

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

**ULAŞIM AĞLARINDA ROTA SEÇİM  
PROBLEMİNİN BULANIK MANTIK İLE  
MODELLENMESİ**

**Nurcan ULUDAĞ**

**Yüksek Lisans Tezi**

**DENİZLİ-2005**

**ULAŞIM AĞLARINDA ROTA SEÇİM  
PROBLEMİNİN BULANIK MANTIK İLE  
MODELLENMESİ**

**Pamukkale Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Taraından Kabul Edilen  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**Nurcan ULUDAĞ**

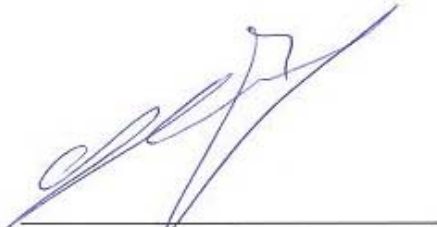
**Tez Savunma Sınavı Tarihi: 04.08.2005**

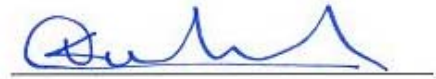
**DENİZLİ-2005**

## TEZ SINAV SONUÇ FORMU

Bu tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

  
Yrd.Doç.Dr. Y.Şazi MURAT  
(Yönetici)

  
Yrd.Doç.Dr. Nesrin BAYKAN  
(Jüri Üyesi)

  
Yrd. Doç.Dr. Osman Kulak  
(Jüri Üyesi)

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet Ali SARIGÖL  
Müdür  
Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasındaki yardım ve katkıları nedeniyle danışmanım Yrd.Doç. Dr.Y. Şazi MURAT' a teşekkür ediyorum.

Tez sırasında yardımlarını esirgemeyen İnş. Yük. Müh. Dr. Betül SAF'a, Bilg. Müh. Ekrem ULUDAĞ'a, İnş. Yük. Müh. Mutlu YAŞAR'a, İnş. Yük. Müh. Mahmut FIRAT'a, İnş. Yük. Müh. Özgür BAŞKAN'a, Çevre Yüksek Müh. Meltem Bilici BAŞKAN'a, Yük. Mimar Gözde KAN ÜLKÜ'ye teşekkür ediyorum.

Ayrıca, tez çalışmam boyunca gösterdikleri sonsuz destek için aileme ve İnş Müh. Özgür ÖZKUL' a teşekkür ediyorum.

**Nurcan ULUDAĞ**

## ÖZET

Günlük yaşamın önemli bir parçası olan seyahat aktivitesi, ulaşım türü (mod) ve güzergah (rota) seçimiyle ilgili olarak verilen kararlar sonucu biçimlenmektedir. Rota seçim problemi, bir çok parametrenin değerlendirilerek, bireysel fayda en büyüklemesinin sağlanabilmesine yönelik oldukça kompleks bir problem olup, oluşturulacak modelin verimliliği, bireysel rota davranışının gerçekçi olarak yakalanabilmesine bağlıdır. Özellikle toplu taşımacılık yerine, özel araç kullanımını tercih eden yol kullanıcıları için doğru rota seçim kararı elde edecekleri fayda üzerinde son derece etkilidir. Trafik planlayıcıları için de rota seçimi, verimli ve başarılı bir trafik atama sistemi oluşturmak adına oldukça önemlidir.

Bu çalışmanın amacı, Denizli ilinde belirlenmiş olan önemli bir yol ağındaki rota seçim problemini, yapılan anket çalışması sonucu elde edilen gerçek veriler kullanılarak bulanık olarak modellemektir. Çalışmada, rota seçim davranışı üzerinde etkili olan en önemli dört parametre, Seyahat süresi, Trafik güvenliği, Tıkanma olasılığı ve Çevresel etki değerlendirmeleri, kullanılarak bulanık mantık modeli oluşturulmuştur. Çalışmada, rota seçim davranışının hassassızlık, belirsizlik ve kesinsizlik niteliklerini modelleyebilme yeteneğine sahip olan Bulanık Model kabullerinden yararlanılmıştır.

Geliştirilen Bulanık Mantık modeli, lojistik regresyon modelleri ile karşılaştırılmış ve gerçek değerlere en yakın sonuçlar BM modeli ile elde edilmiştir.

## ABSTRACT

Trip patterns are a very important part of daily life which are defined according to the decisions about route choice and mode choice. As the route choice is a complex problem with many parameters to maximize the individual benefit, the effectiveness of a route choice model depends on well-understanding of the route choice behaviour. Especially for the personal travels instead of public transportation, the right route choice decision is very important for the road users to get the highest benefit and for traffic planners to form the effective traffic assignment.

The purpose of this study is to model the route choice problem of an important network defined in Denizli with Fuzzy Logic, by using the real data gained by a survey. A fuzzy logic model, that uses the four most important parameters of route choice behaviour; Travel time, Traffic safety, Congestion and Environmental affects is proposed. In this study, fuzzy logic concepts are used to take the note of imprecision , vagueness and uncertainty characteristics of route choice behaviour.

The proposed fuzzy logic model in this study is compared with Logistic Regression Models and the closest results to the real ones are obtained with Fuzzy Logic Model.

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
Tez Sınav Sonuç Formu.....	III
Teşekkür.....	IV
Özet.....	V
Abstract.....	VI
İçindekiler.....	VII
Şekiller Dizini.....	X
Çizelgeler Dizini.....	XII
Simgeler Dizini.....	XIII

## BİRİNCİ BÖLÜM

### GİRİŞ

1. GİRİŞ	1
1.1 Genel.....	1
1.2 Amaç.....	2
1.3 Kapsam.....	2

## İKİNCİ BÖLÜM

### ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
2.1 Genel.....	4

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### ROTA SEÇİMİ

3.	ROTA SEÇİMİ .....	12
3.1	Rota Seçim Modelleri .....	13
3.1.1	Multinomial Probit Model (MNP) .....	16
3.1.2	Multinomial Logit Model .....	17
3.1.3	Tree Logit (Nested Logit).....	19
3.1.4	C -logit .....	21
3.1.5	Paired Combinatorial Logit(PCL).....	22
3.1.6	Cross Nested Logit(CNL).....	23
3.1.7	Generalised Nested Logit (GNL).....	24
3.2	Lojistik Regresyon.....	25
3.2.1	Lojistik Regresyonun Kurulması.....	26

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

### BULANIK MANTIK TEKNİĞİ

4.	BULANIK MANTIK TEKNİĞİ .....	27
4.1	Genel .....	27
4.2	Bulanık Mantığın Tarihçesi .....	28
4.3	Klasik Küme Teorisi .....	29
4.4	Bulanık Küme Teorisi .....	30
4.4.1	Bulanık küme işlemleri .....	32
4.4.2	Bulanık küme ilişkileri .....	33
4.4.3	Üyelik Fonksiyonları .....	35
4.4.3.1	Üyelik fonksiyonunun kısımları .....	36
4.4.4	Bulanıklaştırma .....	39
4.4.5	Üyelik derecesi atanması .....	40
4.4.6	Bulanık kural tabanı .....	41
4.4.6.1	Bulanık kuralların harmanlanması .....	43
4.4.6.2	Kural tabanlı sistemler .....	44



4.4.7	Grafik çıkarım teknikleri .....	44
4.4.8	Durulaştırma .....	51
4.4.8.1	Ağırlık merkezi (Sentroid) yöntemi .....	52
4.4.8.2	En Büyük Üyelik İlkesi (Yükseklik İlkesi).....	53
4.4.8.3	Ağırlıklı ortalama yöntemi .....	54
4.4.8.4	Ortalama En Büyük Üyelik (En Büyüklerin Ortası) yöntemi .....	54
4.4.8.5	Toplamların Merkezi Yöntemi .....	55
4.4.8.6	En büyük alanın merkezi yöntemi .....	56
4.4.8.7	En büyük ilk veya son üyelik derecesi .....	56

## BEŞİNCİ BÖLÜM

### BULANIK MANTIK ROTA SEÇİM MODELİ

5.	BULANIK MANTIK ROTA SEÇİM MODELİ .....	58
5.1	Verilerin Anket Çalışması ile Elde Edilmesi .....	58
5.1.1	Anket Çalışmasının Hazırlanması .....	58
5.1.2	Anket Sonuçları.....	59
5.2	Verilerin Bulanık Modellemesi .....	70
5.2.1	Bulanık Model Parametreleri.....	70
5.2.2	Üyelik Fonksiyonlarının Belirlenmesi.....	71
5.2.3	Bulanık Kural Tabanının Oluşturulması.....	74
5.2.4	Bulanık Çıktının Durulaştırılması.....	76
5.2.5	Bulanık Model Sonuçları.....	77

## ALTINCI BÖLÜM

### SONUÇLAR ve ÖNERİLER

6.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	80
6.1	Sonuçlar.....	80
6.2	Öneriler.....	81

Kaynaklar.....	82
Özgeçmiş.....	87
Ekler.....	88

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1	Keskin A kümesinin gösterimi .....	30
Şekil 4.2	Bulanık A kümesinin elemanları ve üyelik dereceleri.....	31
Şekil 4.3	Bulanık küme işlemleri .....	32
Şekil 4.4	Karşılıklı Çizgi (Sagittal) diyagramı .....	33
Şekil 4.5	Bulanık küme.....	36
Şekil 4.6	Üyelik fonksiyonu kısımları.....	37
Şekil 4.7	Bulanık kümeler .....	38
Şekil 4.8	Bulanık kümeler .....	39
Şekil 4.9	Dış bükey bulanık kümelerin kesişimi .....	39
Şekil 4.10	Duyarlılık (prezisyon) (a) bulanık (b) klasik .....	40
Şekil 4.11	EB-EK çıkarımı.....	46
Şekil 4.12	EB-Çarpım çıkarımı.....	48
Şekil 4.13	Bulanık girişlerle EB-EK çıkarımı.....	49
Şekil 4.14	Bulanık girişlerle EB-çarpım çıkarımı.....	50
Şekil 4.15	Bir bulanık küme çıktısı (a)bulanık girdi ilk kısım (b)bulanık girdi ikinci kısım (c) ikisinin birleşimi.....	52
Şekil 4.16	Ağırlık merkezi yöntemi ile durulaştırma.....	53
Şekil 4.17	En büyük üyelik derecesi yöntemi ile durulaştırma.....	53
Şekil 4.18	Ağırlıklı ortalama yöntemi ile durulaştırma.....	54
Şekil 4.19	Ortalama en büyük üyelik yöntemi ile durulaştırma .....	55
Şekil 4.20	Toplamların merkezi yöntemi ile durulaştırma.....	55
Şekil 4.21	En büyük alanın merkezi yöntemi ile durulaştırma.....	56
Şekil 4.22	En büyük ilk veya son üyelik derecesi durulaştırma .....	57
Şekil 5.1	Güzergah Seçiminde Etkili Parametrelerin Yüzdeleri .....	59
Şekil 5.2	Kampus'den Çınar'a Güzergah Seçim Sonuçları .....	60
Şekil 5.3	Çınar'dan Kampus'e Güzergah Seçim Sonuçlar .....	60

