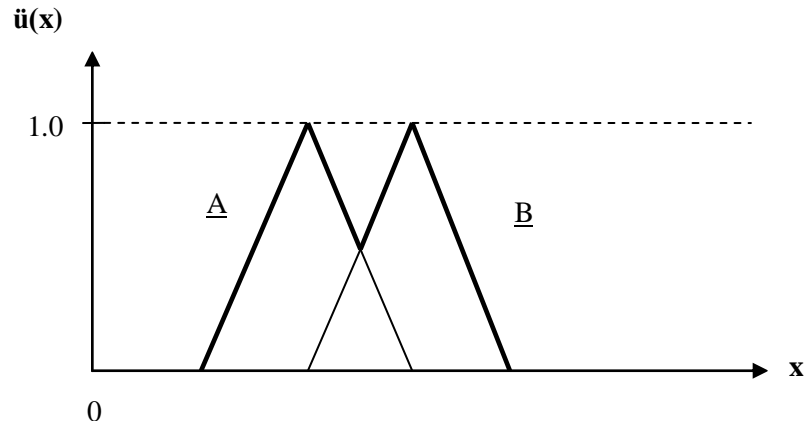
Bu işlemler aşağıdaki gibi gösterilmektedir [15].

- **Birleşim** $\underline{u}_{\underline{A} \cup \underline{B}}(x) = \underline{u}_{\underline{A}}(x) \vee \underline{u}_{\underline{B}}(x) = \max[\underline{u}_{\underline{A}}(x), \underline{u}_{\underline{B}}(x)]$ (3.2)

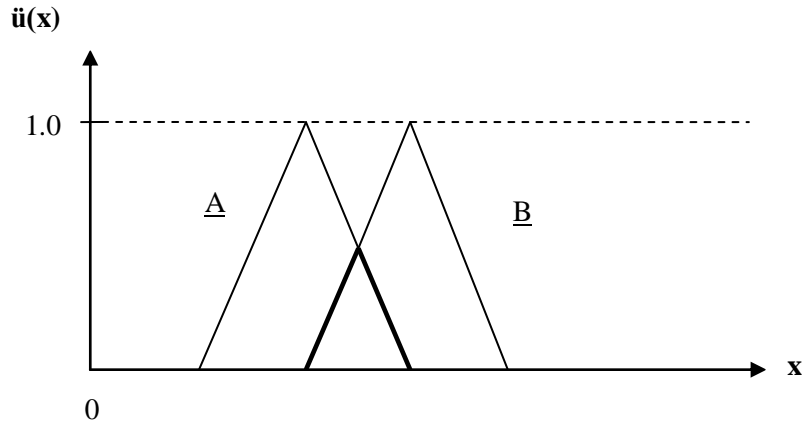
- **Kesişim** $\underline{u}_{\underline{A} \cap \underline{B}}(x) = \underline{u}_{\underline{A}}(x) \wedge \underline{u}_{\underline{B}}(x) = \min[\underline{u}_{\underline{A}}(x), \underline{u}_{\underline{B}}(x)]$ (3.3)

- **Tümleyen** $\bar{\underline{u}}_{\underline{A}}(x) = 1 - \underline{u}_{\underline{A}}(x)$ (3.4)

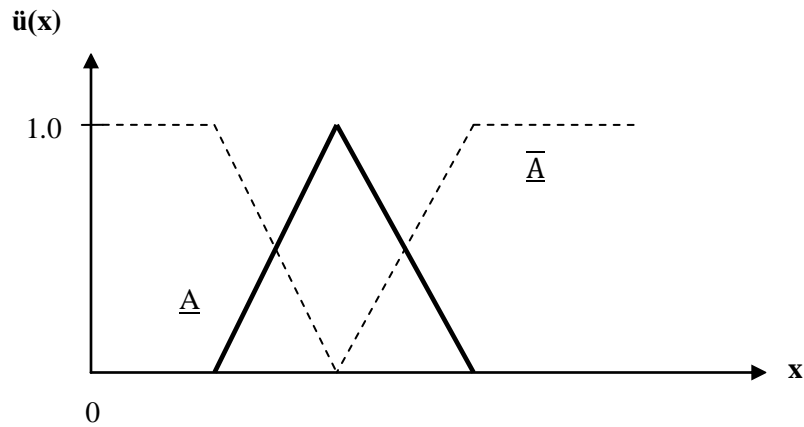
Bulanık kümelerde ifade edilen bu işlemler üyelik fonksiyonları ile aşağıdaki gibi gösterilmektedir [16].



Şekil 3.4. \underline{A} ve \underline{B} bulanık kümelerinin birleşimi (Elmas, 2003)



Şekil 3.5. \underline{A} ve \underline{B} bulanık kümelerinin kesişimi (Elmas, 2003)



Şekil 3.6. \underline{A} bulanık kümesinin tümleyeni (Elmas, 2003)

3.7. Bulanık Küme İlişkileri

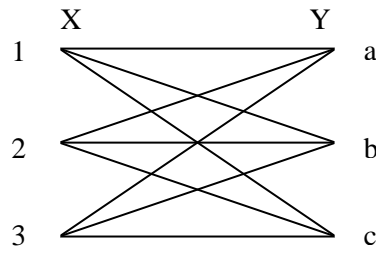
Kartezyen çarpımları elde edilmiş olan, örneğin \underline{A} ve \underline{B} gibi iki bulanık kümenin öğelerinin sayısında önceden bilinen bir şartın yerine getirilmesi ile sayı bakımından bir azalma meydana geliyor ise, bu tür kümeler ilişki kümeleri adı verilmektedir [15].

Şen, (2004, s.70) küme ilişkilerini aşağıdaki şekilde anlatmaktadır;

“İlişki kümeleri kartezyen çarpım kümesinin bir alt kümesi olarak ortaya çıkmaktadır. İki kümeden elde edilen ilişkilere ikili ilişki, üç taneden olanlara üçlü, dört taneden olanlara dördü ilişkiler adı verilmektedir. Şarta göre geçerli olan çarpım öğelerini 1, diğerlerini de 0 ile göstermek yolu ile klasik kümelerde ilişki kümesinin

kuvveti tabir edilen bir durum elde edilir. Böylece Kartezyen çarpım sonunda elde edilmiş olan ortak öğelerin şartlı üyelik dereceleri Aristo mantığına göre belirlenmiş olur. Kartezyen çarpımı yapılan kümelerdeki öğelerin sayılarının sonlu olması durumunda ilişkiler matris şeklinde de gösterilebilir. Buna küme ilişki matrisi adı verilir.”

İki kümenin öğelerinin eşleştirilmesi ile elde edilen çarpımı göstermek için bir kümedeki elemanların diğer kümedekilerle nasıl eşleştirildiklerini gösteren aşağıdaki şekilde verilen karşılıklı çizgi diyagramına Sagittal diyagramı adı verilmektedir. Diyagramda kümelerin elemanları noktalar ile elemanlar arasındaki ilişkiler ise çizgilerle gösterilmektedir [20].



Şekil 3.7. Sagittal diyagramı (Şen, 2004)

İlişki matrisindeki 1’ler Sagittal diyagramındaki çizgilere karşılık gelmektedir [15]. Örnek vermek gerekirse $X=\{1,2,3\}$ ve $Y=\{a,b,c\}$ kümelerinin kartezyen çarpımlarının ilişki matrisi aşağıdaki gibidir.

$$\mathbf{I} = \begin{matrix} & \begin{matrix} a & b & c \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Şekil 3.8. İlişki matrisi (Şen, 2004)

R, X uzayından Y uzayına, S ise Y uzayından Z' ye geçişi gerçekleştiren ilişki matrisi olsun. Bu iki ilişki matrisinin birleştirilmesi için birbirinden farklı iki küme işlemi yapılabilmektedir. Bu işlemler, en büyük- en küçük (EB-EK) ve en büyük çarpım(EB-Çarpım) (max-product) işlemleri olarak adlandırılmaktadır. EB-EK işlemi daha sık kullanılmaktadır. Sonuçta elde edilen T geçiş ilişki matrisi, küme ve öğeler cinsinden aşağıdaki gibi gösterilmektedir [15].

$$T = RoS \quad (3.5)$$

Bu ifade açıkça aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

$$\ddot{u}_T(x, z) = \vee [\ddot{u}_R(x, y)] \wedge [\ddot{u}_S(y, z)] \quad (3.6)$$

$$y \in Y$$

Ancak işlemin EB-Çarpım yöntemiyle yapılması durumunda ifade aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

$$\ddot{u}_T(x, z) = \vee [\ddot{u}_R(x, y)] \cdot [\ddot{u}_S(y, z)] \quad (3.7)$$

$$y \in Y$$

Yukarıdaki ifadede (.) işareti EB-Çarpım işlemi göstermektedir.

İşlem olarak bulanık X kümesinden, bulanık Y kümesine kartezyen çarpım ile birebir ilişkilendirme yapılması mümkündür. Bulanık küme ilişkilerindeki işlemlerin klasik kümelerden tek farkı, işlem olarak değil de, sadece üyelik derecelerinin 0 ve 1 gibi iki değerli olmayıp, 0 ile 1 aralığında herhangi bir ondalık değeri bile içermiş olmasıdır.

XxY kartezyen uzayında R ve S gibi iki bulanık ilişki matrisinin değişik küme işlemleri, üyelik değerleri gözetilerek aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [15].

- **Birleşim** $\ddot{u}_{R \cup S}(x, y) = EB[\ddot{u}_R(x, y), \ddot{u}_S(x, y)] \quad (3.8)$

- **Kesişim** $\ddot{u}_{R \cap S}(x, y) = EK[\ddot{u}_R(x, y), \ddot{u}_S(x, y)] \quad (3.9)$

- **Tümleyen** $\ddot{u}_{\bar{R}}(x, y) = 1 - \ddot{u}_R(x, y) \quad (3.10)$

- **İçerme** $R \subset S \implies \ddot{u}_R(x, y) \leq \ddot{u}_S(x, y) \quad (3.11)$

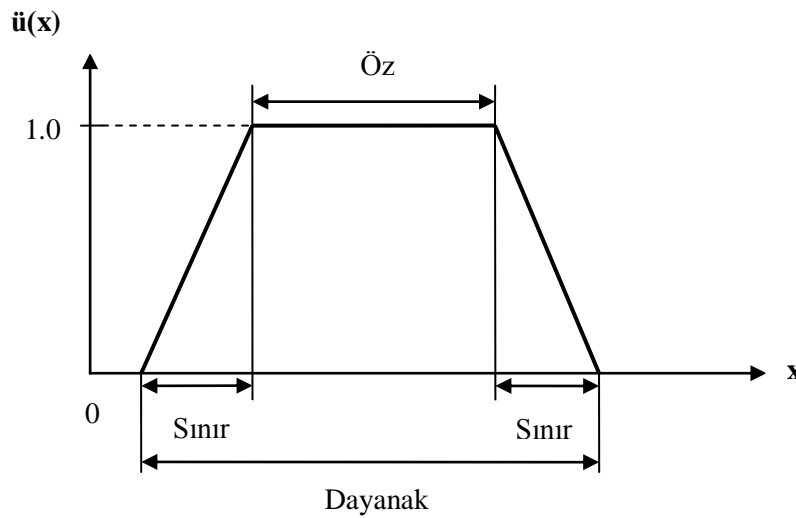
Şen (2004, s.80)'e göre ilişki matrislerindeki üyelik değerleri farklı metotlarla bulunabilir. Bunlar,

1. Kartezyen Çarpımı: Yukarıda bahsedildiği gibi belirlenmektedir.

2. Kapalı Şekil İfadeleri: Bu yöntem yardımıyla değerlerin bulunması için incelenen fiziksel olayın verilen bir girdi kümesi için çıktı kümesinin ne olacağı gözlemlenmelidir. Eğer verilen bir giriş-çıkış çifti için hiç değişme gözlemlenemiyorsa, bu sistem için klasik kümelerle modelleme yoluna gidilir. Ayrıca hiç değişiklik bulunmuyor ise bu durumda ilişkiyi kapalı form olarak $Y=f(X)$ şeklinde gösterilebilir. Burada X giriş, Y ise çıkış kümesi elemanlarından meydana gelir.
3. Tabloya Bakma: Eğer biraz değişkenlik bulunursa, 0 ile 1 aralığında üyelik derecelerinin atanması ile bulanık ilişki kurma yoluna gidilir.
4. Sözel Bilgi Kuralları: Bu yöntemde bulanık sözel bilgilerden yararlanılır ve sonuçta EĞER-İSE türünde kurallar bulunur. Böyle bilgiler konunun uzmanları, anketler veya genel mutabakattan bulunabilir.
5. Sınıflandırma: Verilerin sınıflandırılması veya belirgin şekillerin ortaya çıkması ile ilişki matrisinin öğelerinin değerleri bulunabilir.
6. Veri İşleminde Benzerlik Yöntemleri: En fazla kullanılan yöntemlerden biri verilerden ilişki matrisinin değerlerinin tespit edilmesidir. Bunun için kullanılan birkaç yöntem bulunmaktadır.

3.8 Üyelik İşlevinin Kısımları

Bir üyelik işlevinde, genel olarak bulunması gereken başlıca bölümler şekil 3.9'da gösterilmektedir.



Şekil 3.9. Üyelik işlevinin kısımları (Şen, 2004)

Şekilde görüldüğü gibi verilen bir bulanık alt kümede bir değil, birden fazla ögenin üyelik derecesi 1'e eşit olmaktadır. Bu durumda, üyelik dereceleri 1 olan öğelerin sadece o alt kümeye ait olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Üyelik dereceleri 1'e eşit olan öğeler alt kümenin orta kısmında toplanmaktadır. İşte üyelik dereceleri 1'e eşit olan öğelerin toplandığı alt küme kısmına, o alt kümenin özü adı verilmektedir. Bu durum $\bar{u}(x)=1$ olarak ifade edilmektedir. Üçgen biçimindeki üyelik işlevlerinde sadece bir tane ögenin üyelik derecesi 1'e eşit olduğundan, üçgen üyelik işlevinin özü sadece bir nokta olarak karşımıza çıkmaktadır [15].

Bir alt kümenin tüm öğelerini içeren aralığa o alt kümenin dayanağı adı verilmektedir. Bu bölgede bulunan her bir ögenin az veya çok değerinde 0 ile 1 arasında üyelik dereceleri bulunmaktadır. Bu durum matematiksel olarak $\bar{u}(x)>0$ şeklinde ifade edilmektedir [15].

Üyelik dereceleri 1'e veya 0'a eşit olmayan öğelerin meydana getirdiği kısımlara üyelik işlevinin sınırları veya geçiş bölgeleri adı verilmektedir. Bu durum matematiksel olarak $0<\bar{u}(x)<1$ şeklinde ifade edilmektedir. Bütün üyelik işlevlerinde biri sağda diğeri de solda olmak üzere iki tane geçiş bölgesi bulunmaktadır [15].

Açıklanan bu üç özelliğe ilave olarak üyelik işlevlerinin sahip olması gereken iki tane daha özellik bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, bulanık kümenin normal olduğunu tespit etmemize yarayan bir kavramdır. Bu özelliğe göre normal bulanık kümelerde, en azından bir tane üyelik derecesi 1'e eşit olan üye bulunması gerekmektedir [15].

İkinci özellik ise bulanık kümenin dış bükey olması gerektiğidir. Yani matematiksel olarak aynı bulanık alt kümeye düşen x,y,z gibi üç tane üye düşünülürse ve bunlar arasında değerce büyüklük olarak $x<y<z$ gibi bir sıra bulunuyor ise, bunlardan ortadakinin üyelik işlevinin aşağıdaki bağıntıyı daima sağlaması gerekmektedir.

$$\bar{u}(y) \geq EK[\bar{u}(x), \bar{u}(z)] \quad (3.12)$$

Burada EK en küçükleme işlemi olarak adlandırılmaktadır. Yani y 'nin üyelik derecesi, x ve z 'nin üyelik derecelerinin en küçüğünden daha büyüktür. İşte bu durumda o kümeye dış bükey bulanık küme adı verilmektedir [15].