Şekil 5.4	Kampus'den Çınar'a Güzergahların Ortalama Seyahat Süreleri .....	61
Şekil 5.5	Çınar'dan Kampus'a Güzergahların Ortalama Seyahat Süreleri .....	62
Şekil 5.6	Kampus'dan Çınar'a Güzergah Seçiminde Etkili Parametreler.....	62
Şekil 5.7	Çınar'dan Kampus'a Güzergah Seçiminde Etkili Parametreler.....	63
Şekil 5.8	Kampus'dan Çınar'a Tıkanıklık Durumunda Güzergah Değişimleri.	64
Şekil 5.9	Çınar'dan Kampus'a Tıkanıklık Durumunda Güzergah Değişimleri.	65
Şekil 5.10	Güzergah Değerlendirmeleri.....	65
Şekil 5.11	Güzergah Seçimlerine Göre Ulaşım Türlerinin Değerlendirilmesi....	66
Şekil 5.12	Kampus'den Çınar'a Ulaşım Türlerinin Min-Max Süreleri.....	67
Şekil 5.13	Çınar'dan Kampus'e Ulaşım Türlerinin Min-Max Süreleri.....	68
Şekil 5.14	Kampus'den Çınar'a Minibüs-Otobüs Seçim Yüzdeleri.....	69
Şekil 5.15	Çınar'dan Kampus'e Minibüs-Otobüs Seçim Yüzdeleri.....	69
Şekil 5.16	Matlab Programı Fuzzy Toolbox Penceresi.....	71
Şekil 5.17	Trafik Güvenliği(TG) üyelik fonksiyonu.....	72
Şekil 5.18	Tıkanma Olasılığı (TO) üyelik fonksiyonu.....	72
Şekil 5.19	Çevresel Etkiler (ÇE) üyelik fonksiyonu.....	73
Şekil 5.20	Ortalama Seyahat Süresi (ORT_T) üyelik fonksiyonu.....	73
Şekil 5.21	Seçim Olasılığı üyelik fonksiyonu.....	74
Şekil 5.22	Bulanık Kural Tabanı.....	75
Şekil 5.23	Bulanık Kuralların MATLAB Programında Gösterilmesi.....	76
Şekil 5.24	Kampus'den Çınar'a Model Sonuçları.....	78
Şekil 5.25	Çınar'dan Kampus'e Model Sonuçları.....	79

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 5.1	Kampüs'den Çınar'a Güzergahlar için Model Sonuçları .....	77
Çizelge 5.2	Çınar'dan Kampüs'e Güzergahlar için Model Sonuçları.....	77

## SİMGELER DİZİNİ

AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
ATIS	: İleri Seyahat Bilgi Sistemi
BM	: Bulanık Model
CNL	: Cross Nested Logit
ÇE	: Çevresel Etkiler
GEV	: Genel Ekstrem Değer
GNL	: Generalised Nested Logit
MNL	: Multinomial Logit Model
MNP	: Multinomial Probit Model
NET	: Neoklasik Ekonomi Teorisi
O-D	: Origin-Destination (Başlangıç-Bitiş)
ORT T	: Ortalama Seyahat Süresi
PCL	: Paired Combinatorial Logit
TG	: Trafik Güvenliği
TO	: Tıkanma Olasılığı
UE	: Kullanıcı Dengesi

# BİRİNCİ BÖLÜM

## GİRİŞ

### 1. GİRİŞ

#### 1.1 Genel

Günlük yaşamın önemli bir parçası olan seyahat aktivitesi, ulaşım türü (mod) ve güzergah (rota) seçimiyle ilgili olarak verilen kararlar sonucu biçimlenmektedir. Yol kullanıcıları, bu aktivitelerinde, mevcut alternatifleri kendilerine göre değerlendirerek, en fazla faydayı sağlayacak şekilde bir takım seçimler yapmaktadır. Rota seçimi ile ilgili birçok çalışma, yol kullanıcısının yaptığı rota seçiminin, seyahat masrafı, seyahat süresi, trafik güvenliği, konfor, alışkanlıklar ile sosyoekonomik ve demografik özelliklere bağlı olduğunu göstermektedir. Bu parametreler içerisinde, seyahat süresi genellikle en önemli etken olmaktadır. (Bovy ve Stern,1990).

Özellikle, toplu taşıma yerine, özel araç, bisiklet, yaya gibi bireysel seyahatleri tercih eden yol kullanıcıları için, yaptıkları rota seçimi, seyahatlerinin süresi üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Zaman faktörü günümüzde oldukça önemli bir yere sahip olduğundan, özellikle trafik yoğunluğunun yüksek olduğu büyük şehirlerde, rota seçimi yol kullanıcılarının amaçlarına ulaşabilmek için dikkatli vermeleri gereken bir karardır.

Rota seçim modellerinin başarısı, büyük ölçüde, sürücülerin karar verme işlemlerinin anlaşılabilmesine bağlıdır. Akıllı Ulaşım Sistemleri ile üzerinde çalışılmakta olan bu konu hakkında oluşturulacak modellerin doğruluğu, yol planlaması alanında sağlam bir altyapı oluşturarak, özellikle büyük şehirlerde bazı tıkanıklık problemlerinin çözümü için yarar sağlayacaktır.

## 1.2. Amaç

Rota seçim problemi oldukça kompleks bir yapıya sahip olup, bu kompleksliğin basite indirgenerek gerçekçi bir rota seçim modelinin kurulabilmesi için rota seçim parametrelerindeki hassassızlık (imprecision), belirsizlik (vagueness) ve kesinsizlik özelliklerinin doğru olarak anlaşılabilmesi önemlidir. Bulanık model, klasik matematik modellerinden farklı olarak bu özellikleri modelleyebilme becerisine sahiptir.

Bu çalışmanın amacı, yol kullanıcılarının rota seçimini etkileyen başlıca parametreler arasında yer alan Seyahat Süresi, Trafik Güvenliği, Tıkanma Olasılığı ve Çevresel Etki parametrelerini değerlendirmek ve bu değerlendirmeler sonucu yaptıkları seçimleri, Bulanık Mantık Tekniği ile modellemektir. Ayrıca, çalışmadaki diğer bir hedef ise, bulanık mantık teorisinin, özellikle hassassızlık, belirsizlik ve kesinsizliği modelleme özelliğinden dolayı, rota seçim problemi için mevcut matematiksel modellere kıyasla performansını araştırmaktır.

## 1.3. Kapsam

Tez çalışmasında, öncelikle Denizli ili içerisinde belirlemiş olan Başlangıç-Bitiş Noktaları (O-D) arasında yer alan 4 güzergahın, Rota ve Ulaşım türü seçimlerini etkileyecek parametreler hakkında yol kullanıcısının değerlendirmelerini belirlemek ve bu değerlendirmeler sonucu yaptığı seçimleri ortaya koymak için bir anket çalışması düzenlenmiştir. Bu anket çalışmasının sonuçları değerlendirilerek, grafikler ve dağılımlarla gösterilmiştir.

Elde edilen bu veriler içerisinde, rota seçimi üzerinde etkili olan, Seyahat Süresi, Trafik Güvenliği, Tıkanma Olasılığı ve Çevresel Etki parametrelerinin girdi olarak kullanıldığı ve çıktı olarak da rota seçiminin amaçlandığı bulanık model oluşturulmuştur. Bulanık mantık modelinin geliştirilmesinde, MATLAB 6.5 programından yararlanılmıştır.



Bulanık mantık tekniği ile yol kullanıcılarının rota parametreleri hakkındaki değerlendirmeleri ile verdikleri rota seçim kararları arasındaki bulanık ilişkiler modellenmiştir. Toplanan veriler, aynı zamanda logit ve probit regresyon yöntemleri ile de modellenmiştir.

Bulanık Model (BM) sonuçları ile logit ve probit lojistik regresyon sonuçları karşılaştırılarak, modelin performansı ve güvenilirliği ortaya konulmuştur.

## İKİNCİ BÖLÜM

# ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

### 2.1 Genel

Bulanık rota seçimi konusunda pek çok araştırmacı tarafından çeşitli yaklaşımlar getirilerek, modeller önerilmiştir. Bu modeller arasında çarpıcı olan bazı çalışmalar bölüm kapsamında kronolojik olarak sunulmuştur.

Teodorovic ve Kikuchi (1990), bulanık mantık ile rota seçimini modelleyen ilk çalışmayı ortaya koymuşlardır. İkili bir rota seçiminin varlığı durumu için, sürücülerin iki rotanın özelliklerini değerlendirerek seçim yaptıkları bir model geliştirmişlerdir. Seyahat süresi, sürücüler arasında değişen bulanık bir parametre olarak ele alınmıştır. Her sürücü için algılanan seyahat süresi değerleri, önceden bilinen seyahat süreleri etrafında normal dağılım gösterdiği kabulü ile üretilmiştir. İki rota arasında tercih derecesini belirleyen kurallar oluşturulmuştur. Model her sürücü için uygulanarak bireysel tercihler ortaya konulmuştur. Yaklaşık çıkarım mekanizması geliştirmişler, bu şekilde sürücülerin tercihlerini ortaya koymuşlardır.

Lotan(1992; 1998) ve Lotan ve Koutsopolous (1993a; 1993b), rota seçim davranışını, bulanık küme teorisi ve yaklaşık çıkarım kabullerine dayalı olarak modellemişlerdir. Ayrık seçim davranışı modellemesini, bilginin varlığı durumu için, iki aşamalı olarak ele almışlardır. Birinci aşamada bilgi prosesi gerçekleşmekte, ikinci aşamada ise karar verilmektedir. Yol trafik bilgisinin sürücülere sunulduğu durum için sürücü simulatorsu kullanılmıştır. Her sürücünün bilgisi trapez üyelik fonksiyonu ile gösterilmiş ve sağlanan bilgiyle uyumlu olarak birinci aşamada güncellenmiştir. Daha

sonra, ikinci aşama için, sürücü karar verme davranışının modellenmesine yönelik, bulanık çıkarım mekanizması geliştirmişlerdir.