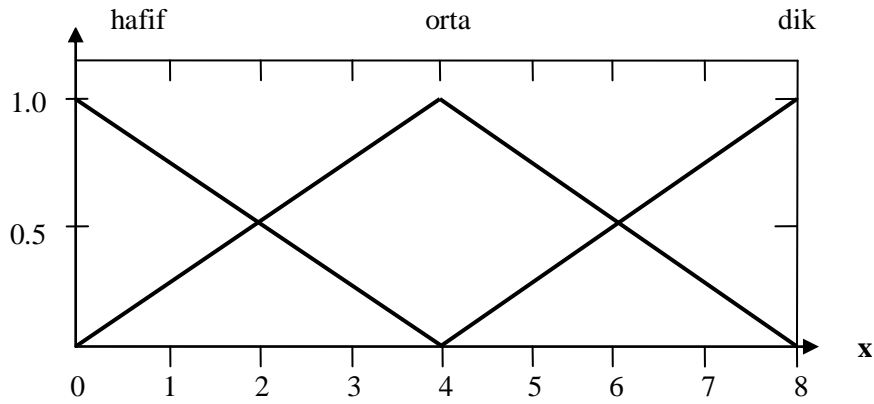
Bulanık kümelerin üyelik işlevlerinde üyelik derecesinin 0.5'e eşit olması durumundaki noktaya geçiş noktası adı verilmektedir. Bu durum matematiksel olarak $\bar{u}(x)=0.5$ şeklinde ifade edilmektedir. Ayrıca bulanık kümenin yüksekliği denilen bir büyüklük ise üyelik derecesinin en büyük olduğu öğelere karşılık gelmektedir [15].

3.9. Üyelik Derecesinin Atanması

Bulanık kümelerin gerek üyelik derecelerinin gerekse bunların tümünü temsil edebilecek üyelik işlevlerinin belirlenmesinde, ilk başlayanlar tarafından kişisel sezgi, mantık ve tecrübelerin kullanılmasına sıkça rastlanmaktadır. Pratikte karşılaşılan birçok sorunun çözümü için bu yaklaşımlar yeterli ve ilk yaklaşımın bu esaslara göre alınmaları da faydalı olmaktadır [15].

Üyelik işlevlerinin belirlenmesinde başlıca sezgi, çıkarım, mertebelenme, açılı bulanık kümeler, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar ve çıkarımcı muhakeme gibi değişik yaklaşımlar kullanılmaktadır [15].

Bu yaklaşımlardan, en az teknik bilgi içeren ve kişinin olaya bakışına bağlı olan sezgi daha sık kullanılmaktadır. Örneğin, karayolunun boyuna eğiminin üyelik derecelerini atamak için genel olarak hafif, orta ve dik diye üç tane bulanık alt küme oluşturabiliriz. Karayolu eğiminin bulanık alt kümeleri Şekil 3.10'da gösterilmektedir [4].



Şekil 3.10. Karayolu boyuna eğimi bulanık alt kümeler (Bağırhan, 2006)

3.10 Bulanık Kurallar

Bulanık sözleri ve tanımları, kümelerle işleyebilecek bir takım kurallarla ihtiyaç duyulmaktadır. Şen (2004, s.101) bu kurallarla ilgili temel bilgileri aşağıdaki gibi açıklamaktadır:

“İnsanlar sözel ifadelerle etkileşim içinde bulunduğu zaman bu ifadeleri inceleyerek sorun ile ilgili olanları yargılama ve ilişkilendirme sonucu bir takım kurallar

çıkarırlar. Bu makul ve mantıksal olan kuralları bugün için matematikte bilinen yöntemler, diferansiyel ve integral hesaplamalarla ifade etmek mümkün değildir. Çünkü bu yöntemlerin kullanılabilmesi için belirginlik gereklidir. Gerekli çözümlere ulaşabilmek için basit bulanık küme hesaplamaları ile bulanık alt kümeler arasında geçerli ilişkiyi sağlayacak bulanık küme kural yapılarının iyice bilinmesi gereklidir. Doğal lisanlar ne kadar karmaşık, müphem ve bulanık olsalar bile, insan iletişiminin temelini teşkil etmeleri bakımından çok önemlidir. Bunun için bulanık söz ve ifadeleri, kümelerle işleyebilecek kural ve işlemlere gerek vardır.

Bulanık küme kavramları, sözelden sayısala geçiş için bir köprü vazifesi görür. Günlük kullandığımız dilde tıpkı maddenin temel taşları olan atomlar gibi anlam temsil eden en küçük kelimelere de edebiyatta kelime atomları denilebilir. İşte her şey, bu kelime atomlarının bulanık olarak modellenmesi ile başlar. Kelime atomları arasında ‘güzel’, ‘orta’, ‘genç’, ‘az’, ‘yavaş’, ‘alçak’, ve daha birçok kelimeler vardır. Bunların başlarına değişik sıfatlar getirilerek daha da bulanık veya göreceli olarak durulaşmış veya bulanıklaşmış başka kelimeler elde edilebilir. Örneğin; ‘çok yavaş’, ‘fazla sıcak’, ‘çok çok güzel’, ‘aşağı yukarı genç’, gibi kelimeler temel kelime atomlarından elde edilebilecek değişik bulanık kümeleri temsil ederler. Aynı zamanda sözel kelimelerin sayısal değerlerini içeren üyelik işlevlerine, o kelimenin yorumu adı verilir. Bu şekilde ifade edilen kelime atomlarında oluşan cümleleri teşkil edebilmek için ‘ve’, ‘veya’, veya ‘değil’ gibi bağlaçlar kullanılarak küme işlemleri yapılır. ”

3.10.1 Bulanık kuralların harmanlanması

Bir sistemin modellenmesinde birden fazla kural tabanlı bulanık ifadelere gerek duyulmaktadır. İşte sayıca fazla olan kural tabanlı çıkarımların her birinin katkısıyla genel bir çıkarıma gidilmesi gerekmektedir. Bu işlem için iki farklı yaklaşım kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi kuralların ‘ve’ bağlacı ile bağlanması sonucu elde edilmektedir. Bu yöntemde sistemi temsil eden ve gerçekleşen kuralların tamamı ‘ve’ bağlacı ile birleştirilmektedir. Yani kümeler teorisinde bunların kesişimleri alınmaktadır. Bunun sonucunda harmanlanmış çıkarım, y , tekil bulanık çıkarımların, y^i , ($i=1,2,\dots,r$) kesişimi olarak elde edilmektedir [15]. Yani

$$y = y^1 \text{ ve } y^2 \text{ ve } y^3 \text{ ve } \dots \text{ ve } y^r \quad (3.13)$$

veya

$$y = y^1 \cap y^2 \cap y^3 \cap \dots \cap y^r \quad (3.14)$$

olarak yazılmaktadır. Bulanık kümeli çıkarımların bulunması durumunda ise üyelik işlevlerinin kullanılması ile harmanlanmış çıkarım

$$\ddot{u}_Y(y) = EK[\ddot{u}_{y^1}(y), \ddot{u}_{y^2}(y), \dots, \ddot{u}_{y^r}(y),] \quad (3.15)$$

olarak yapılmaktadır.

İkinci yöntem ise kural tabanlı tekil çıkarımların birleşimi şeklinde yapılmaktadır. Yani

$$y = y^1 \text{ veya } y^2 \text{ veya } y^3 \text{ veya } \dots \text{ veya } y^r \quad (3.16)$$

veya

$$y = y^1 \cup y^2 \cup y^3 \cup \dots \cup y^r \quad (3.17)$$

olarak yazılmaktadır. Bulanık kümeli çıkarımların bulunması durumunda ise üyelik işlevlerinin kullanılması ile harmanlanmış çıkarım

$$\ddot{u}_Y(y) = EB[\ddot{u}_{y^1}(y), \ddot{u}_{y^2}(y), \dots, \ddot{u}_{y^r}(y),] \quad (3.18)$$

olarak yapılmaktadır.

3.10.2 Kural tabanlı sistemler

Şen (2004, s.108) kural tabanlı sistemleri aşağıdaki gibi açıklamaktadır:

“Makineler tarafından bilgi işlemlerinin algılanma yolu olan yapay zeka alanında, bilgi işlemi için değişik yollardan bir tanesi de aşağıdaki gibi bilgiyi sanki insan diline benzer bir ifade ile temsil etmek gelmektedir. Bu en yaygın olarak kullanılan insan bilgisini işleme yoludur. Böyle bir ifadede EĞER-İSE kelimeleri ile ayrılmış olan iki kısım bulunur. Bunlardan EĞER ile İSE kelimeleri arasında bulunan kısma öncül veya ön şartlar, İSE kelimesinden sonraki kısma ise soncul veya çıkarım adı verilmektedir. Genel bir kural olarak EĞER öncül İSE çıkarım şeklinde yazılır. İşte bu türlü yapısı olan ifadelere EĞER-İSE kural tabanlı biçim adı verilir. Bu ifade, bilinen bazı bilgilerin kullanılması ile bunların ışığı altında faydalı olan diğer bazı bilgilerin çıkarılması anlamına gelir. Bu türlü bilgilere sığ bilgiler adı verilir. Çünkü bunlar insanın kendisinin kişisel deneyim ve tecrübelerinden hareketle çıkardıkları bilgilerdir ve yerine göre çokta nesnel değildir.”

Teodorovic ve Vukadinovic (1998)'e göre bulanık bir sonucun daha açık anlaşılması için x_1, x_2, x_3 gibi üç girdisi ve y gibi bir çıkarımı olan k tane kural tabanlı bulanık bir sistemi EĞER-İSE ifadesi ile modellemek için aşağıdaki gibi bir yol izlenmektedir:

Kural 1: Eğer $x_1 P_{11}$ ve $x_2 P_{12}$ ve $x_3 P_{13}$ ise, $y S_1$ 'dir,

Veya

Kural 2: Eğer $x_1 P_{21}$ ve $x_2 P_{22}$ ve $x_3 P_{23}$ ise, $y S_2$ 'dir,

Veya

Kural k : Eğer $x_1 P_{k1}$ ve $x_2 P_{k2}$ ve $x_3 P_{k3}$ ise, $y S_k$ 'dir.

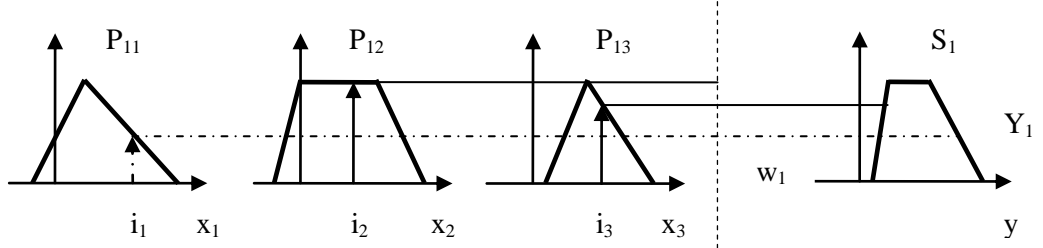
Verilen kurallar veya bağlacı ile ilişkilendirilmiştir. Şekil 3.11'de görüldüğü gibi P_{k1} ve P_{k3} ($k=1,2,3,4,\dots$) bulanık kümelerin üyelik işlevleridir ve üçgen şeklindedir. P_{k2} ve S_k ($k=1,2,3,\dots$) bulanık kümesinin üyelik işlevidir ve yamuk şeklinde kabul edilmektedir. i_1, i_2 ve i_3 , x_1, x_2 ve x_3 girdilerinin bilinen değerleridir. Şekilde gösterilmekte olan S çıktısının üyelik işlevi aşağıda gösterilmektedir.

$$\mu_s(y) = \max_k \{ \min [\mu_{P_{k1}}(i_1), \mu_{P_{k2}}(i_2), \mu_{P_{k3}}(i_3)] \} \quad k=1,2,3,\dots \quad (3.19)$$

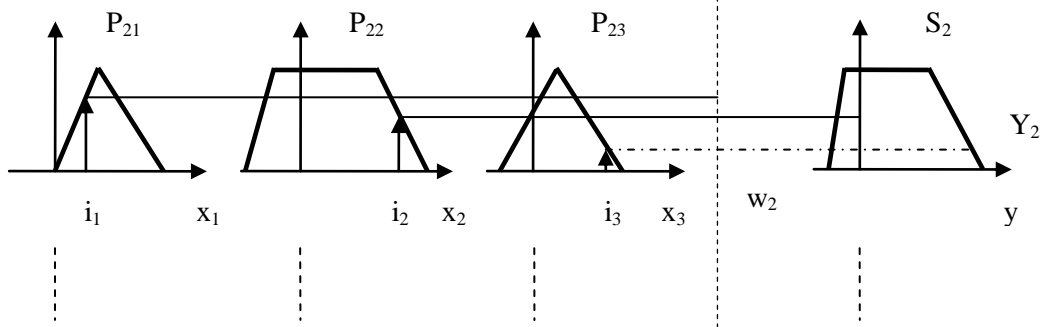
S bulanık çıktı kümesi, tüm kuralların Y_1, Y_2, \dots, Y_k gibi bulanık çıktılarının birleşimidir.

$$S = Y_1 \cup Y_2 \cup \dots \cup Y_k \quad (3.20)$$

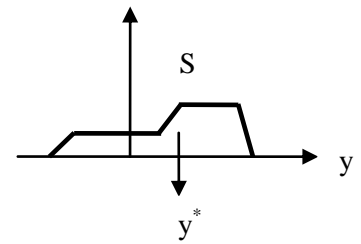
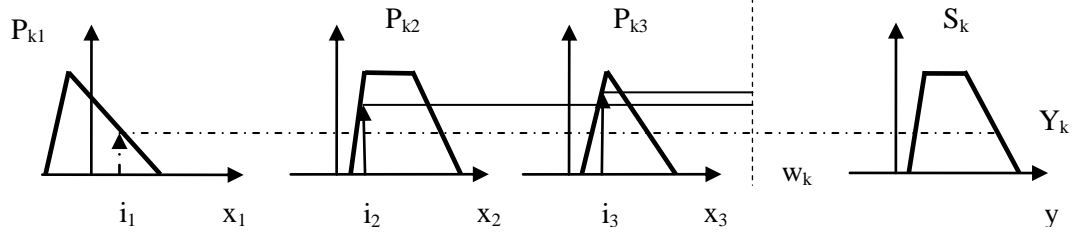
Kural 1



Kural 2



Kural k



Şekil 3.11. Kuralların grafik gösterimi (Şen, 1999)

$$\ddot{u}_s(y) = \text{maks}\{\ddot{u}_{Y_1}(y), \ddot{u}_{Y_2}(y), \dots, \ddot{u}_{Y_k}(y)\} \quad (3.21)$$

x_1 , x_2 , ve x_3 girdilerinin bilinen i_1 , i_2 ve i_3 değerlerinden, y çıktısının y^* değeri hesaplanır. Kural 1'e dikkat edildiğinde;

Eğer $x_1 P_{11}$ ve $x_2 P_{12}$ ve $x_3 P_{13}$ ise, $y S_1$ 'dir,

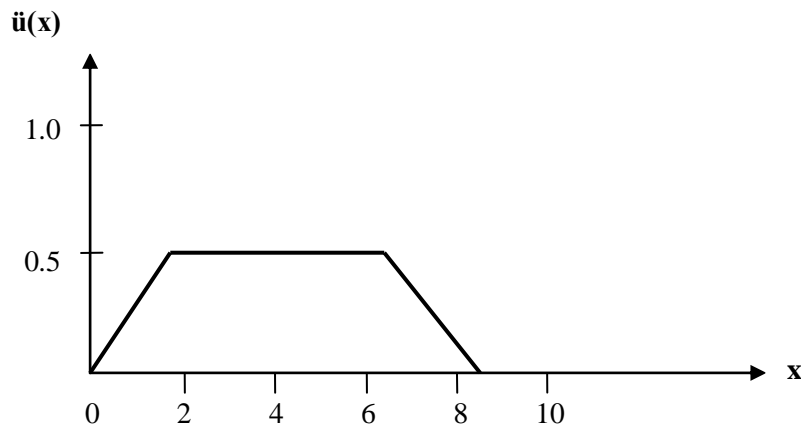
$\ddot{u}_{P_{11}}(i_1)$ değeri, i_1 'in P_{11} 'e eşit olduğu yerdeki gerçek değeri göstermektedir. Aynı şekilde i_2 'nin P_{12} 'ye, i_3 'ün P_{13} 'e eşit olduğu yerdeki değerler $\ddot{u}_{P_{12}}(i_2)$ ve $\ddot{u}_{P_{13}}(i_3)$ 'dür. w_1 'in değeri (w , kural çıktısının üyelik derecesidir):

$$w_1 = \text{min}\{\ddot{u}_{P_{11}}(i_1), \ddot{u}_{P_{12}}(i_2), \ddot{u}_{P_{13}}(i_3)\} \quad (3.22)$$

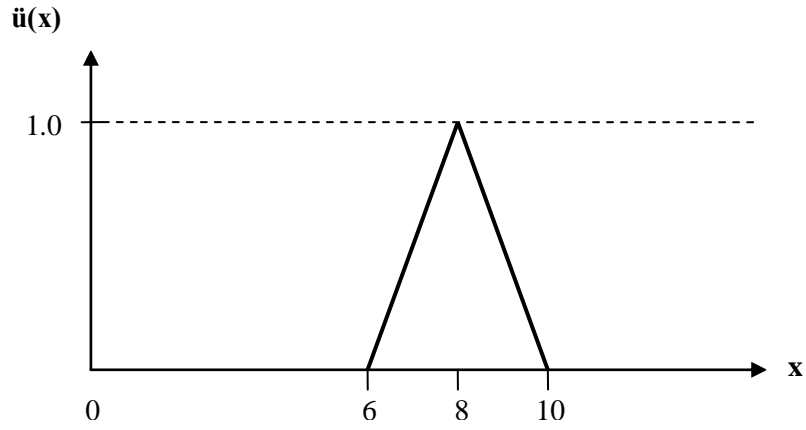
$i_1 P_{11}$ 'e, $i_2 P_{12}$ 'ye, i_3 'ün P_{13} 'e eşit olduğu gerçek değerlerden en küçük olanı işaret etmektedir. w_2, w_3, \dots, w_k 'nin değerleri de aynı yöntemle hesaplanabilir.