Akiyama ve Tsuboi (1996b), rota seçiminde sürücü davranışını ve karar verme süreçlerini modellemeye yönelik olarak çok aşamalı yaklaşık çıkarım çalışması yapmışlardır. Modelde, rota seçim davranışını etkileyen parametreler, algılanan seyahat süresi, rotadaki tıkanıklık durumları, ve kaza oluşum riski olarak alınmıştır. Bu parametreler, bulanık değerlerle gösterilmiştir. Modelin ilk aşamasında, her bireyin, ayrı rotaları seçmesi durumunda elde edeceği faydanın belirlenmesi için, bu üç faktör kullanılarak bulanık çıkarım mekanizması oluşturulmuştur. İkinci aşamada ise, rotaların kullanım sıklığının belirlenmesi için, fayda değerleri arasındaki fark ile atanan rota sayısı parametreleri kullanılarak, ikinci bir bulanık çıkarım mekanizması oluşturulmuştur. Birinci aşamada, alternatif rota girdilerinin ve yaklaşık fayda değerlerinin alınarak rota kullanım sıklığının belirlenmesi için, sinir ağı modeli oluşturulmuştur. Sinir ağı modelinin, iki aşamalı bulanık modelden daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Lo ve Lam (1997), teknolojik ilerlemelere bağlı olarak günümüzde oldukça yaygınlaşan Ulaştırma Bilgi Sistemlerinin, rota seçiminde kullanılan multinomial logit modelinde kullanılması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Multinomial logit model, tüm sürücülerin trafik koşulları hakkında eşit bilgiye sahip oldukları düşüncesini içermektedir çünkü bu modellerde, sürücülerin trafik koşulları hakkındaki bilgi seviyesini temsil eden bir parametre bulunmamaktadır. Ancak Ulaştırma Bilgi Sistemleri kullanıldığı zaman, bu bilgi sisteminin ücretli olması nedeniyle, sürücülerin trafik koşulları hakkında sahip olduğu bilgiler artık eşit olmayacaktır. Bu da multinomial logit modelin homojenlik kabulünün geçerliliğini yitirmesi anlamına gelmektedir ki bu durum modelin geliştirilmesi gerekliliğini doğurur. Bu çalışmada ise Multinomial Logit Modelin geliştirilmesine yönelik olarak rastgele fayda fonksiyonu ve Gumbel dağılımı kullanılması önerilmektedir. Burada rasgele fayda fonksiyonu, alternatiflerin ve sürücülerin gözlemlenebilen özelliklerine bağlı deterministik bileşenler ile sürücülerin stokastik davranışını ve gözlemlenemeyen özelliklerini temsil eden bir rastgele bileşenin toplamından oluşmaktadır. Burada multinomial logit model,

Ulaştırma Bilgi Sistemi kullanılması durumu için, bir  $\mu$  Gumbel dağılım parametresi eklenerek modifiye edilmiştir. Gumbel dağılımının parametresi olan  $\mu$ , homojenlik durumunda,  $\mu=1$  olarak alınabilmektedir. Burada ise, her sürücünün trafik koşulları hakkındaki bilgi seviyesine bağlı olarak alınmış ve rasgele bir değişken olarak eğitilmesi amaçlanmıştır. Multinomial logit modelin bu şekilde daha uygun sonuçlar verdiği görülmüştür.

Henn (1998), bir yol ağındaki trafik atamasını temsil etmek için dinamik seçim sürecinde yer alan kesinsizlik ve belirsizlikleri hesaba katan yeni bir rota seçim modeli amaçlamıştır. Bu model, prosesin literatürde kullanılan deterministik ve stokastik modellerden daha kesin bir şekilde tanımlanabilmesini olası kılmaktadır. Burada sürücünün en az maliyetli olan rotayı seçeceği düşünülmektedir. Her rotanın tahmin edilen masrafı, yol hakkındaki net bilgiler ile belirsiz trafik koşullarını temsil eden bir bulanık alt küme ile temsil edilmektedir. Tüm olası rotaların masrafları karşılaştırılarak her rotanın cazipliği yapılan derecelendirme ile ortaya konulmuş; sürücülerin kararları üzerinde etkili olabilecek, farklı olası ruh hallerini temsil edecek karşılaştırma indislerinin de kullanılabilmesi belirtilmiştir. (optimist/pesimist, risk alan/almayan vb.). Oluşturulan bulanık seçim modeli, gerçek ölçüm değerleriyle karşılaştırılmamış, ancak yaygın olarak kullanılan stokastik ayrık seçim modeli olan Logit model ile karşılaştırılmış ve benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Bu modelin daha esnek ve yapılabılır olduğu ve ATIS (İleri Seyahat Bilgi Sistemi) tarafından sürücülere verilen bilgilerin modellemede kullanılabilmesi görülmüştür. Bu modelin, teorik olarak, özellikle olasılık dönüşümü konusunda, güçlendirilerek, trafik atama algoritmasında kullanılır duruma getirilmesi önerilmiştir

Binetti ve De Mitri (2000), Yol kullanıcılarının, yol ağındaki masraflarla ilgili, deterministik modellerin kabul ettiği gibi kesin bir bilgiye sahip olmasının söz konusu olmadığı düşüncesinden yola çıkmışlardır. Her sürücü tarafından algılanan maliyet, ortalama değerden (sistemik maliyet) farklı olabilir. Bu yüzden bazı sürücüler, minimum masraflı rotanın dışındaki bir rotayı da seçebilir ve böylece diğer alternatiflerin seçim olasılığı ortaya çıkmış olur. Bu durum rastgele fayda modelleri ile temsil edilebilir. Burada, bulanık rakamların maliyetleri temsil ettiği bir rota seçim

modeli ortaya konulmuştur. Buradaki düşünce, sürücülerinin seçiminin, rotaların tahmin edilen masraflarının karşılaştırılması sonucu ortaya çıktığıdır. Bu maliyet değerleri, kesinsizlik ve belirsizlikten etkilenmektedir. Bulanık değerlerin kullanılması, bu durumun doğru şekilde temsil edilebilmesini sağlar. Modelde rota masrafları üçgen bulanık değerlerle temsil edilmiştir. İncelenen tüm durumlar için gerçekçi sonuçlar elde edilmiş, masrafların kesinsizliğini temsil etmek için, kullanıcıların rota seyahat süresini sezinleyişlerindeki doğruluğu anlatan bir parametre kullanılmıştır ( $\alpha$ ). Basit bir yol ağında, kullanıcı denge akımlarının üretilmesi için Ardışık Ortalamalar Metodu kullanılmıştır. Mesafe, kapasite, kullanıcı sayısı üzerinde değişiklikler yapılarak birçok atama gerçekleştirilmiş, her seferinde farklı bir  $\alpha$  değeri kullanılmıştır. Ortalama kullanıcı masrafı ağı durumunu temsil eden bir parametre olarak değerlendirilmiştir. İncelenen tüm bu durumlar için, model gerçekçi sonuçlar vermiştir.

Lee ve diğ.(2001), çalışmalarında ulaştırmacıların seçim davranışı problemini incelerken karşılaştıkları belirsizlik durumunun ikiye ayrılabilceğini belirtmişlerdir. Bunların birincisi, seçim davranışı probleminin deterministik olmayan yapısından kaynaklı rastgelelik; diğeri ise yol ağlarına yeterince tanımamaktan ve özellikleri hakkında yeterince sözel bilgi sahibi olmamaktan kaynaklanan kesinsizliktir. Rastgelelik kavramının, olasılık dağılımına dayalı rastgele fayda modeller ile, kesinsizliğin ise, olasılık dağılımına dayalı bulanık modeller ile çalışıldığı belirtilmiştir. Çalışmada sürücü sezinleyişlerinde aynı anda oluşabilecek rastgelelik ve kesinsizliğin birleştirilmesi için bir basamak metodu ortaya konulmuştur. Çalışma kapsamında, öncelikle, rastgele fayda modellerinden biri olan Latent Class Multinomial Logit (LCML), sürücü davranışlarındaki farklılıklar için geliştirilmiştir. Yol ağı hakkında bilgisi olan sürücülerin sezinleyişleri daha net olacak, yol özelliklerindeki değişimlere daha duyarlı olacaklar ve rota seçim davranışları, kesinsizlikten çok rastgelelik gösterecek, yollara yabancı olan bir sürücünün davranışı ise, kesinsizlik niteliğini daha çok taşıyacaktır. Ayrıca, sürücülerin algılayışlarındaki belirsizliğin de işin içine katılması için bulanık model kullanılmıştır. Sürücüler tarafından algılanan seyahat süreleri ile ilgili sözel bilgiler, bulanık modelle ortaya konulmuştur. LCML ve bulanık model sonuçlarının birleştirildiği bir model oluşturulmuştur. Üç ayrı rotadaki sürücülere, anket soruları sorularak, rotaları algılayışları, yol özellikleri hakkındaki

bilgileri ve değişimleri algılayış miktarları araştırılmıştır. Sürücülere, her bağlantı bekleedikleri seyahat süresi(kısa, normal, uzun) ile hafif ve orta tıkanıklık durumları için bekleedikleri seyahat süresi sorulmuştur. Seyahat süresi ve tıkanıklık durumları için bulanık kural tabanı oluşturulmuştur. Sonuç olarak, kesinsizlik ve rastgeleliği verimli bir şekilde birleştirerek yapılan modellemenin LCML modelinin açıklama gücünü arttırdığı görülmüştür.

Clark ve Batley (2001), yaptıkları çalışmada, bireylerin seçiminde panel tip verilerin mevcut olduğu durumlarda, rota seçimleri üzerinde geçmişteki tecrübelerin etkili olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada kullanılan veriler, anket çalışmasıyla elde edilmiştir. Anket verileri incelendiğinde; ardışık günlerde bir sürücünün aynı rotayı seçme oranı %50 seviyesindeyken; zaman aralığı arttıkça bu oranın azaldığı görülmektedir. veriler daha detaylı incelendiği zaman, ardışık 4 günde kayıtlı olan 92 verinin 60'ı başlangıç-bitiş noktaları arasındaki iki ayrı rotadan, kısa olanını tercih etmiştir. Fakat süre incelendiği zaman, 1.8 km' lik kısa rotanın seyahat süresi 8:30 dak.; 2.1 km' lik uzun rotanın süresinin ise 7:50 dak olduğu görülmüştür. Ardışık günlerde, sürücülerin aynı rotayı seçme oranı oldukça yüksektir yani bir alışkanlık davranışı söz konusudur. Alışkanlık etkisinin bireylerin rota seçiminde etkili olduğu ve, modellemeye dahil edilmesi gerektiği vurgulanarak, bu yinelemelerin ve rota deneyimlerinin modellerin geçerliliği açısından önemli olduğu belirtilmiştir. Özellikle zaman periyodu korelasyonlarının modeldeki diğer parametreleri etkileyeceği belirtilerek, tüm bu nedenlerin çok periyodlu seçim modeli kullanımını uygun kıldığı anlatılmıştır. Bu şekilde, dinamik rota seçimindeki belirsizliğin daha iyi ortaya ifade edilmiştir.

Henn (2002) çalışmasında bulanık trafik atama modellerinde, bulanık maliyet kullanılmasının mantığını açıklamıştır. Bulanık masraf kullanımının benzerlik, tercih, ve belirsizlik başlıkları altında incelemiştir. Benzerlik kavramında, sürücünün, maliyet değerleri birbirine çok yakın olan iki alternatif arasında seçim yaparken çok kesin bir tutum sergileyemeyeceği, bu açıdan da bulanık masraf kavramının uygun olduğu açıklanmıştır. Tercih kavramında ise; sürücünün rasyonelliğine ve seyahat süresini en aza indirgeyeceği kabulüne dayalı geleneksel yöntemler olduğu, ancak; sürücülerin rasyonelliğinin çok katı olmadığı ve rota seçiminde en iyi tercih yapılmasının bulanık

bir kavram olduğu belirtilmiştir. Belirsizlik kavramında ise; kazalar gibi önceden tahmin edilemeyen olaylar ve varış süresinin kesin olarak tahmin edilemeyeşinden bahsedilmiştir. Sürücüler açısından söz konusu olan algılanma kriterlerindeki kesinsizliğin bulanık mantık kullanımını uygun kıldığı anlatılarak, kesinsizlik, tercih ve belirsizlik kavramlarını birleştiren bireysel rota seçim modeli sunulmuştur. Bu modelde, hassassızlık (imprecision) kavramı bulanık masraflar yoluyla; tercih kavramı, bir tercih parametresi ile; belirsizlik ise, olası trafik koşullarının olasılık dağılımları ile ortaya konulmuştur. Sürücülerin davranışının teorik olarak değerlendirilmesinin yanı sıra, gerçek hayattaki davranışlarının teorik davranışlardan farklı olabileceği ve bu farklılığın değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Vythoulkas ve Koutsopoulos (2002), çalışmalarında, ayrıık seçim modellerinde bulanık mantık kullanılarak kural ağırlıklarının işin içine dahil edilmesi üzerine çalışmışlardır. Ayrıık seçim modeli analizi, rastgele fayda kavramına dayanmakta olup, karar vericilerin seçimlerini faydalarını maksimize edecek doğrultuda verdikleri dışüncesini kabul eder. Bulanık kümeler ve sözel değerkenler kullanılarak, karar vericinin alternatiflerin farklı özelliklerini sezinleyişleri modellemişlerdir. Temel yaklaşım, karar vericinin bu özellikler ile ilgili birkaç basit kural kullandıkları ve uygun kararı sonra verdikleridir. Bu çalışmada bu yaklaşıma, karar sürecinde belirli bir kuralın öneminin ortaya çıkarılması için, kural ağırlıkları dahil edilmiş, bu ağırlıkların kalibrasyonu için de yapay sinir ağları kullanılmıştır. Sürücülerin kararlarına kompleks bir fayda fonksiyonunu maksimize etmeye çalışmak yerine, basit kurallar sonucu ulaşacakları dışüncesinden yola çıkılmıştır. Modelin kalibrasyon kısmında sinir ağları kullanılmıştır. Kural ağırlıklarının ve üyelik fonksiyonu parametrelerinin optimum değerlerinin belirlenebilmesi için, yani gözlemler ile model ıktıları arasındaki sapmanın en küçüklenmesi için Lin ve Lee'nin (1991) geliştirdiği bulanık sinir ağı prosedürü kullanılmıştır. Bu yaklaşımın potansiyelini ortaya koymak ve alternatif formülasyon ve metodolojilerle karşılaştırmak için ulaşım türü seçimini de içeren bir durum çalışması yapılmıştır. Model sonuçları, logit modelle karşılaştırıldığında başarılı bir model üretildiği, özellikle karar sürecinde esneklik sağladığı görülmüştür. Ancak, modelin çözülmesi gereken noktaları bulunmakta olup kalibre edilmesi gereken parametre sayısının fazla olması ve alternatiflerin artmasıyla birlikte daha da arttığı

görülmüştür. Bulanık operatörlerin davranış yorumları, üyelik fonksiyonları ve kural yapılarının uygun olarak seçilmesi konularında çalışmalar yapılarak modelin geliştirilmesi gerekliliği vurgulanmıştır.

Mahmassani ve Srinivasan (2003), çalışmalarında ortaya koydukları sezinleyiş modelinde ilk amaç, gerçek zamanlı bilgi altında sürücülerin seyahat süresi algılamalarının ve bu algılama sonucu verdikleri kararların, ikinci amaç ise sürücülerin farklı bilgi stratejileri altında gerçek zamanlı trafik bilgi kalitesinin değerlendirmelerinin ortaya konulmasıdır. Seyahat süresi sezinleme çalışması sonucunda, algılanan seyahat süresinin; bilginin kapsamı, sürücülerin alternatif rotalar hakkındaki tecrübeleri ve bilgileri ile değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Bilginin kesinliği ve erişilebilirliği ile bilginin türü oldukça etkilidir. Sürücülerin geçmiş trafik deneyimleri, beklenen tıkanıklıklar ile hareket özellikleri gibi parametrelere bağlı olduğundan gün içi ve günden güne değişim göstermektedir. Bu bulgular, deterministik ve stokastik denge atama modellerine davranışsal yaklaşımların dahil edilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bilgi kalite değerlendirme modelinin sonuçlarında ise, sürücülerin kesinliği fazla olan bilgiyi olumlu olarak değerlendirdiği, kesin olmayan bilgileri ise olumsuz olarak değerlendirdiği gözlemlenmiştir. Sürücülerin bilgiyi değerlendirmelerinin kendi trafik deneyimlerine büyük ölçüde bağlı olduğu görülmüştür.

Palma ve Picard (2003), rota seçim davranışını seyahat süresinin belirsiz olduğu durum için incelemiştir. Bu durumda, yol kullanıcıları, beklenen seyahat süresinin en küçüklenmesi yanında, seyahat süresindeki değişkenliği de hesaba katacaklardır. Çalışmanın odak noktası, yol kullanıcılarının risk karşısında gösterdikleri davranışı etkileyen faktörleri ortaya koymaktır. Çalışmanın temel amacı, beklenen ve beklenmeyen fayda fonksiyonların birlikte içine alan bir model oluşturulmasıdır. Bu amaca, risk karşısında, tercihlerin ordinal ve kardinal bileşenleri üzerinde çalışılarak ulaşılmaktadır. Sonuçta, modelin deterministik kısmı için, beklenen fayda teorisinin kullanılmasının uygun olduğu ve risk karşıtlığının, eğitim, seyahat amacı, cinsiyet gibi sosyoekonomik faktörlerle açıklanabileceği ifade edilmiştir. Ancak, çalışmada kullanılan veri sayısının az olması nedeniyle, istatistiksel olarak çok anlamlı bir sonuç



elde edilememiştir. Risk karşısındaki davranışın teorik ve ampirik olarak daha fazla veri kullanılarak incelenmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Arslan ve Khisty (2004), çalışmalarında ulaşım sistemlerinde rota seçimi davranışının tanımlanabilmesi için psikometrik bir yaklaşım geliştirilmesini amaçlamışlardır. Bulanık mantık ve Analitik Hiyerarşi Proses (AHP) kabullerini birleştiren bir karma model geliştirilmiştir. Sürücünün farklı alternatifler karşısındaki psikolojisini temsil edecek If-Then bulanık kural kümesi, Weber'in 1834 psiko-fiziksel kuralına göre oluşturulmuştur. Daha sonra AHP, dayanılan karar mekanizmasının temsil edilmesi ve sürücünün bu alternatifler içinde tercihinin belirlenmesi için modele dahil edilmiştir. Sonuçlar, bu metodun, sürücülerin rota seçimlerini açıklamak için geliştirilmeye açık sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bu metodun doğruluğu, gerçek hayattaki bir örneğe uygulanmıştır. En küçük karesel hatalar toplamı yöntemi kullanılarak modelin tahmin yeterliliği, gerçek değerlerle karşılaştırılarak ortaya konulmuştur. Bu metodun, tüm faktörlerin birleştirilerek, masraf fonksiyonunun bulanık olarak ifade edildiği geniş ölçekli bir trafik atama çalışmasında kullanılabileceği belirtilmiştir.

Bu bölümde ifade edilen çalışmalardan farklı olarak; Çevresel etkiler, seyahat süresi, tıkanma olasılığı ve güvenlik parametrelerini dikkate alan ve bulanık mantığa dayalı maliyet fonksiyonu bu çalışma kapsamında geliştirilmiştir.

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

# ROTA SEÇİMİ

### 3. ROTA SEÇİMİ

Günlük yaşamın önemli bir parçası olan seyahat aktivitesi, mod (ulaşım türü) ve rota (güzergah) seçimiyle ilgili olarak verilen kararlar sonucu biçimlenmektedir. Özellikle, toplu taşıma yerine, özel araç, bisiklet, yaya gibi bireysel seyahatleri tercih eden insanlar için, yaptıkları rota seçimi, seyahatlerinin süresi üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Zaman faktörü günümüzde oldukça önemli bir yere sahip olduğundan, özellikle trafik yoğunluğunun yüksek olduğu büyük şehirlerde, rota seçimi, yol kullanıcılarının amaçlarına ulaşabilmek için dikkatli vermeleri gereken bir karar haline gelmiştir. Trafik atamasının temelini oluşturan rota seçiminde en genel yaklaşım, seyahat edenlerin tüm rotaların masraflarını genel olarak değerlendirerek, seyahat masrafının en düşük olduğunu sezindiği rotayı seçeceği düşüncesidir.

İki nokta arasında seyahat eden sürücülerin farklı rotaları seçmeleri, genel olarak, iki nedenle açıklanabilir. Birinci neden; en iyi rotayı belirleyen bireysel sezinleyişlerdeki farklılıklar olup; bu durum, farklı bireylerin, genel masraf fonksiyonlarında birleştirdikleri parametrelerin farklılığının değil, bu parametreleri algılayışlarındaki farklılığın bir sonucudur. İkinci neden ise; tıkanıklık etkileridir. Kısa rotalar ilk aşamada daha fazla tercih edilmekte ve bu nedenle tıkanıklık etkileri bu rotaları başlangıçta daha fazla etkilemektedir. Bu etki, başlangıçta daha az tercih edilen rotaların genel masrafları ile kıyaslanır duruma getirmektedir.

İki nokta arasında rota seçimi yapılırken etkili olan parametreler; seyahat süresi, mesafe, masraf (yakıt ve diğ.), trafik işaretlemeleri, tıkanıklık ve kuyruk durumları, yol tipi, manzara, yol çalışmaları ve alışkanlıklar olup bu parametrelerin hepsini içeren

genel bir masraf gösterimini üretmek oldukça zordur. Bu parametrelerin hepsini aynı anda bir trafik atama modelinde göstermek pratik olmadığından rota seçim çalışmalarında yaklaşımlar kaçınılmaz olmaktadır. Rota seçim çalışmalarında en yaygın olan yaklaşım, rota seçiminde sadece zaman ve masraf faktörlerini göz önüne almaktır. Özellikle şehir içi trafiği rota seçiminde zaman en önemli faktör olmaktadır.(Bovy ve Stern, 1990). Masraf, genellikle seyahat mesafesiyle orantılıdır.