3.11 Durulaştırma İşlemleri

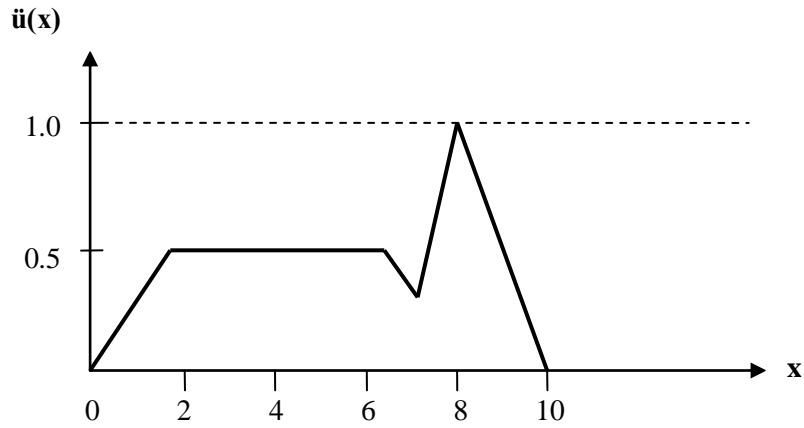
Bulanık ıkarım sonucu bulanık bir kümedir [16]. Pratik uygulamalarda, özellikle mühendislik plan, proje ve tasarımlarında kesin sayısal verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle bulanık olan bilgilerin kesin sonuçlar haline dönüştürülmesi gerekmektedir. Bulanıklaştırma işleminin tam tersi olan bu işleme durulaştırma denilmektedir [15]. Örnek olarak, yamuk ve üçgen şeklinde bulunan iki bulanık sonucun bulanık çıkarımı şekil 3.12'de gösterilmektedir [15].



şekil 3.12.a Bulanık girdi ilk kısım



Şekil 3.12.b Bulanık girdi ikinci kısım

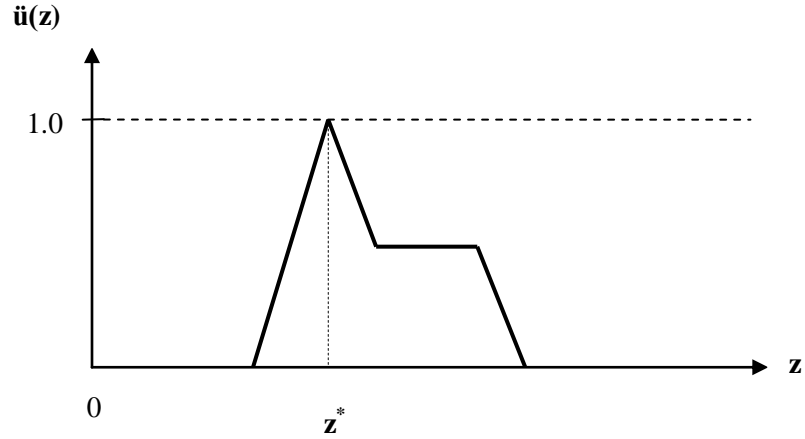


Şekil 3.12.c Tipik bulanık küme çıktısı, ikisinin birleşimi

Durulaştırma işlemi için yedi farklı yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerin hangisinin seçileceğine, araştırmacı elindeki sorunun türüne göre karar vermektedir. Bu yöntemleri Şen (2004) aşağıdaki gibi açıklamaktadır. Burada, Z çıkarım bulanık kümesini, z kümenin elemanlarını, z^* ise durulaştırılmış değerleri göstermektedir.

1. En Büyük Üyelik İlkesi: Bu yöntem yükseklik yöntemi olarak da adlandırılmaktadır. Yöntemin kullanılabilmesi için tepeleri olan çıkarım bulanık kümelerine ihtiyaç vardır. Yapılan işlemin matematiksel olarak ifadesi aşağıdaki gibidir.

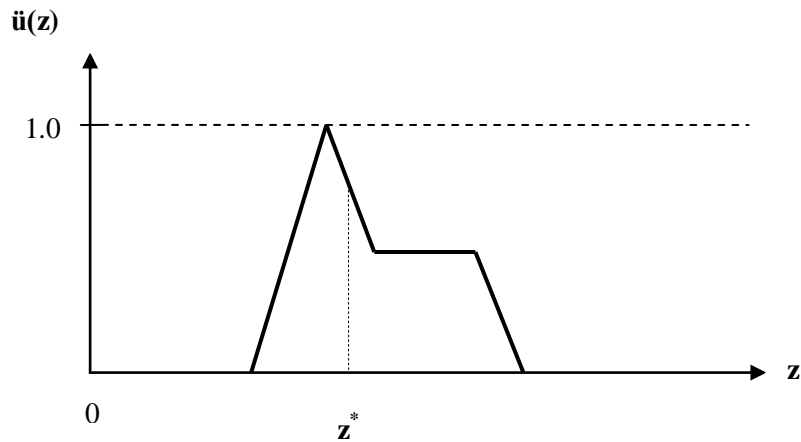
$$\ddot{u}_\zeta(z^*) \geq \ddot{u}_\zeta(z) \text{ tüm } z \in Z \quad (3.23)$$



Şekil 3.13. En büyük üyelik ilkesi (Şen, 2004)

2. Sentroid Yöntemi: Bu yöntem ağırlık merkezi yöntemi olarak da bilinmektedir. En yaygın kullanılan durulaştırma işlemlerinden biridir. Durulaştırmanın matematiksel işlemi aşağıdaki gibidir.

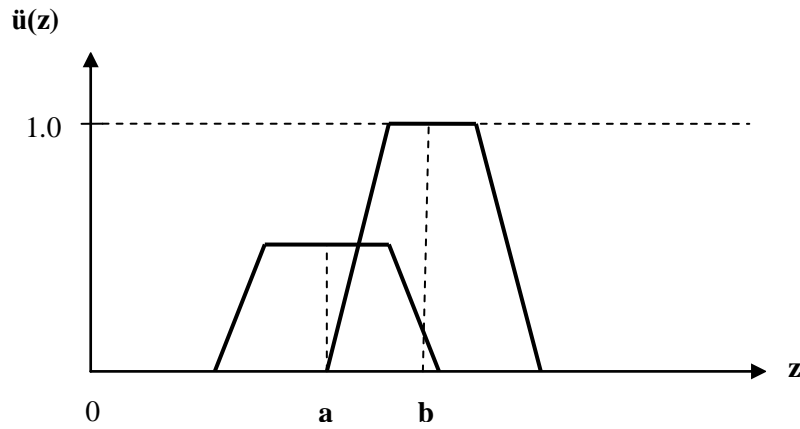
$$z^* = \frac{\int \ddot{u}_\zeta(z) \cdot z dz}{\int \ddot{u}_\zeta(z) dz} \quad (3.24)$$



Şekil 3.14. Sentroid yöntemi (Şen, 2004)

3. Ağırlıklı Ortalama Yöntemi: Bu yöntemin kullanılabilmesi için simetrik üyelik fonksiyonunun bulunması gerekmektedir. Durulaştırma işlemi için gereken denklem aşağıdaki gibidir.

$$z^* = \frac{\sum \bar{u}_\zeta(\bar{z}) \cdot \bar{z}}{\sum \bar{u}_\zeta(\bar{z})} \quad (3.25)$$

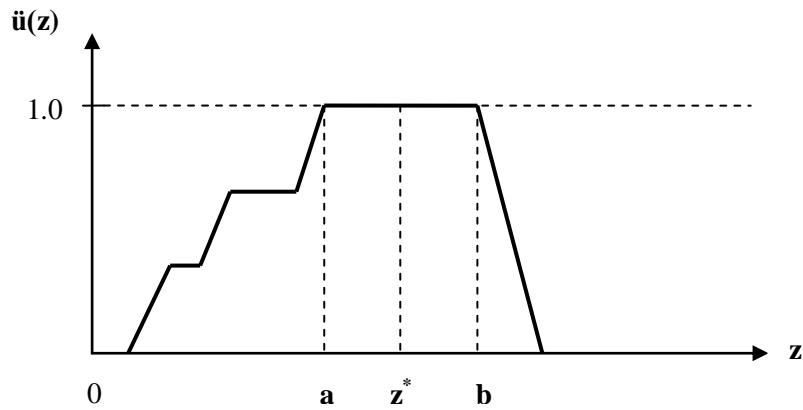


Şekil 3.15. Ağırlıklı ortalama yöntemi (Şen, 2004)

Şekildeki a ve b değerleri temsil ettikleri şekillerin ortalamalarıdır.

4. Ortalama En Büyük Üyelik Yöntemi: Bu yöntem en büyüklerin ortası olarak da adlandırılmaktadır. En büyük üyelik ilkesine oldukça yakın bir yöntemdir. Ancak, üyelik fonksiyonunda en büyük üyelik derecesine sahip olan, $\bar{u}_A(z)=1$, bir nokta yerine şekilden de görüldüğü gibi düz bir kesim olabilir. Durulaştırılmış değer aşağıdaki gibi bulunur.

$$z^* = \frac{a + b}{2} \quad (3.26)$$

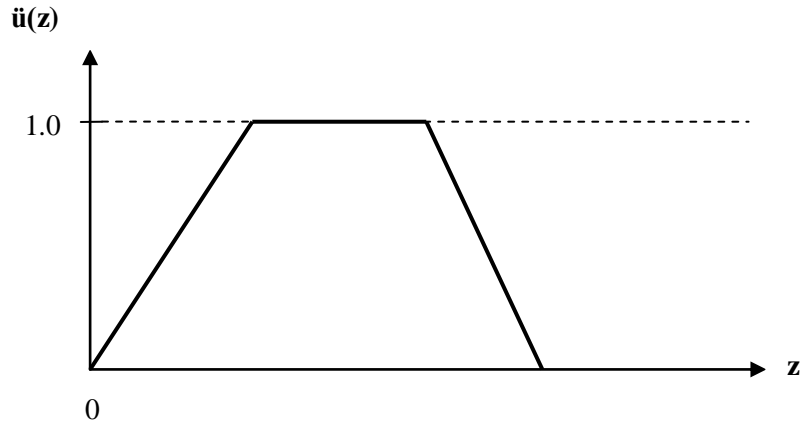


Şekil 3.16. Ortalama en büyük üyelik yöntemi (Şen, 2004)

5. Toplamların Merkezi Yöntemi: Durulaştırma işlemleri arasındaki en hızlı yöntemdir. Bu yöntemde iki bulanık kümenin birleşimi yerine onların cebirsel toplamları kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemin sakıncası örtüşen kısımların iki defa toplama girmesidir. Durulaştırılmış değer aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$z^* = \frac{\int_z z \sum_{k=1}^n \ddot{u}_\zeta(z) \cdot dz}{\int_z \sum_{k=1}^n \ddot{u}_\zeta(z) \cdot dz} \quad (3.27)$$

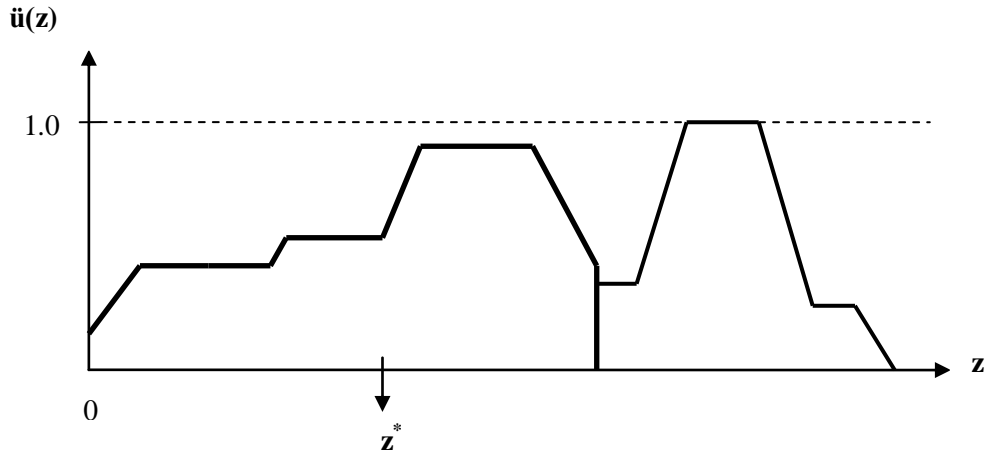
Yöntem hesaplama bakımından ağırlıklı ortalama yöntemine benzemektedir. Ancak toplamların merkezi yönteminde ağırlıklar ilgili üyelik fonksiyonlarının alanlarıdır. Ağırlıklı ortalama yönteminde ise bu değerler üyelik derecesidir.



Şekil 3.17. Toplamların merkezi yöntemi (Şen, 2004)

6. En Büyük Alanın Merkezi Yöntemi: Bu yöntemde eğer çıkış bulanık kümesi en azından iki tane dış bükey alt bulanık kümeyi içeriyor ise, dış bükey bulanık kümelerin en büyük alana sahip olanının ağırlık merkezi durulaştırma işleminde kullanılmaktadır. Durulaştırma işleminin matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$z^* = \frac{\int \ddot{u}_{eb\zeta}(z) \cdot z dz}{\int \ddot{u}_{eb\zeta}(z) dz} \quad (3.28)$$



Şekil 3.18. En büyük alanın merkezi yöntemi (Şen, 2004)

7. En Büyük İlk veya Son Üyelik Derecesi Yöntemi: Bu yöntemde, tüm çıktıların birleşimi olarak ortaya çıkan bulanık kümede en büyük üyelik derecesine sahip olan en küçük (veya en büyük) bulanık küme değerini seçmek esasına dayanmaktadır.

Yöntem seçilirken aşağıdaki ölçütlere dikkat edilmelidir [22]:

- İncelenen olayın sürekli olup olmadığı, süreklilik var ise sistemdeki küçük bir değişiklik çıktılarda büyük değişikliklere neden olmaz.
- Durulaştırmadan sonra çıkan sonucun çok cevaplı olmaması,
- Sonuçların geçerli ve mantıklı olması,
- Yapılan işlemlerin kolay olması,
- Bulanık çıktı kümesinin ağırlıklarını da kapsayan ağırlıklı yöntem öncelikle tercih edilmelidir.
- Durulaştırma sonucunda elde edilen değer sorunun çözümünde en iyi yanıtı vermelidir.

4. BULANIK MANTIK İLE MODELLEME

4.1 Bulanık Model Değişkenleri ve Üyelik İşlevlerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada; önceki çalışmalardan yararlanarak şehiriçi karayollarında, karayolu geometrik standartlarının karayolu kapasitesine etkileri değerlendirilmektedir. Araştırılan kaynaklarda, karayolu geometrik standartlarının karayolu kapasitesine etkisi değerlendirilirken, teorik kapasite ya da pratik kapasiteden azaltmalar yapılmaktadır. Bu azaltmalar, ayarlama katsayılarıyla çarparak veya toplam değer, belli yüzdeler oranlarda azaltılmasıyla gerçekleştirilmektedir.

Trafikte tahminlerin olması, yaklaşık değerlerin alınması ve düzenleme katsayılarının kullanılması gibi kesinlik tanımlamayan hesaplamalar yapılmaktadır. Karayolu kapasitesi hesaplanırken de bu yaklaşımlardan yararlanılmaktadır.

Karayolunun kapasitesini sadece karayolu geometrik standartları etkilemez, bunun yanında sürücü davranışları, havanın yağışlı olması, yaya davranışları gibi sayısal olarak tanımlayamadığımız etkilerde bulunmaktadır.