Outram ve Thompson (1977) çalışmalarında, rota seçim kararları sonucu hedeflerine ulaşmada başarılı olan sürücülerin oranının düşük olduğunu ve zaman ile mesafe kombinasyonundan oluşan genel masraf gösteriminin rota seçimine en iyi açıklamayı getirdiğini göstermişlerdir. Genel olarak, zaman ve masraf parametrelerinin ağırlıklı toplamları alınarak elde edilen genel masraf gösterimi ile yapılan rota seçim tahmini ve gerçek gözlemler arasında %60-80 benzerlik sağlanabilmektedir. Bu açıklanamayan kısım, sezinleyişlerdeki farklılıklar, rota masrafları ile ilgili yanlış bilgiler ve basit hatalarla açıklanabilir.

### **3.1. Rota Seçim Modelleri**

Rota seçiminde ilk önce kullanıcı dengesi (UE) modelleri geliştirilmiştir. Bu modellerde, denge durumuna Wardrop'un 1. ilkesine göre ulaşılır (Wardrop, 1952) ve hiçbir sürücünün güzergahını değiştirerek daha sakın bir rotaya ulaşması söz konusu değildir.

Rota seçim modelleri konusundaki ilk uygulamalar, seyahat süreleri ve masrafların deterministik değerler olduğu ve her sürücünün yol ağının bu parametreleri hakkında eksiksiz bilgiye sahip olduğu kabulüne dayanmaktadır. Sürücü davranışları Neoclassic Economic Theory (NET) e dayanmaktaydı. Bu teori, sürücünün karar verirken karşısına çıkacak olan iki alternatifini değerlendirirken masraf açısından düşük olanı seçeceği düşüncesini kabul etmektedir (Oppenheim, 1995). Bu teoriler ya hep ya hiç atamasını kullanan doğrusal programlama algoritmaları ile en kısa rotanın tanımlanmasına dayanmaktadır. En basit rota seçim ve atama metodu, Ya Hep ya Hiç (All or Nothing)

atamasıdır. Bu metod, tıkanıklık etkilerinin var olmadığı, rota seçiminde tüm sürücülerin aynı özellikleri gözönüne aldığı, ve bu özellikleri algılayış ve değerlendirmelerinin benzer olduğu kabullerine dayanır. Tıkanıklık etkileri sözkonusu olmadığından, link masrafları sabit olacak ve bir başlangıç noktasından-bitiş noktasına (i→j) seyahat eden tüm sürücüler, masrafları eşit algılayacak ve tümü en cazip rotayı seçecektir. Bu yaklaşım trafik yoğunluğunun düşük olduğu ağlar ile, alternatif rota sayısının az ve masrafların birbirinden çok farklı olduğu durumlarda geçerli olabilir.

Sürücülerin amaç ve beklentileri ile sezinleyişlerindeki farklılıklar, seçim yapılırken, farklı rota alternatiflerinin de seçim olasılığını doğuracaktır. Bu farklılıklar, modellemede stokastik bir öge olarak ortaya çıkmaktadır. Kullanıcı dengesi (UE) modellerindeki kısıtlayıcı kabulleri esnetmek amacıyla, stokastik modeller geliştirilmiştir (Burrell, 1968; Dial, 1971). Trafik atamasında, stokastik modeller, sürücülerin masrafları sezinleyişlerindeki farklılıklar ile, minimize etmeye çalıştıkları mesafe, seyahat süresi ve masraf parametrelerindeki farklılıkları da gözönüne almaktadır.

Ayrık seçim modellerinin esası, bir seçim durumuyla karşılaşıldığı zaman, her bireyin alternatiflere yönelik tercihini, alternatifin caziplik veya fayda ölçütünün belirlediğidir. Alternatiflerin cazipliği, fayda kavramı ile temsil edilir. Bu genel bir teorik kuramdır ve her bireyin maksimize etmeye çalıştığı bir kavramdır. Bu fayda değeri, alternatiflerin özellikleri ile karar vericinin özelliklerinin bir fonksiyonudur. Bu faydalar doğrudan gözlemlenememekte ve ölçülememekte olduğundan, bireyin elde edeceği faydaları etkileyecek birçok özellik rastgele olarak ele alınmaktadır. Rota seçim modeli hangi alternatifin seçileceğinin bir olasılığını vermektedir.

İnsan davranışının daha net olarak yakalanabilmesi için probit ve logit modeller ortaya konulmuştur. Bu modeller, seyahat talebi modellemesinde fayda kavramına dayanmakta olup, her karar vericinin karşı karşıya olduğu seçim kümesi içindeki alternatiflerin özelliklerinin ve kriterlerinin tanımlı değerler olduğunu kabul etmektedir. Bu modellerde, sürücüler, faydalarını maksimize eden rasyonel karar vericiler olarak kabul edilmektedir.

Bir  $i$  bireyinin,  $a$  alternatifinden elde edeceği fayda;

$$U_a^i = V_a^i + \varepsilon_a^i \quad (3-1)$$

Burada;

$V$ ; deterministik kısmı

$\varepsilon$ ;; belirsizliği açıklamak için rastgele kısmı

ifade etmektedir.

Bu modellerin arkasındaki rasyonellik NET' e dayanmaktadır ve buna göre karar vericiler alternatifleri ekonomik açıdan değerlendirebilme yeteneğine sahiptirler. Ancak, gerçekte, karar vericiler yol ağı hakkında mükemmel bilgiye sahip olmayabilirler. Bu nedenle belirsizlik dikkate alınmalıdır.

Manski (1977), belirsizliklerin kaynağını 4 nedenle gruplamıştır.

- 1) Alternatiflerin gözlemlenemeyen özellikleri
- 2) Gözlemlenemeyen bireysel özellikler
- 3) Ölçüm hataları
- 4) Ayar veya araç hataları

Hataların bu kaynakları, bireylerin faydaların bazı bileşenlerinin modelleyici tarafından gözlemlenemeyeceğini ve bu nedenden dolayı rastgele kabul edilmeleri gerektiğini savunan rastgele fayda teorisine kadar uzanır. Rasgele fayda modellerindeki bu varyasyon, rastgele bileşen  $\varepsilon$  ve/veya deterministik kısım  $V$  için yapılan varsayımlara bağlıdır. Bir alternatifin seçilme olasılığı;

$$\begin{aligned} P_n^i &= \Pr(U_a^i \geq U_b^i) \\ P_n^i &= \Pr(V_a^i + \varepsilon_a^i \geq V_b^i + \varepsilon_b^i) \\ P_n^i &= \Pr(V_a^i - V_b^i \geq \varepsilon_b^i - \varepsilon_a^i) \quad \forall a \neq b \end{aligned} \quad (3-2)$$

$P_n^i$ , mevcut koşullarda  $a$  alternatifinin seçilme olasılığıdır. Esas olarak seçim kümesi içindeki tüm alternatifler arasından  $a$  alternatifinin seçilmesi, en fazla faydayı  $a$  alternatifinin sağlayacağı durumu ifade etmektedir.

En sık kullanılan rasgele fayda modelleri, probit, logit, Genel Ekstrem Değer (GEV) modelleridir.

### 3.1.1. Multinomial Probit Model (MNP):

Probit Modelin kullanımı, 1927 Thurstone'un çalışmaları ile başlamıştır. MNP, alternatif çiftlerin hata terimleri arasındaki kovaryansı kabul ederek, bu korelasyonları hesaba katmaktadır. Probit model, hata terimlerinin normal dağılım gösterdiği ve farklı alternatifler için değişim gösterdiğini kabul etmektedir. Normal dağılım fonksiyonu;

$$f(\varepsilon) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (3-3)$$

$\sigma \in R$ , ve  $\sigma > 0$  keyfi bir sabit olup hata teriminin varyansıdır. Bu yoğunluk fonksiyonu verilen bir seçim kümesi içinden bir alternatifin seçilme olasılığını yakalamak için kullanılır. İkili bir durumda  $\varepsilon_1$  ve  $\varepsilon_2$ 'nin 0 ortalama ile normal dağılım gösterdiği ve sırasıyla  $\sigma_1$  ve  $\sigma_2$  varyans değerleri ve iki alternatif arasındaki  $\sigma_{12}$  kovaryans değeri kabulüyle bu ikili probit modelin seçim fonksiyonu;

$$P_{\{1,2\}}(1) = \int_{-\infty}^{V_1 - V_2} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\mu}{\sigma}\right)^2} d\varepsilon \quad (3-4)$$

$\sigma^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 - 2\sigma_{12}$ , kovaryans;  $\varepsilon_1 - \varepsilon_2$  hata teriminin varyans değeridir.

MNP, teorik olarak cazip bir model olmasına karşılık, uygulama alanında bazı esneklik problemleri bulunmaktadır. MNP modelleri ile ilgili temel iki problem; kapalı form çözümünün yokluğu ile, dört veya daha fazla alternatifin varlığı durumunda, MNP'nin numerik olarak entegrasyonundaki prohibitive (önleyici) masraflardır. (Daganzo, 1979; Bunch ve Kitamura, 1989). Kapalı form çözümünün yokluğu durumu için, Clark (1961) tarafından geliştirilen yaklaşım metodu, belli dağılımlarda doğru

olmayan sonuçlar vermekte, ve alternatif sayısının fazla olması durumunda çözümsüz olmaktadır.(Horowitz et al., 1982). MNP, kapalı biçimde tahmin edilememesi durumu için tek çözüm, Monte Carlo simülasyonu ile tahmin yapılmasıdır. Monte Carlo simülasyonu, yakınsama probleminin üstesinden gelebilmek için Ağırlıklı Ortalamalar metoduna gereksinim duymaktadır. (Daganzo, 1979; Sheffi ve Powell, 1981; Sheffi, 1985). Bu metod, uygulamalarda oldukça yavaş ve engellere sahip olmaktadır.(Oppenheim, 1995)

### 3.1.2. Multinomial Logit Model:

Logit modeller genel olarak McFadden(1978) General Extreme Value(GEV) teorisine dayanmaktadır. Bu teoriye göre, verilen bir seçim kümesi içinden i alternatifinin seçilme olasılığının ifadesi;

$$P_C(i) = \frac{e^{V_i \frac{\partial G}{\partial X_i}(e^{V_1}, \dots, e^{V_n})}}{\mu G(e^{V_1}, \dots, e^{V_n})} \quad (3-5)$$

Burada G, diferansiyel bir fonksiyon olup özellikleri;

1.  $G(x) \geq 0$  her  $x \in \mathbb{R}_+^n$
2.  $G, \mu > 0$  homojenlik derecesine sahiptir;  $G(\alpha x) = \alpha^\mu G(x)$  her  $x \in \mathbb{R}_+^n$
3.  $\lim_{x \rightarrow \infty} G(X_1, \dots, X_i, \dots, X_n) = \infty$  her  $1 \leq i \leq n$
4.  $\frac{\partial^k G}{\partial x_{i_1} \dots \partial x_{i_k}}(x) = \begin{cases} \geq 0 & k \text{ tek ise} \\ \leq 0 & k \text{ çift ise} \end{cases}$

Logit modellerin en basit ve temel olanı Multinomial Logit Modeldir (MNL). Model, Mc Fadden (1973) bireysel fayda maksimizasyonu ile bağıntılı olmasıyla birlikte, metodun başlangıcı, Luce (1959) seminer çalışmasına kadar uzanmaktadır. MNL modeli, farklı alternatiflerin bağımsızlığı (IIA) özelliğine dayanarak, hata terimlerinin bağımsız olduğu (IID) ve çift üstel veya tip I Ekstrem değer olarak da adlandırılan

tamamen Gumbel Dağılımı gösterdiğini de ifade eder. Bu dağılım, alternatiflere göre hata terimlerinin varyansının değişmediğinin bir göstergesi olmaktadır. IID hata terimi özelliğine bağlı olarak, MNL büyük ölçüde yoksayılmaktadır. Gumbel dağılımının yoğunluk fonksiyonu;

$$f(\varepsilon) = \mu e^{-\mu(\varepsilon-\eta)} e^{-e^{-\mu(\varepsilon-\mu)}} \quad (3-6)$$

$\eta$ ; lokasyon parametresi

$\mu$ ; dağılımın varyansını belirleyen ölçüm parametresidir.