Karayolu geometrik standartlarının, karayolu kapasitesini nasıl ve ne kadar etkilediği konusunda yapılmış çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle, karayolu kapasitesi konusunda hazırlanmış olan ve ülkemizde de kabul gören Highway Capacity Manual (HCM) rehber kitabı, bu çalışma için kılavuz kaynak olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada amaç; şehiriçi karayolu geometrik standartlarının karayolunun kapasitesine etkisinin modellenmesidir. Bu nedenle, model oluşturmada değişken olarak şerit genişliği (ŞG), boyuna eğim (BE) ve yol kenarı araç park sayısı (AS) seçilmektedir. Değişkenlerin sayısının az tutulmasının nedeni; yapılan literatür çalışmasında, seçilen bu değişkenlerle ilgili daha fazla veriye ulaşılmış olmasıdır.

Bu durumda oluşturulan bulanık model; şerit genişliği (ŞG), boyuna eğim (BE) ve yol kenarı araç park sayısı (AS) olmak üzere üç girdiden oluşmaktadır. Modelin çıktısı ise pratik kapasite (PK) değeridir.

Modelde birinci girdi şerit genişliği (ŞG) değişkenidir. İdeal koşullar için şerit genişliği 3.65 m olarak verilmektedir [9]. Bu nedenle şerit genişliğinin bu değerden yani 3.65m'den daha az olması durumunda kapasite azalacaktır. Şerit genişliğinin kapasiteye etkisi hakkında daha önce yapılmış çalışmalara dayanarak; şerit genişliği 3.65'den 2.75m'ye düştüğünde, kapasitenin de yaklaşık %30 azalacağını söylemek mümkün.

Kentiçi yolların pratik kapasitesi (oto/sa), yolun tipine, çift veya tek yönlü oluşuna ve şerit genişliklerine göre değişmektedir. Tek yönlü kent içi yollarda pratik kapasite (oto/sa) değerleri Çizelge 4.1’de verilmektedir.

Çizelge 4.1. Tek yönlü kentiçi yollarda pratik kapasite değerleri (oto/sa) [23]

Yol Cinsi	Yol Genişliği (m)								
	6	6,5	7	9	10	11	12	13,5	14,5
A) Şehiriçi Otoyol (Ekspres Yol, Eşdüzey Kesişme Yok)			3000			4500			6000
B) Çok Amaçlı Yol (Ana Cadde, Durma Yasağı Var, Eşdüzey Kesişmeler Az)	2000	2200	2400	3000	3300	3600	4000	4400	4800
C) Çok Amaçlı Yol (Cadde, Bekleme ve Park Yasağı Var, Kavşakların Kapasitesi İyi)	1300	1450	1600	2150	2400	2650	3000	3350	3700
D) 3. Derece Yol (Cadde, Kapasiteyi Azaltıcı Park ve Kavşak Etkileri Fazla)	800	950	1100	1650	1900	2150	2500	2800	3200

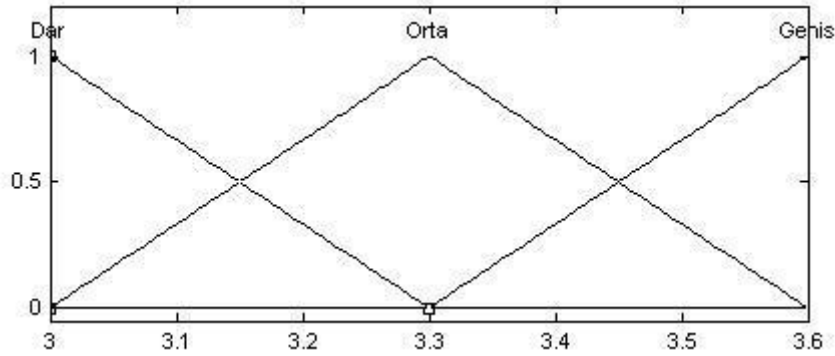
Oluşturulan bulanık modelde, şerit genişliği ve pratik kapasite arasında ilişki kurulurken Çizelge 4.1’deki; B (ana cadde, durma yasağı var ve eşdüzey kesişmeler az) ve C (cadde, bekleme ve park yasağı var, kavşakların kapasitesi iyi) yol tipi ve durumu referans olarak alınmaktadır. Her iki referans için iki farklı model oluşturulmaktadır. Diğer yol sınıfları için de benzer modeller oluşturularak bir bütün elde etmek daha sonraki çalışmalar için mümkün olacaktır.

Çift yönlü kentiçi yollardaki pratik kapasite değerlerini alarak da modelin oluşturulması mümkün. Bu çalışmada tek yönlü kentiçi yollarda pratik kapasite değerlerinden yararlanılması tamamen kişisel bir tercihtir.

Çizelge 4.1'deki B (ana cadde, durma yasağı var ve eşdüzey kesişmeler az) ve C (cadde, bekleme ve park yasağı var, kavşakların kapasitesi iyi) yol tipi ve durumlarının referans alınmasının nedeni ise, pratik kapasitede gerekli azaltmalar için değişkenlerin ayrıca girdi olarak verilmesidir.

B (ana cadde, durma yasağı var ve eşdüzey kesişmeler az) tipi yol sınıflandırması için modelin oluşturulması;

Bulanık modelde şerit genişliği (ŞG); dar, orta ve geniş olmak üzere üç bulanık alt kümeye ayrılmaktadır. Şekil 4.1 şerit genişliği bulanık alt kümesini göstermektedir. Şekil 4.1'de üyelik işlevi 1 olarak alınan 3m şerit genişliği bulanık 'Dar' alt kümesini, üyelik işlevi 1 olarak alınan 3.3m şerit genişliği bulanık 'Orta' alt kümesini ve üyelik işlevi 1 olarak alınan 3.6m şerit genişliği ise bulanık 'Geniş' alt kümesini oluşturmaktadır. Şerit genişliği bulanık alt kümelerinin üçgen ve birbirlerine eşit aralıklı alınmasının nedeni literatüre dayanarak kişisel tercihlerin kullanılmasıdır.



Şekil 4.1. Şerit genişliği (m)- 1.girdi

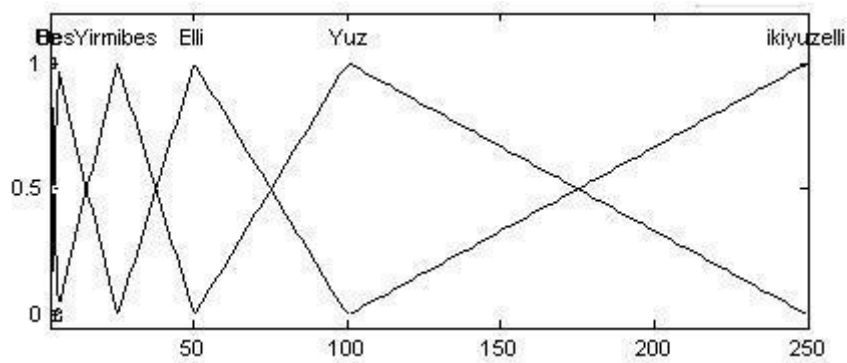
Modelde 2. girdi yol kenarında park eden araç sayısı (AS)' dir. Yapılan literatür çalışmasında yol kenarı engellerinin kapasiteye etkisi üzerinde verilere ulaşılmaktadır. Ancak, bu çalışma kentiçi yolları esas aldığı için yan açıklık veya yol kenarı engeli yerine, yol kenarındaki araç parkının kapasiteye etkisinin değerlendirilmesi daha uygun olacaktır. Bu nedenle, yol kenarında park eden araçların kapasiteyi nasıl etkilediğini gösteren araştırmalar değerlendirilmektedir. Genel olarak, yol kenarında park etmiş araçların bulunması yol kenarı

engeli olarak algılanmakta ve sürücülerin şerit ortalarına doğru kaçmalarına neden olmaktadır. Bu da şerit genişliğinin azalması gibi kapasiteyi azaltmaktadır. Ayrıca, park eden araçların park etmek için ya da park yerinden çıkmak için yaptıkları manevralar da trafik akımından ayrılma ve katılma gibi değerlendirilebilir. Çünkü bu manevralar sırasında, diğer park şeridine komşu şeritteki taşıtlar ya hızlarını azaltacak ya da tamamen durmak durumunda kalacaklardır. Çizelge 4.2’de 1.5 km’lik karayolu boyunca, yol kenarında park eden araçların kapasiteyi ne kadar azalttığı görülmektedir. Oluşturulan modelde, park eden araç sayısının kapasiteye etkisi değerlendirilirken Çizelge 4.2 referans olarak alınmaktadır.

Çizelge 4.2. Yol kenarında park eden araç sayısı ve kapasite azalması arasındaki ilişki [23]

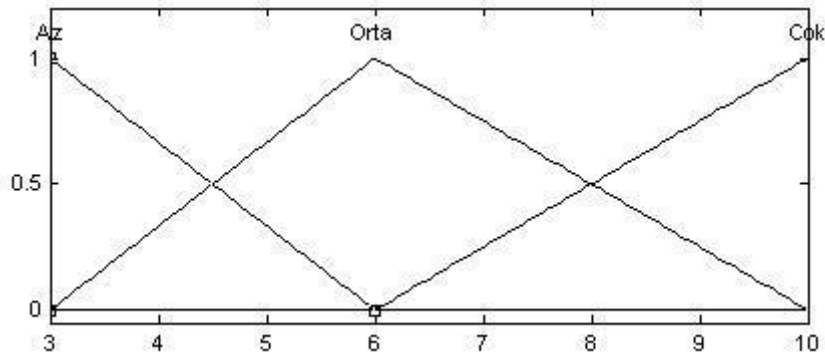
Yol Kenarında Park Eden Araç Sayısı (Adet)	3	5	25	50	100	250
Kapasite Azalması (oto/sa)	100	135	235	285	335	400

Çizelge 4.2 incelendiğinde, 1.5 km’lik yol boyunca park eden araç sayısı 3 olduğunda, kapasitede 100 oto/sa azalma olmaktadır. Park eden araç sayısı arttıkça, kapasitedeki azalma aynı oranda olmamaktadır. Bu nedenle, park eden araç sayısı referans alınan çizelge 4.2’deki değerlere benzetmek için altı bulanık alt kümeye (Üç, Beş, Yirmibeş, Elli, Yüz, İkiyüzeli) ayrılmaktadır (Şekil 4.2). Bulanık alt kümelerin sözel adlandırmaları, kişisel tercihtir ve referans alınan değerlere benzetmek amacıyla benzer seçilmiştir.



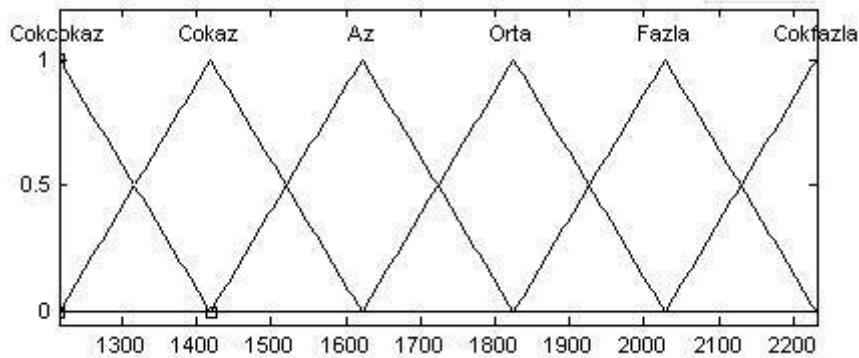
Şekil 4.2. Park eden araç sayısı (araç/1.5km) – 2.girdi

Modeldeki üçüncü ve son girdi yolun boyuna eğimidir (BE). Yapılan önceki çalışmalar incelenildiğinde, genel olarak; karayolunun çıkış eğimli olmasının kapasiteyi olumsuz etkilediği görülmektedir. Şehirlerarası karayollarında yolun çıkış eğimli kesimlerinde kapasitenin azalmasını önlemek amacıyla tırmanma şeritleri uygulanmaktadır. Kent yollarında böyle bir uygulama yoktur. Kentiçi karayollarında daha dik boyuna eğimler kullanılmaktadır. Kentiçi karayollarında boyuna eğimin kapasiteyi nasıl etkilediği konusunda yapılmış çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Ancak, model için referans alınan değerler her %1'lik çıkış eğimi için kapasitenin %3 azaltılmasıdır [23]. Ya da iniş eğimi olması durumunda kapasite arttırılacaktır. Şekil 4.3' de boyuna eğim üç tane bulanık alt kümeye ayrılmaktadır. 'Az' bulanık alt kümesinde %3, 'Orta' bulanık alt kümesinde %6, 'Çok' bulanık alt kümesinde ise %10 çıkış eğimi için üyelik işlevi 1 alınmaktadır.



Şekil 4.3. Boyuna eğim(%) – 3.girdi

Oluşturulan modelin çıktısı pratik kapasitedir (PK) (Şekil 4.4). Çıktıda pratik kapasite altı bulanık alt kümeye ayrılmaktadır (Çok çok az, Çok az, Az, Orta, Fazla, Çok fazla). Çıktının eşit üçgen altı bulanık alt kümeye ayrılmasının nedeni literatürdeki değerlere benzetmektir. Bulanık alt küme sayısını azaltmak ve modele yeni değişkenler eklendiğinde düzenlemek mümkün olacaktır.



Şekil 4.4. B yol tipi için pratik kapasite (oto/sa) – çıktı

4.2 B Tipi Yol İçin Bulanık Kuralların Elde Edilmesi

Üyelik işlevleri belirlendikten sonra, 54 tane EĞER-İSE bulanık kuralları ‘ve’ bağlacı kullanılarak oluşturulmaktadır. Oluşturulan bu 54 adet kural çizelge 4.3’de gösterilmektedir. Bulanık model oluşturulduktan sonra 54 adet kurala uygun olarak sayısal değerler girerek modelden elde edilen pratik kapasite (PK) ile referans alınan pratik kapasite (RPK) değerlerinin karşılaştırılması çizelge 4.4’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.3. B tipi yol için modelin bulanık kuralları

<u>KURAL</u>	<u>SG</u>	<u>ve</u>	<u>AS</u>	<u>ve</u>	<u>BE</u>	<u>ise</u>	<u>PK</u>
1	Dar	ve	Üç	ve	Az	ise	Orta
2	Dar	ve	Beş	ve	Az	ise	Orta
3	Dar	ve	Yirmi beş	ve	Az	ise	Az
4	Dar	ve	Elli	ve	Az	ise	Az
5	Dar	ve	Yüz	ve	Az	ise	Az
6	Dar	ve	İki yüz elli	ve	Az	ise	Az
7	Dar	ve	Üç	ve	Orta	ise	Az
8	Dar	ve	Beş	ve	Orta	ise	Az
9	Dar	ve	Yirmi beş	ve	Orta	ise	Az
10	Dar	ve	Elli	ve	Orta	ise	Çok Az
11	Dar	ve	Yüz	ve	Orta	ise	Çok Az
12	Dar	ve	İki yüz elli	ve	Orta	ise	Çok Az
13	Dar	ve	Üç	ve	Çok	ise	Çok Az
14	Dar	ve	Beş	ve	Çok	ise	Çok Az
15	Dar	ve	Yirmi beş	ve	Çok	ise	Çok Az
16	Dar	ve	Elli	ve	Çok	ise	Çok Çok Az
17	Dar	ve	Yüz	ve	Çok	ise	Çok Çok Az
18	Dar	ve	İki yüz elli	ve	Çok	ise	Çok Çok Az
19	Orta	ve	Üç	ve	Az	ise	Fazla
20	Orta	ve	Beş	ve	Az	ise	Fazla
21	Orta	ve	Yirmi beş	ve	Az	ise	Orta
22	Orta	ve	Elli	ve	Az	ise	Orta
23	Orta	ve	Yüz	ve	Az	ise	Orta
24	Orta	ve	İki yüz elli	ve	Az	ise	Orta

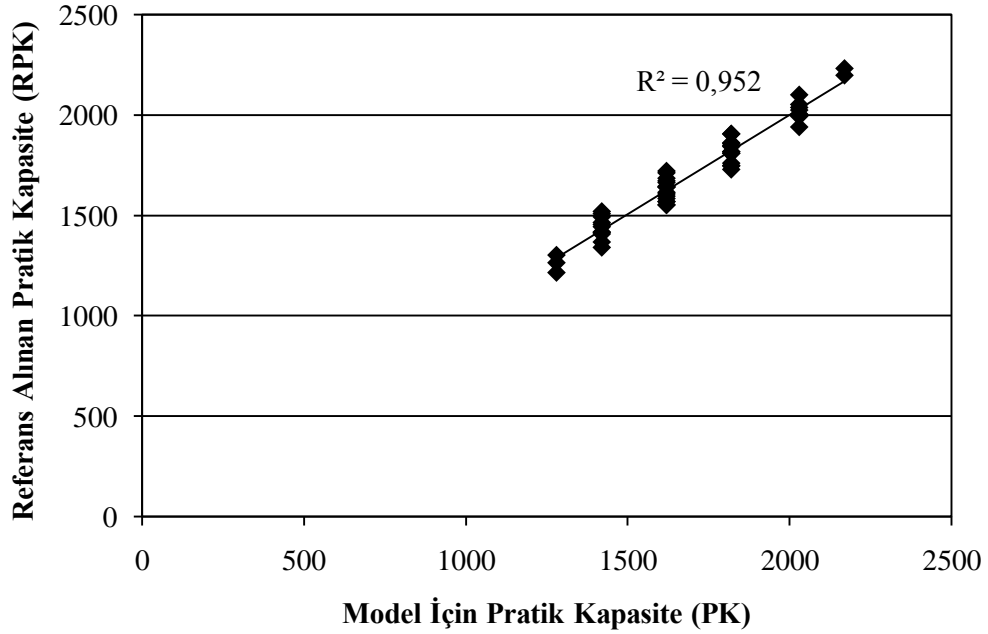
25	Orta	ve	Üç	ve	Orta	ise	Orta
26	Orta	ve	Beş	ve	Orta	ise	Orta
27	Orta	ve	Yirmi beş	ve	Orta	ise	Orta
28	Orta	ve	Elli	ve	Orta	ise	Az
29	Orta	ve	Yüz	ve	Orta	ise	Az
30	Orta	ve	İki yüz elli	ve	Orta	ise	Az
31	Orta	ve	Üç	ve	Çok	ise	Az
32	Orta	ve	Beş	ve	Çok	ise	Az
33	Orta	ve	Yirmi beş	ve	Çok	ise	Çok Az
34	Orta	ve	Elli	ve	Çok	ise	Çok Az
35	Orta	ve	Yüz	ve	Çok	ise	Çok Az
36	Orta	ve	İki yüz elli	ve	Çok	ise	Çok Az
37	Geniş	ve	Üç	ve	Az	ise	Çok Fazla
38	Geniş	ve	Beş	ve	Az	ise	Çok Fazla
39	Geniş	ve	Yirmi beş	ve	Az	ise	Fazla
40	Geniş	ve	Elli	ve	Az	ise	Fazla
41	Geniş	ve	Yüz	ve	Az	ise	Fazla
42	Geniş	ve	İki yüz elli	ve	Az	ise	Fazla
43	Geniş	ve	Üç	ve	Orta	ise	Fazla
44	Geniş	ve	Beş	ve	Orta	ise	Fazla
45	Geniş	ve	Yirmi beş	ve	Orta	ise	Orta
46	Geniş	ve	Elli	ve	Orta	ise	Orta
47	Geniş	ve	Yüz	ve	Orta	ise	Orta
48	Geniş	ve	İki yüz elli	ve	Orta	ise	Orta
49	Geniş	ve	Üç	ve	Çok	ise	Orta
50	Geniş	ve	Beş	ve	Çok	ise	Az
51	Geniş	ve	Yirmi beş	ve	Çok	ise	Az
52	Geniş	ve	Elli	ve	Çok	ise	Az
53	Geniş	ve	Yüz	ve	Çok	ise	Az
54	Geniş	ve	İki yüz elli	ve	Çok	ise	Çok Az

Çizelge 4.4. B tipi yol için bulanık kuralların sayısal örneklendirilmesi

<u>KURAL</u>	<u>ŞG</u>	<u>ve</u>	<u>AS</u>	<u>ve</u>	<u>BE</u>	<u>ise</u>	<u>RPK</u>	<u>PK</u>
1	3	ve	3	ve	3	ise	1843	1820
2	3	ve	5	ve	3	ise	1809	1820
3	3	ve	25	ve	3	ise	1712	1620
4	3	ve	50	ve	3	ise	1664	1620
5	3	ve	100	ve	3	ise	1615	1620
6	3	ve	250	ve	3	ise	1552	1620
7	3	ve	3	ve	6	ise	1672	1620
8	3	ve	5	ve	6	ise	1641	1620
9	3	ve	25	ve	6	ise	1553	1620
10	3	ve	50	ve	6	ise	1509	1420
11	3	ve	100	ve	6	ise	1465	1420
12	3	ve	250	ve	6	ise	1408	1420
13	3	ve	3	ve	10	ise	1444	1420
14	3	ve	5	ve	10	ise	1417	1420
15	3	ve	25	ve	10	ise	1341	1420
16	3	ve	50	ve	10	ise	1303	1280
17	3	ve	100	ve	10	ise	1265	1280
18	3	ve	250	ve	10	ise	1216	1280
19	3.3	ve	3	ve	3	ise	2037	2030
20	3.3	ve	5	ve	3	ise	2003	2030
21	3.3	ve	25	ve	3	ise	1906	1820
22	3.3	ve	50	ve	3	ise	1858	1820
23	3.3	ve	100	ve	3	ise	1809	1820
24	3.3	ve	250	ve	3	ise	1746	1820
25	3.3	ve	3	ve	6	ise	1848	1820
26	3.3	ve	5	ve	6	ise	1817	1820
27	3.3	ve	25	ve	6	ise	1729	1820
28	3.3	ve	50	ve	6	ise	1685	1620
29	3.3	ve	100	ve	6	ise	1641	1620
30	3.3	ve	250	ve	6	ise	1584	1620
31	3.3	ve	3	ve	10	ise	1596	1620
32	3.3	ve	5	ve	10	ise	1569	1620

33	3.3	ve	25	ve	10	ise	1493	1420
34	3.3	ve	50	ve	10	ise	1455	1420
35	3.3	ve	100	ve	10	ise	1417	1420
36	3.3	ve	250	ve	10	ise	1368	1420
37	3.6	ve	3	ve	3	ise	2231	2170
38	3.6	ve	5	ve	3	ise	2197	2170
39	3.6	ve	25	ve	3	ise	2100	2030
40	3.6	ve	50	ve	3	ise	2052	2030
41	3.6	ve	100	ve	3	ise	2003	2030
42	3.6	ve	250	ve	3	ise	1940	2030
43	3.6	ve	3	ve	6	ise	2024	2030
44	3.6	ve	5	ve	6	ise	1993	2030
45	3.6	ve	25	ve	6	ise	1905	1820
46	3.6	ve	50	ve	6	ise	1861	1820
47	3.6	ve	100	ve	6	ise	1817	1820
48	3.6	ve	250	ve	6	ise	1760	1820
49	3.6	ve	3	ve	10	ise	1748	1820
50	3.6	ve	5	ve	10	ise	1721	1620
51	3.6	ve	25	ve	10	ise	1645	1620
52	3.6	ve	50	ve	10	ise	1607	1620
53	3.6	ve	100	ve	10	ise	1569	1620
54	3.6	ve	250	ve	10	ise	1520	1420

Referans verileri ile elde edilen pratik kapasite (RPK) değerleri ile model tarafından bulunan pratik kapasite değerleri (PK) arasındaki R- Kare dağılımı Şekil 4.5’ de gösterilmektedir.



Şekil 4.5. B yol tipi için model sonuçlarının R-Kare dağılımı

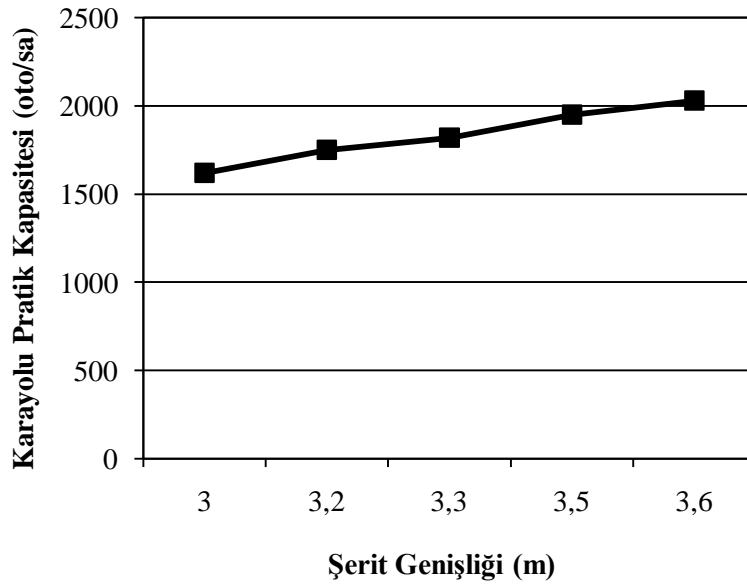
Oluşturulan bu modelde, kentiçi karayolunda en düşük pratik kapasite değerini 18 kuralı vermektedir. Çünkü bu kuralda bütün değişkenlerin olumsuz değerleri dikkate alınmaktadır. Bu kuralda tüm değişkenleri olumsuz alıp şerit genişliğini ise 3m'den 3.3 m'ye arttırdığımızda karayolunun pratik kapasitesi 1280 oto/sa' ten 1420 oto/sa değerine çıkmaktadır.

Modeldeki her bir kural için bütün değişkenler sabit alınarak diğer değişkenlerin pratik kapasiteyle olan ilişkisi elde edilebilmektedir. Bu değişimleri göstermek için binlerce sayısal örnekler verilebilir. Ancak, burada sadece değişkenlerle pratik kapasite arasındaki ilişkiyi görebilmek için birkaç örnek gösterilmektedir. Bu örneklerde değişkenlerden ikisi sabit alınarak diğer değişkene farklı sayısal değerler verilmekte ve pratik kapasite ile ilişkileri grafikte gösterilmektedir.

Örneğin çizelge 4.5'de park eden araç sayısı (AS) ve boyuna eğim (BE) girdileri sabit değerler alınarak ve şerit genişliği (ŞG) girdisinin değerleri değiştirilerek pratik kapasite değerleri bulunmaktadır. Çizelgedeki bu verilerin grafik olarak gösterimi ise Şekil 4.6'da yer almaktadır. Şekil 4.6 incelendiğinde, boyuna eğimin %3, yol kenarı araç park sayısının da 25 olması durumunda; şerit genişliği arttıkça pratik kapasite değerleri de artmaktadır.

Çizelge 4.5. ŞG-PK (diğer değişkenler sabit) değişim çizelgesi

<u>ŞG</u>		<u>AS</u>		<u>BE</u>		<u>PK</u>
3	ve	25	ve	3	ise	1620
3.2	ve	25	ve	3	ise	1750
3.3	ve	25	ve	3	ise	1820
3.5	ve	25	ve	3	ise	1950
3.6	ve	25	ve	3	ise	2030

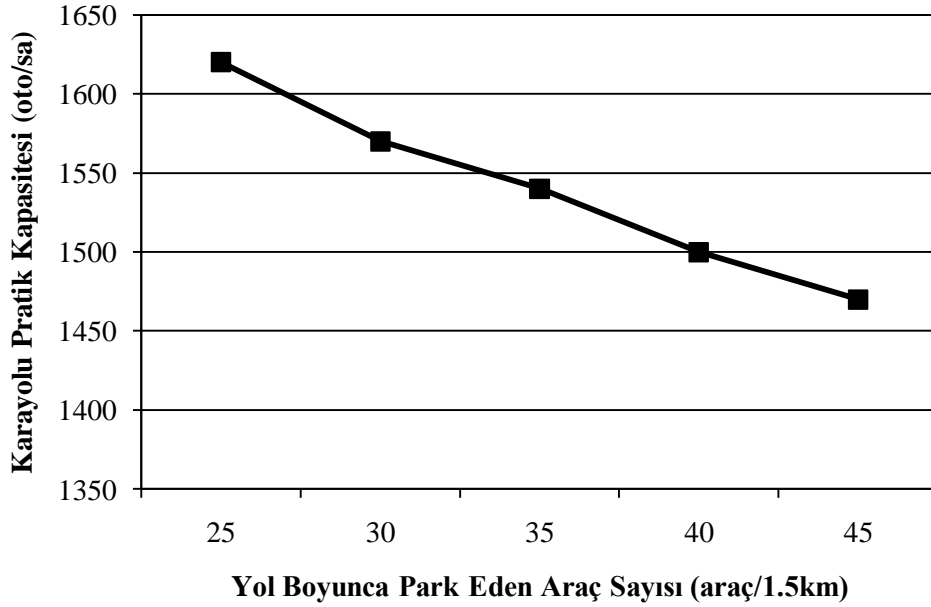


Şekil 4.6. Şerit genişliği-karayolu pratik kapasitesi ilişkisi

Bir başka örnekte çizelge 4.6'da gösterilmektedir. Çizelge 4.6'da şerit genişliği (ŞG) ve boyuna eğim (BE) girdileri sabit değerler alınarak ve park eden araç sayısı (AS) girdisinin değerleri değiştirilerek pratik kapasite (PK) değerleri bulunmaktadır. Çizelge 4.6'daki bu verilerin grafik gösterimi ise şekil 4.7'de yer almaktadır. Şekil 4.7 incelendiğinde, şerit genişliğinin 3m, boyuna eğimin %6 olması durumunda; park eden araç sayısı arttığında pratik kapasite değeri düşmektedir.

Çizelge 4.6. AS-PK (diğer değişkenler sabit) değişim çizelgesi

<u>ŞG</u>		<u>AS</u>		<u>BE</u>		<u>K</u>
3	ve	25	ve	6	ise	1620
3	ve	30	ve	6	ise	1570
3	ve	35	ve	6	ise	1540
3	ve	40	ve	6	ise	1500
3	ve	45	ve	6	ise	1470

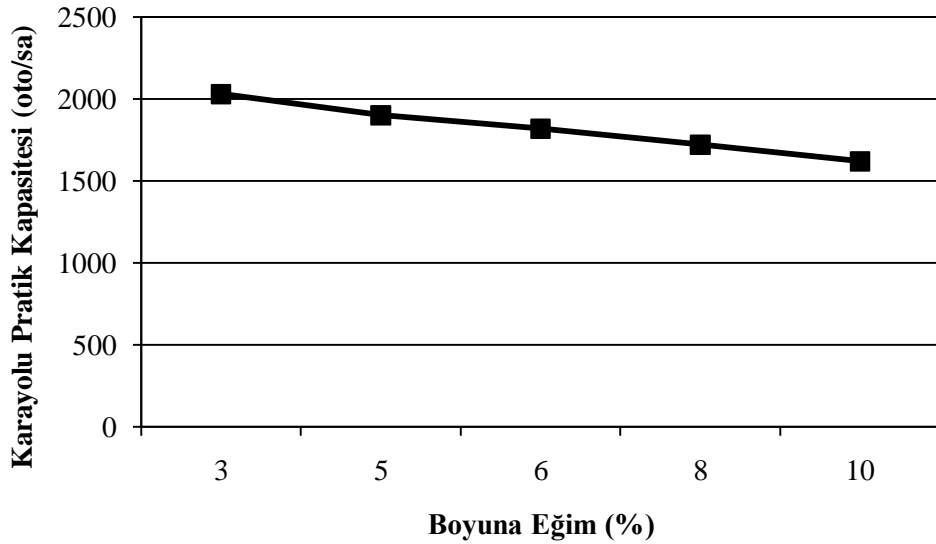


Şekil 4.7. Yol boyunca park eden araç sayısı-karayolu pratik kapasitesi ilişkisi

Diğer bir sayısal örnek ise çizelge 4.7’de gösterilmektedir. Çizelge 4.7’de şerit genişliği (ŞG) ve park eden araç sayısı (AS) girdileri sabit değerler alınarak ve boyuna eğim (BE) girdisinin değerleri değiştirilerek pratik kapasite (PK) değerleri bulunmaktadır. Çizelge 4.7’deki bu verilerin grafik gösterimi ise şekil 4.8’de yer almaktadır. Şekil 4.8 incelendiğinde, şerit genişliğinin 3.6m, park eden araç sayısının 50 olması durumunda; boyuna eğim arttığında pratik kapasite değerü düşmektedir.

Çizelge 4.7. BE-PK (diğer değişkenler sabit) değişim çizelgesi

<u>SG</u>		<u>AS</u>		<u>BE</u>		<u>PK</u>
3.6	ve	50	ve	3	ise	2030
3.6	ve	50	ve	5	ise	1900
3.6	ve	50	ve	6	ise	1820
3.6	ve	50	ve	8	ise	1720
3.6	ve	50	ve	10	ise	1620

**Şekil 4.8.** Boyuna eğim- karayolu pratik kapasitesi ilişkisi

Modeldeki her bir kural için bütün değişkenler sabit alınarak diğer değişkenin pratik kapasiteyle olan ilişkisinin elde edilebileceğini ve bu değişimleri göstermek için binlerce sayısal örnek verilebileceği daha önce anlatıldı. Bu nedenle örnekleri değişik biçimde elde edip incelemek mümkündür.