Dağılımın ortalaması;

$$Mean = \eta + \frac{0.577}{\mu} \quad (3-7)$$

Dağılımın varyansı;

$$Varyans = \frac{\pi^2}{6\mu} \quad (3-8)$$

Gumbel dağılımı, normal kuralın kapalı formda yaklaştırması olarak kabul edilebilir. Logit model için pek çok alternatifin olması, bir problem olmadığından, verilen bir seçim kümesi içinden  $i$  alternatifinin seçilme olasılığının ifadesi;

$$P_{\{1..I..J\}}(i) = \frac{e^{\mu V_i}}{\sum_{j=1}^J e^{\mu V_j}} \quad (3-9)$$

Burada  $V_i$ ,  $i$  rotasının faydasıdır.

MNL'nin bir başka önemli ve kritik noktası da ilgisiz alternatiflerin bağımsızlığı özelliğidir. (IIR). Bu özelliğe göre, herhangi iki alternatifin olasılıkları arasındaki oran, diğer alternatiflerden bağımsızdır. Diğer bir ifadeyle, iki alternatifin seçilme olasılıkları arasındaki oran, herhangi farklı iki alternatifin sistematik faydalarına bağlı değildir. (Ben Akiva ve Lerman, 1985). IIR özelliğinin genel gösterimi;



$$\frac{P_{(C1)}(i)}{P_{(C1)}(k)} = \frac{P_{(C2)}(i)}{P_{(C2)}(i)} = \frac{e^{\mu V_i}}{e^{\mu V_2}} \quad (3-10)$$

$C1$  ve  $C2$  seçim kümesi 1 ve seçim kümesi 2'yi ifade etmektedir. Bu özelliğin önemli bir avantajı, farklı alternatif kümelerinin söz konusu olduğu farklı örneklerle uygulandığında modelin yapısının etkilenmemesidir. Ancak, MNL, alternatif rotaların ortak linklere sahip olduğu yol ağlarında, ortak linklerdeki akım tahminlerinde yüksek değerler bulmaktadır. (Daganzo ve Sheffi, 1977).

### 3.1.3. Tree Logit (Nested Logit):

Model, Ben Akiva (1973) tarafından geliştirilmiştir. Williams(1977) ve Daly ve Zachary(1978) faydanın maksimizasyonu; Mc Fadden(1978), Genel Ekstrem Değer formülasyonu ile model üzerinde çalışmışlardır.

NL modelinde, fayda fonksiyonu iki ayrı hata teriminden oluşmaktadır. Bu terimlerin birisi alternatifte, diğeri kümeyle aittir.

$C_k$  kümesindeki  $i$  alternatifinin faydası;

$$U_i = V_i + \varepsilon_i + V_{C_k} + \varepsilon_{C_k} \quad (3-11)$$

Burada  $\varepsilon_i$  ve  $\varepsilon_k$  bağımsızdır ve bir kümedeki alternatifler arasındaki korelasyonu yansıtan  $\sigma_k$  ve  $\mu$  ölçü parametreleri ile Gumbel dağılımı gösterirler.  $C_k$  kümesindeki tüm alternatifler için ortak  $V_{C_k}$  fayda terimi olup;

$$V_{C_k} = V'_{C_k} - \frac{1}{\sigma_k} \ln \sum_{j \in C_k} e^{\sigma_k V_j} \quad (3-12)$$

Burada  $V'_{C_k}$  toplam değer olup, her küme için farklıdır. Olasılık ifadesi;

$$P_C(i) = P_C(C_k)P_{C_k}(i) \quad (3-13)$$

$$P_C(C_k) = \frac{e^{\mu V' C_k}}{\sum_{l=1}^n e^{\mu V' C_l}} \quad (3-14)$$

ve

$$P_{C_k} = \frac{e^{\sigma_k V_i}}{\sum_{j \in C_k} e^{\sigma_k V_j}} \quad (3-15)$$

diğer yandan, belli bir kümedeki iki alternatifin ölçü parametreleri arasındaki ilişki;

$$\frac{\mu}{\sigma_k} = \sqrt{1 - \text{Corr}(U_l, U_k)} \quad (3-16)$$

$$0 \leq \frac{\mu}{\sigma_k} \leq 1.00 \quad (3-17)$$

burada  $\frac{\mu}{\sigma_k}$  oranının 1'e eşit olması durumunda bu iki alternatif arasındaki korelasyon 0 olmaktadır. Uygulamalarda, bu ölçü parametreleri doğru olarak tanımlanamadığından bunlardan bir tanesi keyfî olarak bir değere eşitlenir ki bu değer genellikle 1'dir. Eğer  $\mu=1$  alınırsa, tepeden normalize edilmiş;  $\sigma=1$  alınırsa, tabandan normalize edilmiş denir. Matematiksel olarak, tabandan normalize edilmesi daha kolay bir formülasyon sağlamaktadır.

NL Modeli, benzer alternatiflerin, aralarında ortaklık olmayan kümelerde toplandığı bir ağaç yapısı ile temsil edilmektedir. Bu model, MNL'nin daha esnek ve istatistiksel olarak geliştirilmiş hali olarak kabul edilmekte; çakışan alternatifler arasındaki benzerlikleri yakalayabilmekte ve daha esnek hata yapısı sunmaktadır. NL modelinde, bir alternatif, sadece bir kümeye ait olabilmektedir. Seçim kümesi veya alternatifleri birçok kümeye ayrıldığından, gerçek bir yol ağında bir linkin birden çok kümeye ait olabileceği durumda daha karmaşık bir hal almaktadır. NL, kümeler arasındaki korelasyonu dikkate almaz. Probit model, şehir içi yollarında kısmi çakışmayı daha iyi yakalayabilmektedir. (Gommers ve Bovy, 1986)

NL modelinde, bir alternatif yalnız bir kümeye dahil edilebildiğinden, çakışan rotalardan oluşan bir yol ağını tanımlamak zor olabilmektedir. Bir O-D çifti arasındaki rota seçimlerinin kümesi, farklı iterasyonlar için değişebilmekte, bu da, NL' nin network atama algoritmasına dahil edilmesine engel teşkil etmektedir(Gliebe et al.,1999).

### 3.1.4. C -logit:

C-logit (Cascetta et al., 1996; 1998; Cascetta ve Papola, 1997), MNL modelinin, fayda fonksiyonuna bir benzerlik faktörünün eklenmesi yoluyla geliştirilmiş halidir. Bu benzerlik faktörü, çakışan rotalar arasında paylaşılan linkleri temsil etmektedir. Benzerlik faktörü, çakışan rotaların faydalarından elde edilmiş bir değer olup; çakışan rotaların faydasını azaltırken, bağımsız rotaların faydasını arttırmaktadır. Burada amaç, çakışan rotaların seçilme olasılığını azaltarak, bağımsız bir rotanın seçim olasılığını arttırmaktır.

Genel olarak, ikiden fazla rotanın olması durumu için, n rotasının seçilme olasılığı;

$$P_n = \frac{e^{V_n - cf_n}}{\sum_{n'} e^{V_{n'} - cf_{n'}}} \quad (3-18)$$

$cf_n$ ; n rotasının benzerlik faktörü olup, O-D çiftinde bulunan diğer rotalarla n rotası arasındaki benzerlik derecesiyle doğru orantılıdır. Cascetta et al.(1996),  $cf_n$  terimini, şu şekilde ifade etmiştir;

$$cf_n = \delta \ln \sum_{n'} \left( \frac{L_{nn'}}{L_n^{1/2} L_{n'}^{1/2}} \right)^\gamma \quad (3-19)$$

Burada,

$L_{nn'}$ ; n ve n' için ortak olan linklerin uzunluğu(masrafı)

$L_n$  ve  $L_{n'}$ ; sırasıyla n ve n' rotalarının toplam uzunlukları(masrafları)

$\gamma$  ; pozitif parametredir.

C-logit ile tahmin yöntemi literatürde henüz netlik kazanmış değildir. Literatürde, rotalar arasında çakışma durumundan bağımsız olarak da korelasyonlar olabileceği ve C-Logit formulasyonlarının geliştirilerek, bu konuyla ilgili çalışmalarda kullanılabileceği bir çok çalışmada belirtilmiştir. (Fowkes ve Toner, 1998; Gliebe et al., 1999; Ben-Akiva ve Bierlaire, 1999). C-logit modelinin modifiye ederek path-size ya da PS-logit modeli ortaya koymuşlardır.

Yakın zamanda, Logit Kernel veya Mixed Logit model (Ben-Akiva ve Bolduc, 1996; McFadden ve Train, 2000) tarafından geliştirilmiştir. Bu modelde, hata terimi, biri normal dağılım diğer, Gumbel (IID) dağılımı gösteren iki kısımdan oluşmaktadır. Normal dağılım gösteren kısım, seyahat eden kişiler arasındaki varyasyonu ifade etmekte, ikinci kısım ise matematiksel denetlenebilirliğini sağlamaktadır.

### 3.1.5. Paired Combinatorial Logit(PCL):

Chu (1981), tarafından bulunmuş olan model, Gliebe et al., (1999) ve Koppelman ve Wen (2000) tarafından geliştirilmiştir. MNL, farklı alternatiflerin faydaları arasındaki kovaryans değerini sıfır kabul etmekte; NL ise, aynı küme içerisinde bulunan alternatifler arasındaki kovaryansı eşit, farklı kümelerde bulunan alternatifler arasındaki kovaryans değerini sıfır olarak kabul etmektedir. PCL ise, hata terimleri arasındaki korelasyonu ve her alternatif çifti arasındaki farklı kovaryans değerini hesaba katmaktadır.