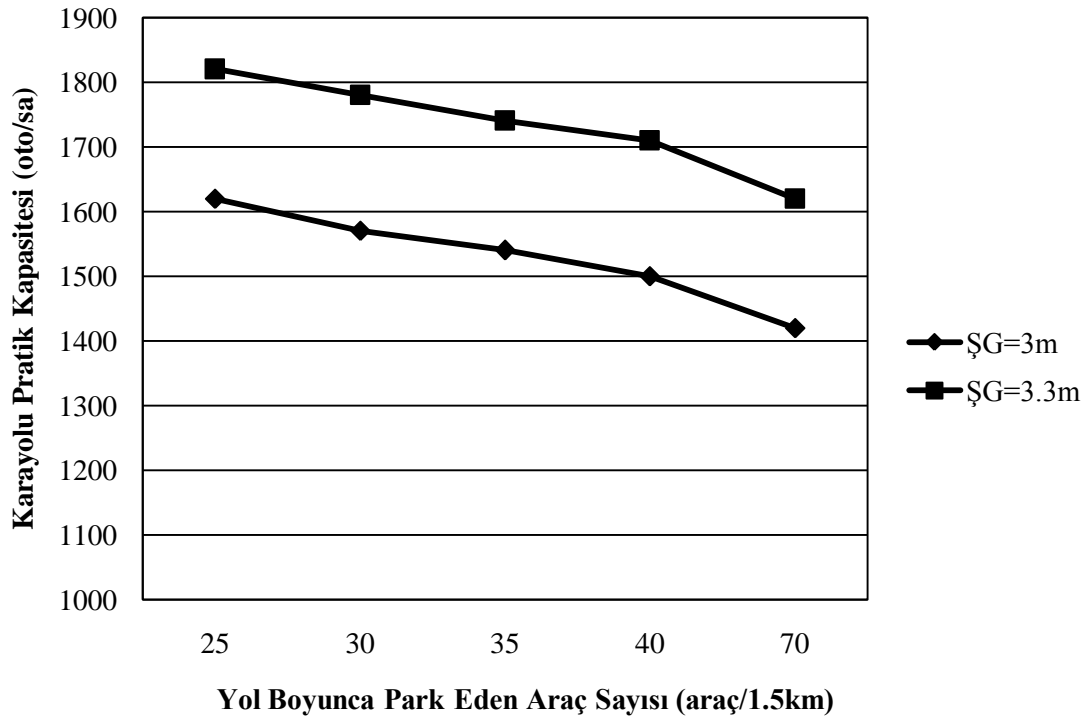
Örneğin; farklı şerit genişlikleri için, park eden araç sayısı ile pratik kapasite arasındaki ilişkiyi gösteren değerler çizelge 4.8a ve çizelge 4.8b’de verilmektedir. Tüm değişken değerleri sabit alınarak, iki farklı şerit genişliği ile pratik kapasite arasındaki ilişkinin karşılaştırılması ise şekil 4.9’da gösterilmektedir. Şerit genişliği 3.3m iken park eden araç sayısının 70 olması durumunda elde edilen pratik kapasite değeri, şerit genişliği 3m iken 25 tane park eden araç olması durumunda elde edilmektedir.

Çizelge 4.8a. AS-PK (diğer değişkenler sabit) değişim çizelgesi

<u>ŞG</u>		<u>AS</u>		<u>BE</u>		<u>K</u>
3	ve	25	ve	6	ise	1620
3	ve	30	ve	6	ise	1570
3	ve	35	ve	6	ise	1540
3	ve	40	ve	6	ise	1500
3	ve	70	ve	6	ise	1420

Çizelge 4.8b. AS-PK (diğer değişkenler sabit) değişim çizelgesi

<u>ŞG</u>		<u>AS</u>		<u>BE</u>		<u>K</u>
3.3	ve	25	ve	6	ise	1820
3.3	ve	30	ve	6	ise	1780
3.3	ve	35	ve	6	ise	1740
3.3	ve	40	ve	6	ise	1710
3.3	ve	70	ve	6	ise	1620

**Şekil 4.9.** Farklı şerit genişlikleri için, Araç sayısı ve pratik kapasite karşılaştırması

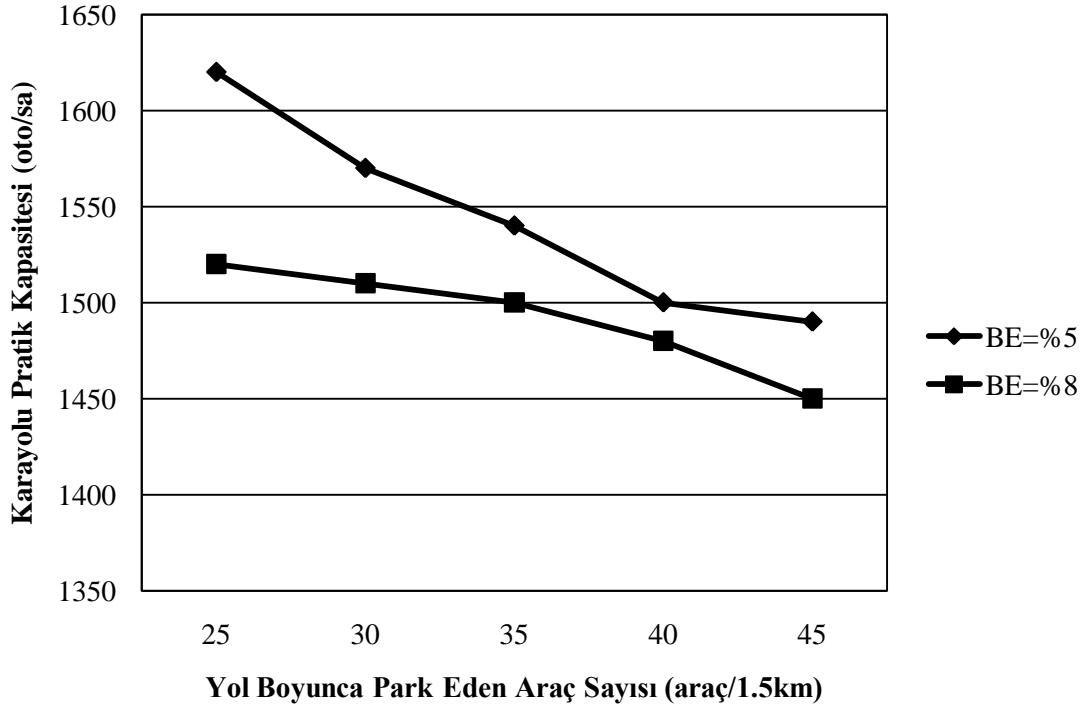
Bir başka örnek ise farklı boyuna eğimler için, park eden araç sayısı ile pratik kapasite arasındaki ilişkidir. Bu ilişkiyi gösteren değerler çizelge 4.9a ve çizelge 4.9b’de verilmektedir. Tüm değişken değerleri sabit alınarak, iki farklı boyuna eğim ile pratik kapasite arasındaki ilişkinin karşılaştırılması ise şekil 4.10’da gösterilmektedir. Boyuna eğim %5 iken park eden araç sayısının 40 olması durumunda elde edilen pratik kapasite değeri, boyuna eğim %8 iken 35 tane park eden araç olması durumunda elde edilmektedir.

Çizelge 4.9a. BE-PK (diğer değişkenler sabit) değişim çizelgesi

<u>SG</u>		<u>AS</u>		<u>BE</u>		<u>PK</u>
3	ve	25	ve	5	ise	1620
3	ve	30	ve	5	ise	1570
3	ve	35	ve	5	ise	1540
3	ve	40	ve	5	ise	1500
3	ve	45	ve	5	ise	1490

Çizelge 4.9b. BE-PK (diğer değişkenler sabit) değişim çizelgesi

<u>SG</u>		<u>AS</u>		<u>BE</u>		<u>PK</u>
3	ve	25	ve	8	ise	1520
3	ve	30	ve	8	ise	1510
3	ve	35	ve	8	ise	1500
3	ve	40	ve	8	ise	1480
3	ve	70	ve	8	ise	1450



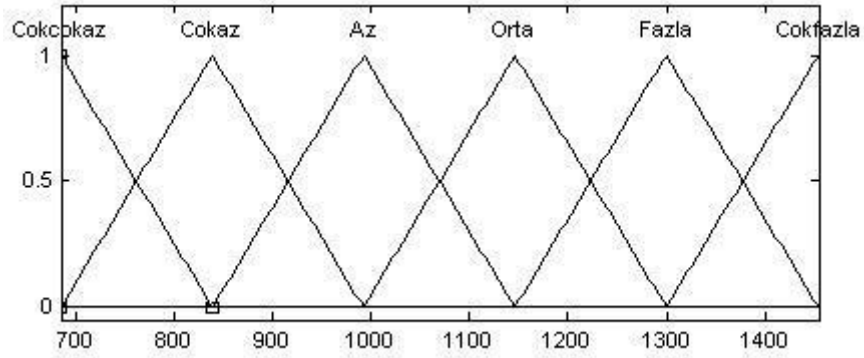
Şekil 4.10. Farklı boyuna eğimler için, Araç sayısı ve pratik kapasite karşılaştırması

C (cadde, bekleme ve park yasağı var, kavşakların kapasitesi iyi) tipi yol sınıflandırması için modelin oluşturulması:

C tipi yolun referans olarak alınmasının nedeni, B tipi yolda olduğu gibi, pratik kapasitede gerekli azaltmalar için, değişkenlerin ayrıca girdi olarak verilmiş olmasıdır.

B tipi yol için oluşturulan modelde olduğu gibi, C (cadde, bekleme ve park yasağı var, kavşakların kapasitesi iyi) tipi yol için oluşturulan modelde de, girdi değişkenleri; şerit genişliği (ŞG), yol kenarında park eden araç sayısı (AS) ve boyuna eğim (BE) olarak ele alınmaktadır. C tipi yol için kullanılacak olan bu girdi değişkenlerinin, bulanık alt kümeleri ve üyelik işlevleri Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te gösterilmektedir.

B tipi yol için oluşturulan modelde olduğu gibi, bu yol tipi için de modelin çıktısı, pratik kapasitedir. Çıktıda pratik kapasite altı bulanık alt kümeye ayrılmaktadır (Çok çok az, Çok az, Az, Orta, Fazla, Çok fazla). Ancak bu iki tip yolun farklı kapasiteye sahip olmaları nedeniyle, Şekil 4.11'de görüldüğü gibi C tipi yol için oluşturulan modelin çıktısının bulanık alt kümeleri, farklı sınır değerlerine sahiptir.



Şekil 4.11. C yol tipi için pratik kapasite (oto/sa) – çıktı

4.3 C Tipi Yol İçin Bulanık Kuralların Elde Edilmesi

Üyelik işlevleri belirlendikten sonra, 54 tane EĞER-İSE bulanık kuralları ‘ve’ bağlacı kullanılarak oluşturulmaktadır. Oluşturulan bu 54 adet kural çizelge 4.10’da gösterilmektedir. Bulanık model oluşturulduktan sonra 54 adet kurala uygun olarak sayısal değerler girerek modelden elde edilen pratik kapasite (PK) ile referans alınan pratik kapasite (RPK) değerlerinin karşılaştırması çizelge 4.11’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.10. C tipi yol için modelin bulanık kuralları

<u>KURAL</u>	<u>SG</u>	<u>ve</u>	<u>AS</u>	<u>ve</u>	<u>BE</u>	<u>ise</u>	<u>PK</u>
1	Dar	ve	Üç	ve	Az	ise	Orta
2	Dar	ve	Beş	ve	Az	ise	Orta
3	Dar	ve	Yirmi beş	ve	Az	ise	Az
4	Dar	ve	Elli	ve	Az	ise	Az
5	Dar	ve	Yüz	ve	Az	ise	Az
6	Dar	ve	İki yüz elli	ve	Az	ise	Çok Az
7	Dar	ve	Üç	ve	Orta	ise	Az
8	Dar	ve	Beş	ve	Orta	ise	Az
9	Dar	ve	Yirmi beş	ve	Orta	ise	Az
10	Dar	ve	Elli	ve	Orta	ise	Çok Az
11	Dar	ve	Yüz	ve	Orta	ise	Çok Az
12	Dar	ve	İki yüz elli	ve	Orta	ise	Çok Az
13	Dar	ve	Üç	ve	Çok	ise	Çok Az
14	Dar	ve	Beş	ve	Çok	ise	Çok Az
15	Dar	ve	Yirmi beş	ve	Çok	ise	Çok Az

16	Dar	ve	Elli	ve	Çok	ise	Çok Az
17	Dar	ve	Yüz	ve	Çok	ise	Çok Çok Az
18	Dar	ve	İki yüz elli	ve	Çok	ise	Çok Çok Az
19	Orta	ve	Üç	ve	Az	ise	Fazla
20	Orta	ve	Beş	ve	Az	ise	Fazla
21	Orta	ve	Yirmi beş	ve	Az	ise	Orta
22	Orta	ve	Elli	ve	Az	ise	Orta
23	Orta	ve	Yüz	ve	Az	ise	Orta
24	Orta	ve	İki yüz elli	ve	Az	ise	Az
25	Orta	ve	Üç	ve	Orta	ise	Orta
26	Orta	ve	Beş	ve	Orta	ise	Orta
27	Orta	ve	Yirmi beş	ve	Orta	ise	Orta
28	Orta	ve	Elli	ve	Orta	ise	Az
29	Orta	ve	Yüz	ve	Orta	ise	Az
30	Orta	ve	İki yüz elli	ve	Orta	ise	Az
31	Orta	ve	Üç	ve	Çok	ise	Az
32	Orta	ve	Beş	ve	Çok	ise	Az
33	Orta	ve	Yirmi beş	ve	Çok	ise	Az
34	Orta	ve	Elli	ve	Çok	ise	Çok Az
35	Orta	ve	Yüz	ve	Çok	ise	Çok Az
36	Orta	ve	İki yüz elli	ve	Çok	ise	Çok Az
37	Geniş	ve	Üç	ve	Az	ise	Çok Fazla
38	Geniş	ve	Beş	ve	Az	ise	Çok Fazla
39	Geniş	ve	Yirmi beş	ve	Az	ise	Fazla
40	Geniş	ve	Elli	ve	Az	ise	Fazla
41	Geniş	ve	Yüz	ve	Az	ise	Fazla
42	Geniş	ve	İki yüz elli	ve	Az	ise	Orta
43	Geniş	ve	Üç	ve	Orta	ise	Fazla
44	Geniş	ve	Beş	ve	Orta	ise	Fazla
45	Geniş	ve	Yirmi beş	ve	Orta	ise	Orta
46	Geniş	ve	Elli	ve	Orta	ise	Orta
47	Geniş	ve	Yüz	ve	Orta	ise	Orta
48	Geniş	ve	İki yüz elli	ve	Orta	ise	Az
49	Geniş	ve	Üç	ve	Çok	ise	Orta

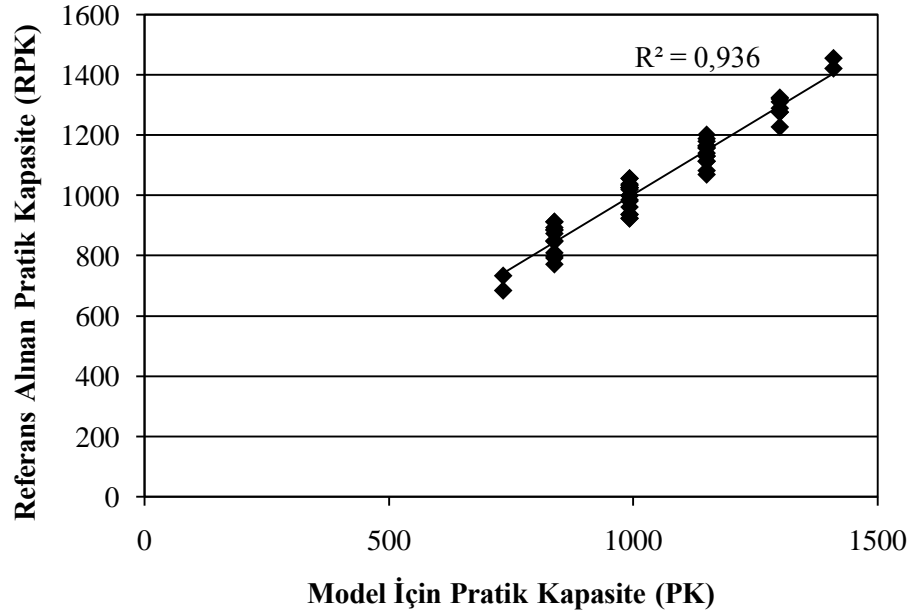
50	Geniş	ve	Beş	ve	Çok	ise	Orta
51	Geniş	ve	Yirmi beş	ve	Çok	ise	Az
52	Geniş	ve	Elli	ve	Çok	ise	Az
53	Geniş	ve	Yüz	ve	Çok	ise	Az
54	Geniş	ve	İki yüz elli	ve	Çok	ise	Çok Az