Verilen bir küme içinden  $i$  alternatifinin seçim olasılığı;

$$P(i) = \sum P_{(i/ij)} P_{(ij)} \quad (3-20)$$

$$P(i/ij) = \frac{e^{\left(\frac{\mu - V_i}{1 - \sigma_{ij}}\right)}}{e^{\left(\frac{\mu - V_i}{1 - \sigma_{ij}}\right)} + e^{\left(\frac{\mu - V_j}{1 - \sigma_{ij}}\right)}} \quad (3-21)$$

ve

$$P(i) = \frac{(1 - \sigma_{ij})(e^{\frac{\mu V_i}{1 - \sigma_{ij}}} + e^{\frac{\mu V_j}{1 - \sigma_{ij}}})^{1 - \sigma_{ij}}}{\sum_{l=1}^{n-1} \sum_{m=l+1}^n (1 - \sigma_{lm})(e^{\frac{\mu V_l}{1 - \sigma_{lm}}} + e^{\frac{\mu V_m}{1 - \sigma_{lm}}})^{1 - \sigma_{lm}}} \quad (3-22)$$

i ve j alternatifleri arasındaki benzerlik parametresinin değeri 0 ile 1 arasında olduğu zaman model, rastgele fayda teorisiyle uyumlu hale gelmektedir.

$$\sigma_{ij} = \frac{d_{ij}}{d_i + d_j - d_{ij}} \quad (3-23)$$

burada  $d_i$  ve  $d_j$ , sırasıyla, i ve j rota mesafeleri ya da sürelerini ifade ederken,  $d_{ij}$ , iki rota için ortak olan mesafe ya da seyahat süresini göstermektedir.

### 3.1.6. Cross Nested Logit(CNL):

Bu model, ilk olarak, Vovsha(1997) tarafından mod seçim modellemesi kapsamında geliştirilmiştir. Daha sonra; Vovsha ve Bekhor(1998), Prashker ve Bekhor (1998;1999) modeli rota seçiminde kullanmıştır. Cross Nested Logit modeli, bir alternatifin farklı üyelik dereceleri ile, birden fazla kümeye ait olabilmesine olanak sağlayan bir model olup, bu anlamda Nested Logit(NL)' in genelleştirilmiş halidir. Rota seçimi kapsamında, NL'in rota esaslı kümelenme yapısından farklı olarak bağlantı esaslı kümelenme yapısına sahiptir.

n alternatifinin seçilme olasılığı;

$$P_n = \sum_m P_m P_{n|m} \quad (3-24)$$

m nestinin seçilme olasılığı  $P_m$  ise;

$$P_m = \frac{(\sum_{n' \in N_m} (\alpha_{n'm} e^{V_{n'}})^{1/\mu_m})^\mu}{\sum_m (\sum_{n' \in N_m} (\alpha_{n'm} e^{V_{n'}})^{1/\mu_m})^\mu} \quad (3-25)$$

$P_{n|m}$ ; m nesti içinden n alternatifinin seçilme olasılığı

$$P_{n|m} = \frac{(\alpha_{nm} e^{V_n})^{1/\mu}}{\sum_{n' \in N_m} (\alpha_{n'm} e^{V_{n'}})^{1/\mu}} \quad (3-26)$$

Burada  $\alpha_{nm}$ , n alternatifinin m kümesine üyelik derecesini ifade etmektedir.

$\alpha_{nm}$  parametresinin sağlaması gereken iki şart bulunmaktadır.

- 1)  $0 \leq \alpha_{nm} \leq 1$
- 2)  $\sum_m \alpha_{nm} = 1, \forall n.$

CNL, GEV teorisiyle ve dolayısıyla faydanın maksimizasyonu ile uyumludur.  $\alpha_{nm}$  parametreleri, teorik olarak doğrudan tahmin edilebilmektedir. Ancak, tahmin edilmesi gereken parametre sayısı link ve rotaların çarpımına eşit olduğundan oldukça zor olmaktadır. Bu durum için, Prashker ve Bekhor (1999) çalışmalarında önerdikleri bağıntı;

$$\alpha_{nm} = \left( \frac{L_m}{L_n} \right)^\gamma \delta_{nm} \quad (3-27)$$

$L_m$  ve  $L_n$ ; sırasıyla link ve rota uzunlukları

$\delta_{nm}$  değeri, m linkinin n rotası üzerinde olması durumunda 1; diğer durumda 0

$\gamma$ ; sürücünün rotalar arası benzerlikleri algılayışını ifade eden parametredir.

### 3.1.7. Generalised Nested Logit (GNL):

Cross Nested Logit modelinin, farklı kümeler için, benzersizlik parametresi  $\mu$  eklenerek geliştirilmiş halidir (Wen ve Koppleman, 2000).

n alternatifinin seçim olasılığı;

$$P_n = \sum_m P_m P_{n|m} \quad (3-28)$$

m kümesinin seçilme olasılığı  $P_m$  ise;

$$P_m = \frac{\left( \sum_{n' \in N_m} (\alpha_{n'm} e^{V_{n'}})^{1/\mu_m} \right)^{\mu_m}}{\sum_m \left( \sum_{n' \in N_m} (\alpha_{n'm} e^{V_{n'}})^{1/\mu_m} \right)^{\mu_m}} \quad (3-29)$$

$P_{n|m}$ ; m kümesi içinden n alternatifinin seçilme olasılığı

$$P_{n|m} = \frac{(\alpha_{nm} e^{V_n})^{1/\mu_m}}{\sum_{n' \in N_m} (\alpha_{n'm} e^{V_{n'}})^{1/\mu_m}} \quad (3-30)$$

GNL modeli,  $0 \leq \mu_m \leq 1$  durumunda GEV ile uyumludur. CNL modelde olduğu gibi  $\alpha_{nm}$  parametresinin sağlanması gereken iki şart bulunmaktadır.

- 1)  $0 \leq \alpha_{nm} \leq 1$
- 2)  $\sum_m \alpha_{nm} = 1, \forall n.$

### 3.2. Lojistik Regresyon

Tıp, ilaç, ziraat sektörleri başta olmak üzere bir çok sektörde kullanılmakta olan lojistik regresyon, doğrudan olasılık değerlerinin bulunduğu bir istatistiksel analiz yöntemidir. Bulunan değer olasılık değeri olup; 0 ile 1 arasında olmasını sağlayacak bir S-şekilli fonksiyon kullanılır.

Bu model  $0 \leq E ( Y_i / X_i ) \leq 1$  şartını sağlamak için geliştirilmiş olup, en önemli üstünlüğü normal dağılım varsayımına ihtiyaç duymamasıdır. Lojistik regresyon modelini açıklamak için lojistik fonksiyonundan yararlanır. Modelde bağımlı değişken 1 ile ifade edilen sonucu yani sonucun olumlu olması ile ilgilenmektedir. Modelin gösterimi;

$$P_i(Y_i = 1 / X_i) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta + \beta X)}} = \frac{1}{1 + e^{-Z_i}}$$

Burada;  $P_i$ , i. bireyin belirli bir seçim yapma olasılığıdır.  $Z_i$  değişkeni  $-\infty$  ile  $+\infty$  arasında değerler aldıkça  $P_i$  0 ile 1 arasında değerler almaktadır. Bu yüzden  $P_i$  ile  $Z_i$

(Yani  $X_i$ ) arasındaki ilişki doğrusal olmayacaktır.  $P_i$  ile  $X_i$  ve  $\beta$ ' lar arasında doğrusal bir ilişki bulunmadığından, en küçük kareler yöntemi kullanılmamaktadır.

Bireyin istenilen seçimi yapma olasılığı  $P_i$  ise istenilen seçimi yapmama olasılığı  $1 - P_i$  olur. Buna istenilen seçimi yapmanın lehine fark oranı adı verilir

$$1 - P_i = \frac{1}{1 + e^{Z_i}} \text{ olur. Dolayısıyla } \frac{P_i}{1 - P_i} = \frac{1 + e^{Z_i}}{1 + e^{-Z_i}} = e^{Z_i} \text{ 'dir.}$$

Lojistik model her iki tarafın doğal logaritması alınarak;

$$L_i = \ln \left[ \frac{P_i}{1 - P_i} \right] = \ln [e^{Z_i}] = Z_i \text{ şeklinde elde edilir.}$$

Bu modelde  $L_i$  fark oranı logaritması olup hem  $X_i$  hem de  $\beta$  parametrelerine göre doğrusaldır.

### 3.2.1. Lojistik Regresyonun Kurulması:

Anket verileri incelenerek, Trafik Güvenliği, Tıkanma Olasılığı, Seyahat Süresi ve Çevresel Etki parametreleri ile güzergahların seçilme/seçilmeme durumları incelenmiştir. Her güzergah için bağımsız olarak oluşturulan lojistik regresyon modelinde, güzergahın seçilme durumu 1; seçilmeme durumu 0 ile ifade edilerek ikili bir durum oluşturulmuştur. İncelenen parametrelerin güzergahların seçimi üzerindeki etkisi belirlenmiştir.



## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

# BULANIK MANTIK TEKNIĞİ

## 4. BULANIK MANTIK TEKNIĞİ

### 4.1. Genel

Temelleri eski Yunan felsefelerine dayanan, uygulamada ise Yapay Zekanın yönlendirici bir unsuru olan Bulanık sistemler (Fuzzy Systems), Aristoteles'ten günümüze gelişen klasik küme üyeliğine ve mantığına karşı oluşturulmuş bir alternatiftir. Çok eskilere dayanan temellerine karşı göreceli olarak gelişimini sürdürmekte olan yeni bir bilim sahasıdır.

Günlük hayatta yer alan bir çok olay klasik mantığın kabul ettiği gibi, birbirinden çok kesin çizgilerle ayrılmamakta, belirsizliklerin sözkonusu olduğu karmaşık durumlar söz konusu olmaktadır. Bu belirsizlikler insanlar tarafından çeşitli kabuller ile giderilmekte veya tahmin edilmektedir.

Araştırmacılar tarafından yapılan incelemeler sonucu belirsizliğin olaylardaki önemli rolünün anlaşılması, geleneksel anlayıştan belirsizliği temel alan modern anlayışa geçişi sağlayan dönüşümü başlatmıştır. Bu dönemde, olasılık teorisinden farklı olarak belirsizlikle ilgili bir çok teoremin ortaya çıktığı görülmüştür. Bu teorilerle, aynı zamanda birden çok belirsizlik türünün olduğu ve olasılık teorisinin bu belirsizlik türlerinden sadece rastgele belirsizlik ile ilgilendiği ortaya çıkmıştır.

Genel olarak mühendislikte incelenen olaydaki belirsizlikler için istatistik veya matematik yöntemler kullanılmakta ve çoğunlukla olay ile ilgili kabuller yapılarak model kurulmaktadır. Ancak, rastgele olmayan olan belirsizlik halleri için, istatistik

veya matematik yöntemler kullanılması uygun olmamaktadır. Örneğin, bir zarın atılışında gelebilecek sayıyı bilmek rastgele belirsizliği ifade ederken, hava sıcaklığını "çok sıcak" şeklinde ifadesinde rastgele olmayan bir belirsizlik söz konusudur. Bu ifadede "çok sıcak" terimine karşılık gelen sayısal değerde kişilere göre değişiklik mevcut olmakla beraber, örneğin 48°C lik bir değer tüm insanlar tarafından kabul edilecektir. İşte bu tür rastgele olmayan belirsizlikler bulanık (fuzzy) olarak tanımlanmaktadır.