Çizelge 4.11. C tipi yol için bulanık kuralların sayısal örneklendirilmesi

<u>KURAL</u>	<u>ŞG</u>	<u>ve</u>	<u>AS</u>	<u>ve</u>	<u>BE</u>	<u>ise</u>	<u>RPK</u>	<u>PK</u>
1	3	ve	3	ve	3	ise	1164	1150
2	3	ve	5	ve	3	ise	1130	1150
3	3	ve	25	ve	3	ise	1033	992
4	3	ve	50	ve	3	ise	985	992
5	3	ve	100	ve	3	ise	936	992
6	3	ve	250	ve	3	ise	873	838
7	3	ve	3	ve	6	ise	1056	992
8	3	ve	5	ve	6	ise	1025	992
9	3	ve	25	ve	6	ise	937	992
10	3	ve	50	ve	6	ise	893	838
11	3	ve	100	ve	6	ise	849	838
12	3	ve	250	ve	6	ise	792	838
13	3	ve	3	ve	10	ise	912	838
14	3	ve	5	ve	10	ise	885	838
15	3	ve	25	ve	10	ise	809	838
16	3	ve	50	ve	10	ise	771	838
17	3	ve	100	ve	10	ise	733	733
18	3	ve	250	ve	10	ise	684	733
19	3.3	ve	3	ve	3	ise	1310	1300
20	3.3	ve	5	ve	3	ise	1276	1300
21	3.3	ve	25	ve	3	ise	1179	1150
22	3.3	ve	50	ve	3	ise	1130	1150
23	3.3	ve	100	ve	3	ise	1082	1150
24	3.3	ve	250	ve	3	ise	1019	992
25	3.3	ve	3	ve	6	ise	1188	1150

26	3.3	ve	5	ve	6	ise	1157	1150
27	3.3	ve	25	ve	6	ise	1069	1150
28	3.3	ve	50	ve	6	ise	1025	992
29	3.3	ve	100	ve	6	ise	981	992
30	3.3	ve	250	ve	6	ise	924	992
31	3.3	ve	3	ve	10	ise	1026	992
32	3.3	ve	5	ve	10	ise	999	992
33	3.3	ve	25	ve	10	ise	923	992
34	3.3	ve	50	ve	10	ise	885	838
35	3.3	ve	100	ve	10	ise	847	838
36	3.3	ve	250	ve	10	ise	798	838
37	3.6	ve	3	ve	3	ise	1455	1410
38	3.6	ve	5	ve	3	ise	1421	1410
39	3.6	ve	25	ve	3	ise	1324	1300
40	3.6	ve	50	ve	3	ise	1276	1300
41	3.6	ve	100	ve	3	ise	1227	1300
42	3.6	ve	250	ve	3	ise	1164	1150
43	3.6	ve	3	ve	6	ise	1320	1300
44	3.6	ve	5	ve	6	ise	1289	1300
45	3.6	ve	25	ve	6	ise	1201	1150
46	3.6	ve	50	ve	6	ise	1157	1150
47	3.6	ve	100	ve	6	ise	1113	1150
48	3.6	ve	250	ve	6	ise	1056	992
49	3.6	ve	3	ve	10	ise	1140	1150
50	3.6	ve	5	ve	10	ise	1113	1150
51	3.6	ve	25	ve	10	ise	1037	992
52	3.6	ve	50	ve	10	ise	999	992
53	3.6	ve	100	ve	10	ise	961	992
54	3.6	ve	250	ve	10	ise	912	838

Referans verileri ile elde edilen pratik kapasite (RPK) değerleri ile model tarafından bulunan pratik kapasite değerleri (PK) arasındaki R-Kare dağılımı Şekil 4.12’ de gösterilmektedir.

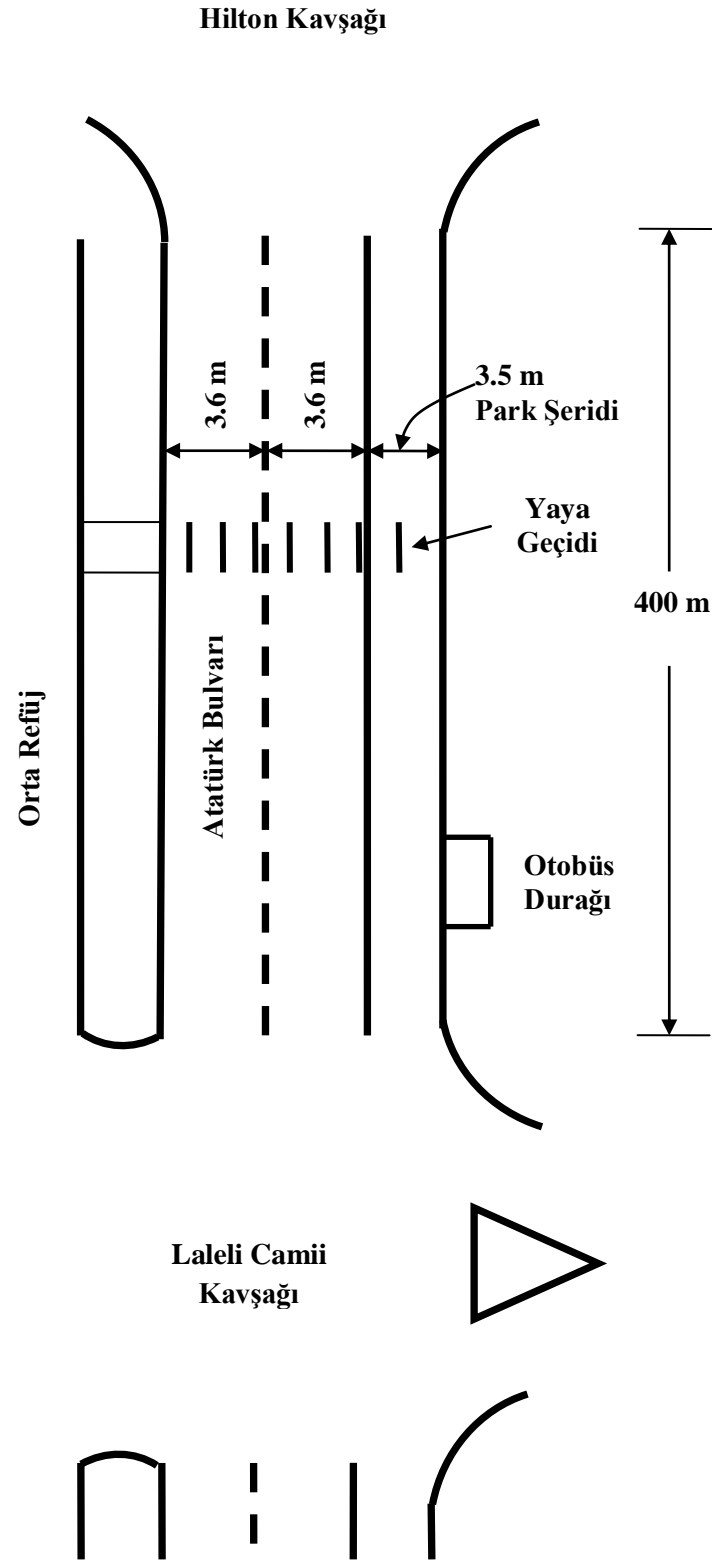


Şekil 4.12. C yol tipi için model sonuçlarının R-Kare dağılımı

C tipi yol için oluşturulan modele bir uygulama çalışması:

Oluşturulan modele örnek vermek amacıyla Kütahya şehir merkezindeki bir karayolunun 400 m'lik bir kesimi seçildi. Seçilen bu yol kesiminin kapasitesini ölçmek mümkün olmayacağı için trafiğin en fazla olduğunu gözlemlediğimiz, serbest akışın devam ettiği 18.04.2009 tarihinde 18:00-19:00 saatleri arasındaki trafik hacmi ölçüldü. Bu yolun boyuna eğimi %3, iki şeritli ve şerit genişlikleri 3.6 m'dir. Ayrıca, yolda 3.5 m park şeridi bulunmaktadır.

Bu yolun özelliği günün her saatinde yol kenarı park yerlerinin dolu olması, hatta trafik şeridinin de park olarak kullanılmasıdır. Oldukça etkili yaya geçişleri bulunmaktadır. Yaya geçiş sıklığı 400 metrede 5 tanedir. Şekil 4.13'de bu çalışma yapılan yol kesiminin şematik görüntüsü yer almaktadır. Kavşaklar arası seçilen bu yol kesiminde toplu taşıma için kullanılan otobüs durakları kavşaklara çok yakın yer almaktadır (30m).



Şekil 4.13. Uygulama yapılan yolun şematik gösterimi

Yapılan ölçüm sırasında bu yol kesiminde (400 m) 52 araç park halinde bulunmaktadır. Açık ve kuru bir havada yapılan ölçüm sonucu bu yol kesiminde hacim 994 oto/sa olarak elde edilmektedir. Hacim değeri hesaplanırken 1 ağır taşıt 2.5 birim yolcu otomobil olarak eşleştirilmektedir.

C tipi yol için oluşturulan model, uygulamada kullanılacak özelliklere sahip bir karayolunun kapasitesini 1300 oto/sa olarak bulmaktadır. Ancak ölçümler bu yol kesiminden saatte 994 otomobil geçtiğini göstermektedir. Yani arada 306 oto/sa fark bulunmaktadır.

Ölçümler sonucu elde edilen bu 994 oto/sa'lık değer, modelde elde edilen kapasiteden daha az olmasının nedeni, gerçek durumda yolun kapasitesine birçok değişkenin etki etmesidir. Oluşturulan modelde sadece şerit genişliği (ŞG), yol kenarında park eden araç sayısı (AS) ve boyuna eğim (BE) girdi olarak alınmaktadır. Gerçek koşullarda ise bir karayolunun kapasitesini sadece bu üç değişken (şerit genişliği, yol kenarında park eden araç sayısı ve boyuna eğim) değil birçok değişken etkilemektedir. Ancak model sadece bu üç değişkenin etkisini dikkate alarak kapasiteyi hesaplamaktadır.

Uygulama amacıyla ölçümü yapılan bu karayolu kesiminde oldukça fazla yaya geçişlerinin olması, yolcu otobüslerinin duruklara giriş çıkışları, bazı durumlarda araçların çift sıra park etmesi, sürücülerin davranışları ve orta refüjün 15cm 'den fazla olması gibi etmenlerde bu karayolunun kapasitesinin gerekenden az çıkmasına neden olmaktadır. Açıklanan bu değişkenler şekil 4.14 ve şekil 4.15'te gösterilmektedir.



Şekil 4.14. Uygulama yapılan yoldaki otobüs durakları



Şekil 4.15. Uygulama yapılan yoldaki yaya geçitleri

Uygulamadan da anlaşılacağı gibi, modele karayolunun kapasitesine etki eden birçok değişken girdi olarak verilebilir. Ancak bu şekilde, karayolunun kapasitesi gerçeğe daha yakın bulunur.

5. SONUÇLAR

Şehiriçi karayollarındaki trafik sorunları dünyada olduğu gibi ülkemizde de en önemli ve çözülmesi gereken problemlerin başında gelmektedir. Bu nedenle karayollarından en verimli şekilde yararlanılması gerekmektedir. Bunu sağlamanın yolu ise; o karayolunun kapasitesinde çalışmasının sağlanmasıdır.

Şehiriçi karayollarının kapasitesi, şerit genişliği, şerit sayısı, boyuna eğim, yan açıklık, yüzey koşulları, yaya kaldırımı ve orta refüj yüksekliği, yardımcı şeritler, yoldaki trafik özellikleri ve denetim koşulları gibi birçok değişkene ve ölçülemeyen yaya ve sürücü davranışlarına bağlıdır. Karayolunun kapasitesi bu değişkenlerin farklı değerleri için farklı sonuçlar vermektedir.

Kolay ve ucuz maliyetlerle karayolunun kapasitesini arttırmak mümkündür. Örneğin yaya kaldırımı ve orta refüj sürücüler tarafından bir yan engel olarak algılandığında ve yan engel yüksekliği 15cm'den fazla olduğunda sürücüyü etkilediğine göre, yaya kaldırımı ve orta refüj yüksekliğini 15cm'yi aşmayacak şekilde yaptığımızda kapasiteyi azaltmamış olacağız.

Kapasite üzerinde oldukça önemli oranda etkiye sahip olduğunu gözlemlediğimiz ancak ölçülmesi oldukça zor olan yaya davranışları içinde basit önlemler almak mümkündür. Yayaların çok olduğu alanlarda kontrolsüz yaya çıkışları engellenebilir ve yaya geçiş noktaları arasındaki mesafe düzenlenebilir.

Karayollarında şerit genişliği kapasiteyi etkilemektedir. Şerit genişliği için ideal değer 3.65m olarak verilmektedir. Ancak bu genişlikten sonraki değerler için kapasite değişmemektedir. Bu nedenle karayolu tasarımında şerit genişliği doğru bir şekilde hesaplanmalı ve yolun özelliğine göre gerekli genişlikte yapılmalıdır.

Şerit genişliği kapasitenin sürekli bir fonksiyonu değildir. Bu nedenle karayolu tasarımında şerit genişliğini attırmak yerine imkânı varsa şerit sayısının artırılması kapasiteyi arttıracaktır.

Boyuna eğim, karayollarının kapasitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Özellikle şehiriçi yollarda boyuna eğimin %10 olması durumunda kapasite yaklaşık %24 oranında düşmektedir. Boyuna eğim, kapasiteyi daha çok trafikte ağır taşıt oranının fazla olması durumunda etkilemektedir. Bu nedenle eğimin fazla olduğu şehiriçi yollarda ağır taşıt yasağı getirilebilir.

Karayolundaki ağır taşıt oranı da kapasiteyi etkilemektedir. Bu nedenle özellikle trafiğin çok yoğun olduğu zirve saatlerde, şehiriçi yollarda ağır taşıt yasağı getirilerek kapasitenin azalması önenebilir.

Şehiriçi yollarda özellikle park şeritleri iyi tasarlanmalı ve park etme kuralları benimsenmelidir. Çünkü park halindeki araçlar karayolunun kapasitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Şehiriçi yollarda park halindeki araçlar sürücüler tarafından yan engel olarak algılanmakta ve yan engel mesafesinin 1.80m'den az olması durumunda kapasite azalmaktadır. Bu durum, sürücülerin bu engellerle karşılaştıkları ilk anda, karayolunun iç tarafındaki şeritlere doğru kaymalarına neden olmaktadır. İşte bu nedenlerle park şeritleri iyi bir şekilde düzenlenmeli, sürücülere park yapma kuralları benimsetilmelidir.

Karayollarının, bozulmuş, kötü bakımlı kaplama gibi yüzey koşullarına sahip olmaları özellikle hız, konfor, taşıt işletme maliyeti ve güvenliği olumsuz yönde etkilemektedir. Bunun sonucunda ise yolun bozulma derecesi ile orantılı olarak kapasite ve hizmet düzeyinde azalma olmaktadır. Bu nedenle, kapasitenin azalmasını engellemek için, yolların yüzey özelliklerini sürekli olarak gözden geçirmek ve bakımları yapmak gerekir.

Karayollarındaki yönetim ve denetim koşulları ile yaya ve sürücülerin davranışları kapasiteyi etkilemektedir. Karayolunda, işaretlemelerin yeterliliği, denetimin bulunması ile sürücü ve yayaların kurallara uyma dereceleri ve trafikteki davranışları da kapasiteyi olumlu veya olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle karayolunda iyi bir denetim teşkil edilmeli ve sürücü ile yayaların kurallara uymaları için trafik eğitimine önem verilmelidir.

Bu çalışma kapsamında yukarıda sayılan değişkenlerden şerit genişliği, boyuna eğim ve yol kenarında park eden araç sayısı dikkate alınmıştır. Sadece bu değişkenlerin alınmasının nedeni ise yalnız bu değişkenler ile ilgili sayısal verilere ulaşılmış olmasıdır.

Çalışmada, birden fazla belirsizlik içeren değişkenlerin, birbirlerine etkilerini sayısallaştırabilen bulanık mantık yöntemi kullanılmıştır. Bulanık mantık yöntemi kullanılarak iki şeritli, tek yönlü ve çıkış eğimli şehiriçi karayollarında kapasiteye etki eden değişkenlerin değişik değerleri için farklı kapasite değerleri bulunmuştur. Bu değerler, referans kaynaklardaki değerlere oldukça yakın elde edilmektedir.

Modelin getirdiği yararlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Karayolunun kapasitesini etkileyen değişkenler birlikte değerlendirilmektedir.

- Karayolu kapasitesini belirlemede, sayısal değerleri kullanmadan sadece bulanık kavramları kullanarak sorunlara çözüm getirilmektedir.
- Mevcut şehirçi karayollarının geometrik değişkenleri, karayolu kapasitesi bağlamında değerlendirilebilir. Kullanılmakta olan yolda karayolu kapasitesini etkileyen değişken bulunabilir ve modelde bulunan değişkenlerden kaynaklanan sorunlar ortadan kaldırılıp kapasite arttırılabilir.
- Eğer yeni bir şehirçi karayolu tasarlanacak ise sadece modelde kullanılan değişkenlerin farklı değerleri için kapasitenin ne olması gerektiği hakkında bilgi sahibi olunabilir.
- Ulaştırma yatırımları pahalıdır. Gelişmekte olan ülkeler geometrik standartları talebe göre karşılamaktadır. Bu nedenle kapasitenin en verimli şekilde kullanılması için geometrik standartların ne olması gerektiği belirlenerek ülke ekonomisine kazanç sağlanabilir.

Geleceğe yönelik öneriler:

Karayolu kapasitesini birçok değişken etkilemektedir. Bu nedenle bu modele gelecekte farklı değişkenler eklenebilir. Örneğin; şerit sayısı, yüzey koşulları, yoldaki denetim koşulları gibi değişkenler ile model geliştirilebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Yılmaz, E., 2000, Karayolu Geometrik Standartları İle Karayolu Güvenliği ve Kapasitesi İlişkileri, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul
- [2] Yayla, N., 2006, Karayolu Mühendisliği, Birsen Yayınevi, İstanbul, 285s.
- [3] Hans, A. Adler, 1987, Economic Appraisal of Transportation Projects, World Bank, E.D.I. Series in Economic Development, January, 235 p.
- [4] Bağırhan, N., 2006, Şehirlerarası Karayollarında Trafik Güvenliği Tahmini, Doktora Tezi, SDÜ, Isparta
- [5] Leong, H.J.W., 1968, Distribution and Trend of Free Speed on Two Lane Two Way Rural Highways in New South Wales, Proc. 4th ARRB Conf., Part 1, Australian Road Research Board, 791-814
- [6] Chakroborty, P., Kikuchi, S., 1990, Application of Fuzzy Set Theory to the Analysis of Capacity and Level of Service of Highways, IEEE, 146-150
- [7] Ensari, N.K., 1993, Yol Geometrik Standartlarının Yol Güvenliğine ve Kapasiteye Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul
- [8] Chandra, S., Kumar, U., 2003, Effect of Lane Width on Capacity Under Mixed Traffic Conditions in India, Journal of Transportation Engineering, ASCE, 155-160
- [9] Highway Capacity Manual (HCM), 2000, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
- [10] Highway Capacity Manual, 1965, (Çev. C.C. Yalgın), Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, 523s.
- [11] Highway Capacity Manual (HCM), 1994, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
- [12] Sonuç, T., 1983, Karayolu Tekniği Cilt-1, Birsen Yayınları, İstanbul
- [13] Roadway Capacity, Guide to Traffic Engineering Practice, Part 2, Austroads, 1988
- [14] Yol Güvenliği Esasları, 1980, A.B.D. Ulaştırma Dairesi, Teksas, Mayıs, 696s.
- [15] Şen, Z., 2004, Mühendislikte Bulanık Mantık İle Modelleme Prensipleri, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 191s.
- [16] Elmas, Ç., 2003, Bulanık Mantık Denetleyiciler, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 230s.
- [17] Altrock, C.V., 1995, Fuzzy Logic and Neuro Fuzzy Applications Explained, Prentice Hall, ISBN 0-13-368465-2

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [18] Murat, Y.Ş., 2004, Ulaştırma-Trafik Mühendisliğinde Yeni Yöntemler: Bulanık Mantığı Tekniği Uygulamaları, TMH,Sayı-429,53-59
- [19] Zadeh, L., 1965, Fuzzy Sets, Information and Control, 8, 338-353
- [20] Ross, J. T.,1995, Fuzzy Logic with Engineering Applications., McGraw-Hill, Inc.,New York, 593p.
- [21] Teodorovic, D., Vukadinovic, S., 1998, Traffic Control and Transport Planning Kluwer Academic Publishers.
- [22] Şen, Z., 1999, Mühendislikte Bulanık Modelleme İlkeleri, İTÜ, (yayınlanmamış)
- [23] TS 12008,1996, Şehirçi Yollar-Trafik Hizmet Seviyesi ve Yol Kapasiteleri, TSE
- [24] Uludağ, N., 2005, Ulaşım Ağlarında Rota Seçim Probleminin Bulanık Mantık ile Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli

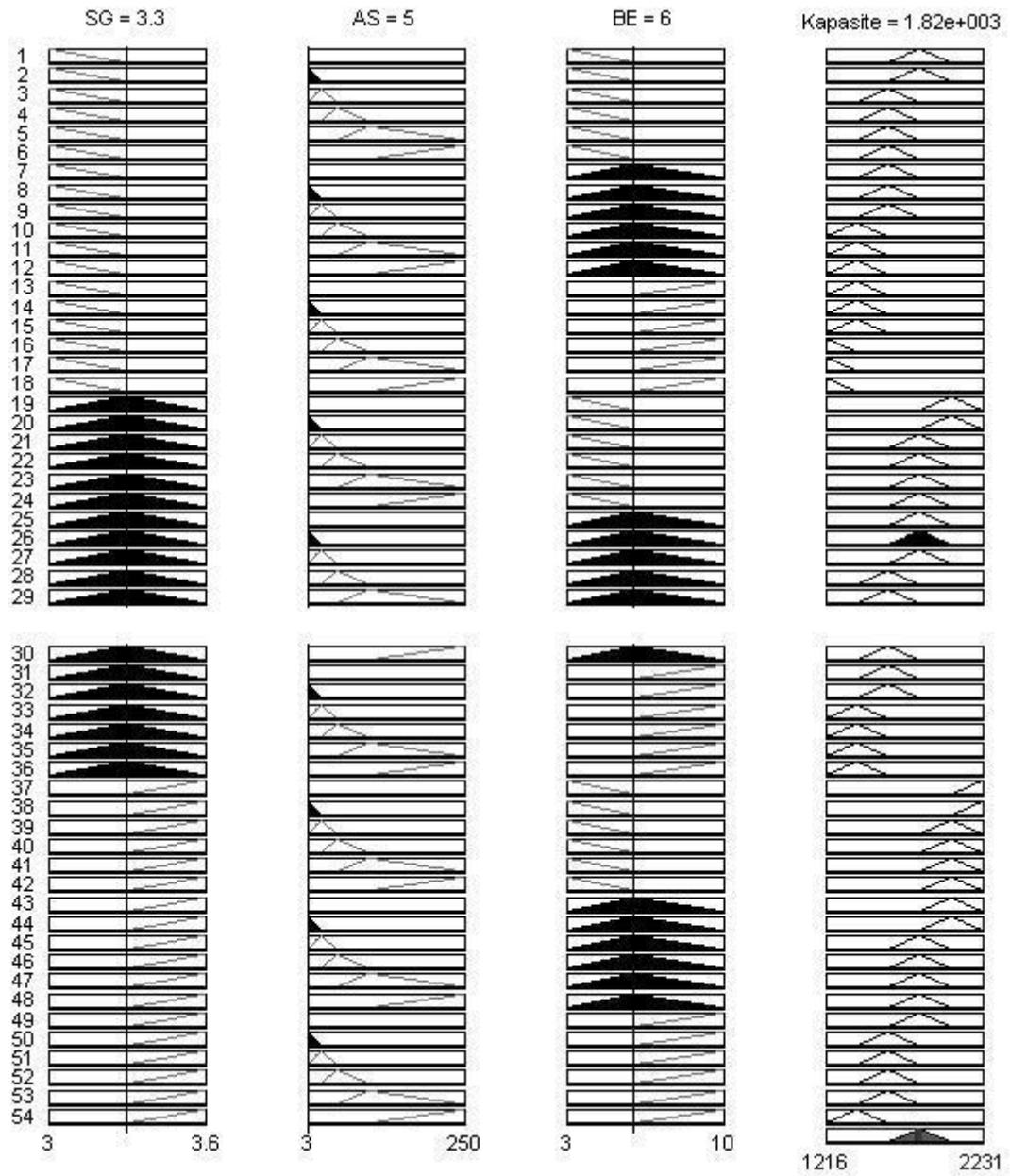
EKLER

EK 1: B Tipi Yol İçin 26. Kuralın Grafik Gösterimi

B Tipi Yol İçin hazırlanan modelde 26. kural için grafik gösterimi aşağıda verilmektedir.

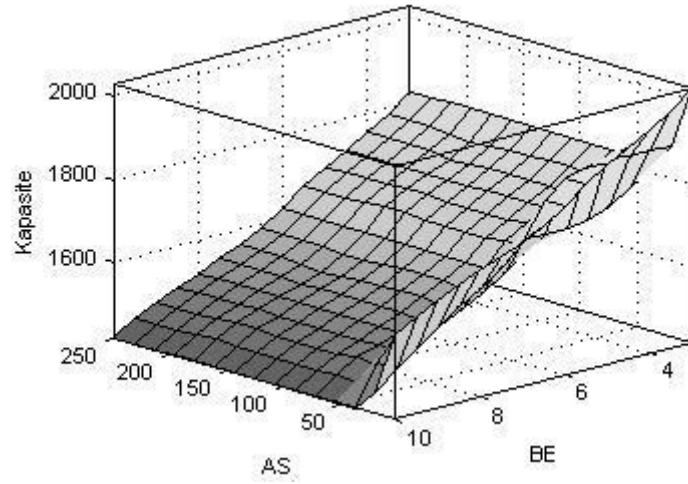
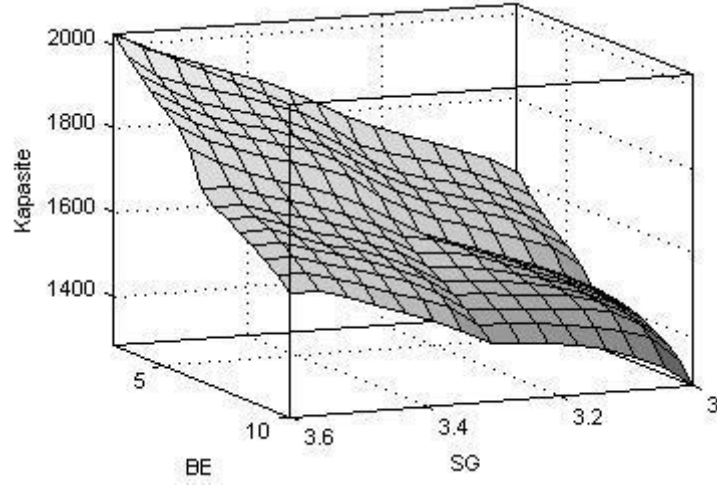
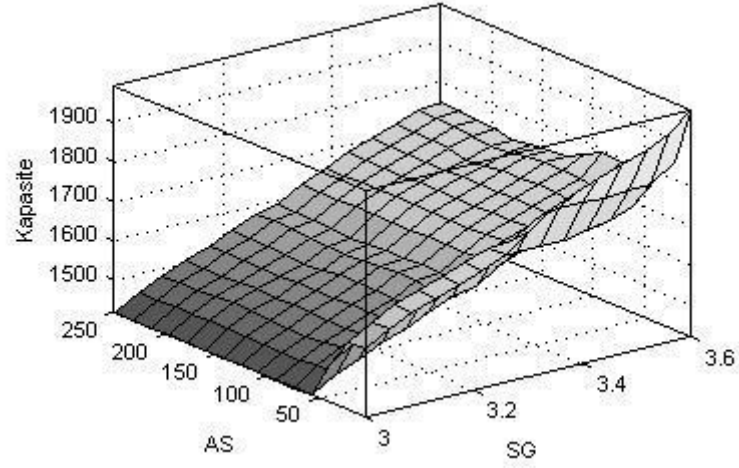
Kural 26: **EĞER** ŞG Orta **ve** BE Orta **ve** AS Beş **İSE** K Orta'dır.

Bu kuralın durulaştırılmış değeri model tarafından 1820 oto/sa olarak elde edilmektedir.



EK 2: B Tipi Yol için Değişkenler ile Kapasite Arasındaki İlişki

Girdi değişkenleri ile kapasite arasındaki ilişkiler aşağıda gösterilmektedir.

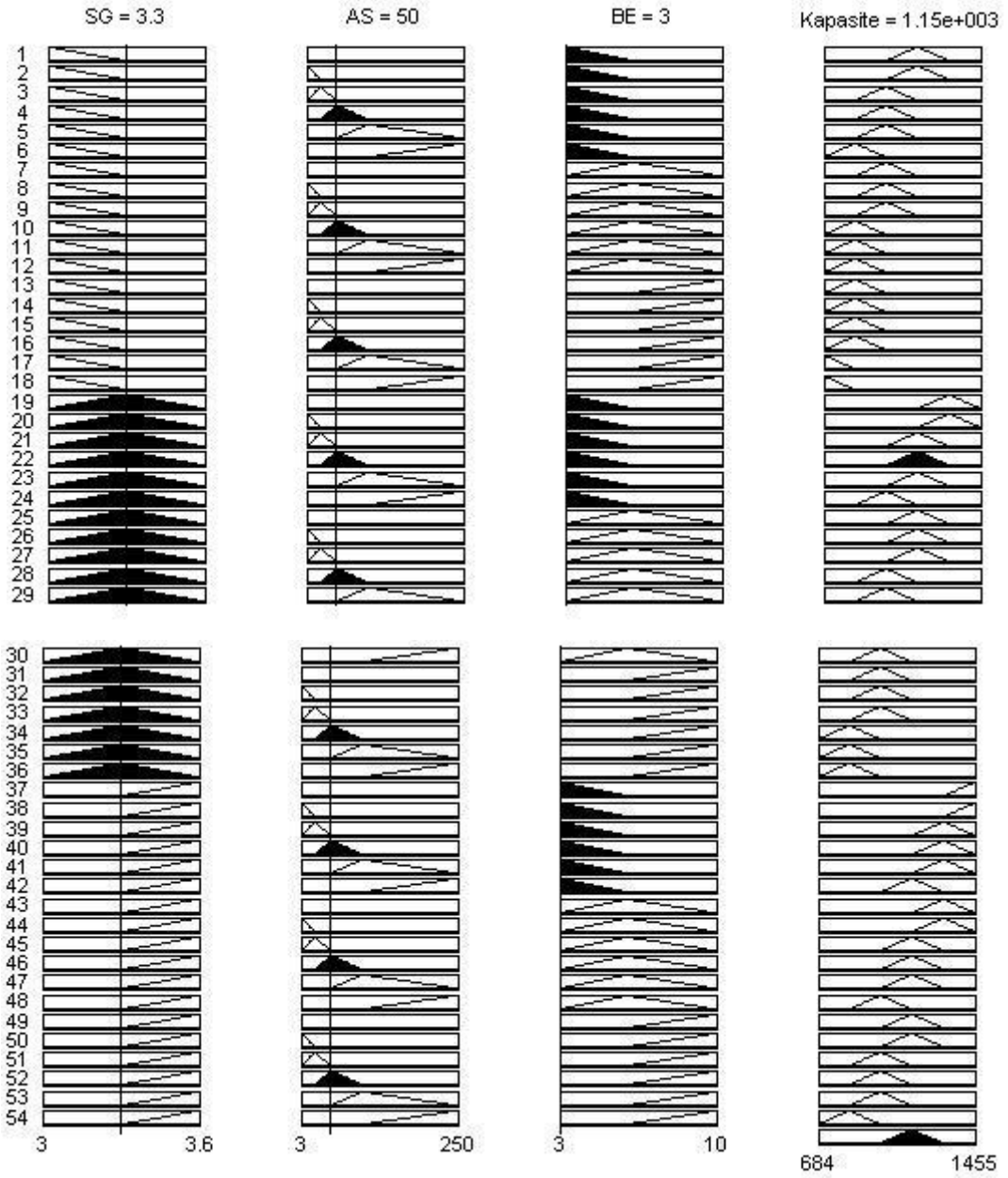


EK 3: C Tipi Yol İçin 22. Kuralın Grafik Gösterimi

C Tipi Yol İçin hazırlanan modelde 22. kural için grafik gösterimi aşağıda verilmektedir.

Kural 22: **EĞER** ŞG Orta ve BE Az ve AS Elli **İSE** K Orta'dır.

Bu kuralın durulaştırılmış değeri model tarafından 1150 oto/sa olarak elde edilmektedir.



EK 4: C Tipi Yol için Değişkenler ile Kapasite Arasındaki İlişki

Girdi değişkenleri ile kapasite arasındaki ilişkiler aşağıda gösterilmektedir.