## 4.2. Bulanık Mantığın Tarihçesi

Matematiğin doğruluğundaki ve bütünlüğündeki başarısında Aristoteles'in ve onun izinden giden düşünürlerin büyük katkısı olmuştur. Bu düşünürlerin çalışmaları sonucu "Düşüncenin Yasaları" oluşturulmuştur. Bu yasalardan biri her önermenin "Doğru" yada "Yanlış" olması gerektiğini öngörmüştür. Bu kavramı Perminedes ilk ortaya attığı zaman bile (yaklaşık M.Ö. 400) karşı görüşlerin oluşması uzun sürmedi. Heraclitus bazı şeylerin aynı anda hem doğru olmasının hem de doğru olmamasının mümkün olabileceğini savunmuştur.

Bulanık Mantığı oluşturacak temel düşünceyi Plato, "Doğru" ve "Yanlış'ın" iç içegirdiği üçüncü bir durumu belirterek oluşturdu. Hegel ve Marx gibi modern düşünürler bu düşünceyi destekledi ancak ilk kez Lukasiewicz, Aristoteles'in iki-değerli mantığına sistematik bir alternatif getirdi. Lukasiewicz 1900'lerin başında 3. bir değer ortaya attı: "olası".

Lukasiewicz daha sonra 4., 5., 6. vs. gibi değerleri de oluşturdu ve "Doğru" ile yanlış arasında sonsuz farklı değerler atanabileceğini gösterdi. Lukasiewicz ve onu izleyen diğer matematikçiler bu değerleri nümerik olarak ifade etmiş olsalarda , 1965 yılında Kaliforniya Üniversitesi'nde Lotfi A. Zadeh, bu değerleri [0.0, 1.0] aralığındaki sayılarla ifade ettiği teorisini "Bulanık Mantık" adlı çalışmasında tanımlayana dek, sonsuz-değerli mantık uygulamada başarılı olamamıştı.

Zadeh bu çalışmasında klasik küme teorisinin tanımlayamadığı kümelerden hareket ederek, bu tanımlara ulaşmanın yollarını aramıştır. Ona göre gerçek dünyada bir kümenin (uzayın) elemanları arasındaki ilişkiler kesin olarak tanımlanamamaktadır. Bununla ilgili olarak bir felsefecinin şu sözleri dikkat çekmektedir:

“..... bir tek buğday bir yığın oluşturmaz; iki tane ve üç tane buğday da benzer olarak bir yığın oluşturmaz. Diğer yandan 100 milyon buğdayın bir yığın oluşturacağını herkes kabul eder. Öyleyse kesin sınır nedir?. 325647 buğday bir yığın oluşturmazken, 325648 buğdayın bir yığın oluşturacağını söyleyebilir miyiz.?”

Klasik küme teorisinden kaynaklanan bu problem, klasik mantığın kabulü olan var - yok çiftinin ara değerlerini tanımlamakla yok edilebilir. Bulanık mantık ve bulanık küme teorisini anlayabilmek için öncelikle klasik küme teorisinin yapısını incelemek gereklidir.

### 4.3. Klasik Küme Teorisi

Matematiksel olarak küme, kendisine ait olan ve olmayan elemanların kesin olarak bilindiği topluluktur. Kümeyi oluşturan bu topluluğa veya nesnelere bu kümenin elemanları denir.

Örneğin, üç elemanlı bir A kümesinin liste gösterimi

$$A = \{3,4,5\}$$

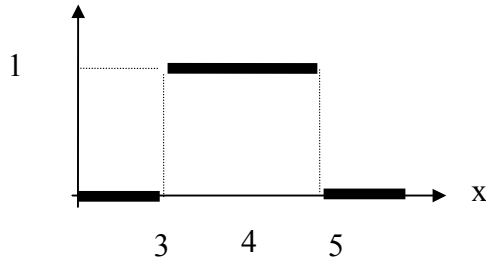
şartlı bir fonksiyon şeklinde gösterimi;

$$A = \{x \mid x \geq 3 \text{ ve } x \leq 5\}$$

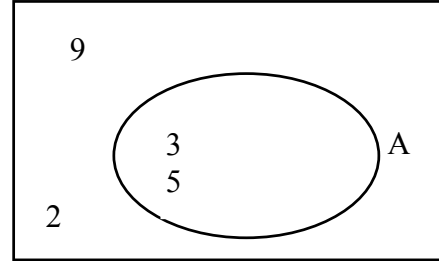
şeklindedir. Genel bir ifadeyle, bir A kümesinin elemanı olmak için, bu kümenin karakteristik fonksiyonuna sahip olmak gereklidir. Kural olarak, elemanın kümeye ait

olması 1, olmaması ise 0 ile gösterilir. Bu kuralın grafik olarak gösterimi Şekil 4.1.a'da verilmiştir. Buna göre, 3, 4 ve 5 elemanları, A kümesinin elemanı olup, kümeye ait olma dereceleri 1 iken bunun dışında kalan tamsayılar A kümesinin elemanı değildir ve kümeye ait olma dereceleri 0 olmaktadır.

Üyelik derecesi



a) Keskin küme



b) Venn Şeması

Şekil 4.1 Keskin A kümesinin gösterimi

Şekil 4.1.b'de, A kümesinin Venn şeması ile gösterimi verilmiştir. Görüldüğü gibi A kümesinin sınırları kesin olarak belirlenmiştir. Burada 3, 4, 5 elemanları 1 üyelik derecesi ile, kesin olarak belirlenmiş olan küme sınırları içerisinde yer alırken; 2 ve 9 elemanları A kümesinin dışında kalmakta ve 0 üyelik derecesine sahip olmaktadır.

Klasik küme teorisi, elemanların kümeye dahil olup olmaması konusundaki kesin sınırlandırmasıyla, uygulamada esnek olmamaktadır. 1960'lı yıllarda teorisi oluşturulan ve aşağıda açıklanacak olan yeni bir küme kuramı tabiattaki uygulamalar için daha esneklerdir.

#### 4.4. Bulanık Küme Teorisi

Bulanık mantığın temelini oluşturan bulanık küme teorisi, klasik küme teorisine alternatif olarak L.A. Zadeh tarafından ortaya atılmıştır (Zadeh,1965).

Bulanık küme teorisinde, üyelikten üye olmamaya geçiş dereceli bir şekilde olmaktadır. Bu durum, belirsizliğin ölçülmesinde güçlü ve anlamlı araçlar sunmasının yanı sıra, doğal dilde ifade edilen belirsiz kavramların anlamlı bir şekilde temsil

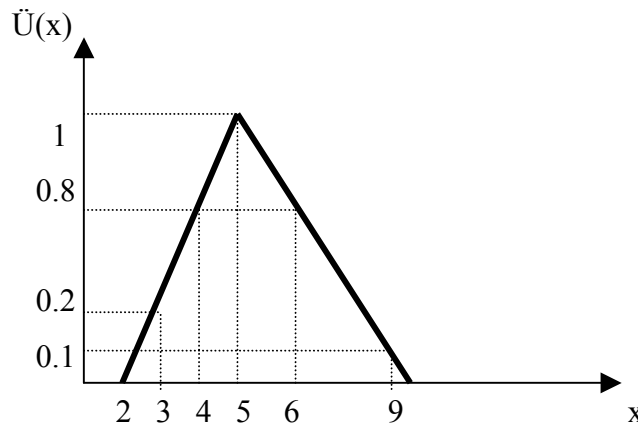
edilebilmesini sağlamaktadır. Bulanık kümeler, insanın algılama dünyası ve çözümleme dünyasında bir köprü kurmaktadır (Dubois ve diğ., 1993).

Şekil 4.1.a' da gösterilen A kümesi bulanık küme kapsamında değerlendirildiğinde, kümenin elemanı olma veya olmama hali belirli üyelik dereceleri ile ifade edilmektedir. Buna göre A bulanık kümesinin elemanları ve üyelik dereceleri liste gösterimi ile aşağıdaki biçimde tanımlanmaktadır:

$$A = \{ 0.2/2 + 0.8/3 + 1/4 + 0.8/5 + 0.1/9 \}$$

Klasik küme kavramında, kümenin elemanı olarak kabul edilmeyen 2 ve 9 rakamları, bulanık küme kavramında, belirli bir üyelik derecesi ile kümenin elemanı olarak kabul edilmektedir. Şekil 4.2' de bulanık A kümesinin elemanları ve üyelik dereceleri,  $\tilde{U}(x)$  görülmektedir.

Bulanık küme teorisinin ortaya atılmasından sonra, Zadeh yayınladığı çalışmalarında, bulanık küme teorisinin, en büyük yaklaşıklıkla insanın karar verme sistemini modelleyebilecek yeterlilikte olduğu fikrini ortaya atmıştır (Zadeh, 1973).



Şekil 4.2 Bulanık A kümesinin elemanları ve üyelik dereceleri.

#### 4.4.1. Bulanık küme işlemleri

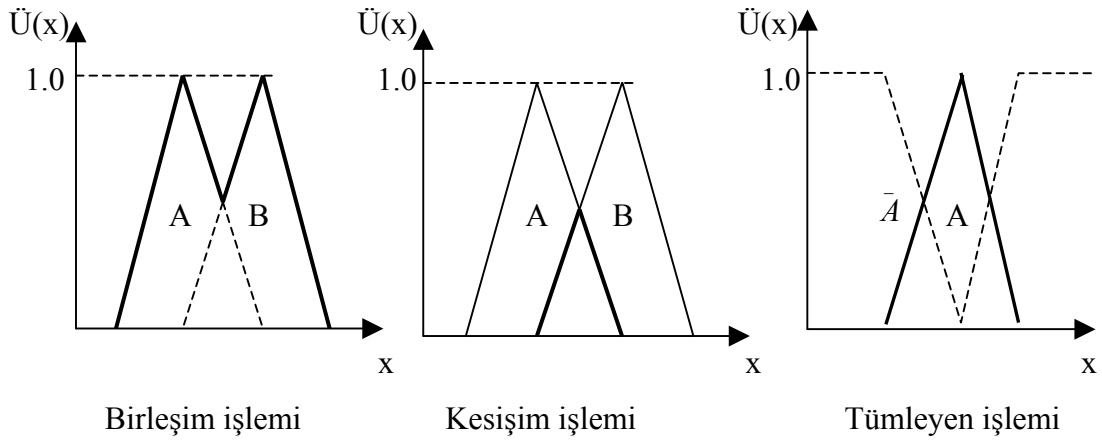
Boş olmayan bir  $X$  evreninde  $A$  ve  $B$  bulanık kümeleri tanımlanmış olsun.  $A$  ve  $B$  kümeleri için birleşim, kesişim ve tümleyen teorik küme işlemleri sırasıyla aşağıdaki gibidir.

$$\check{U}_{A \cup B}(x) = \check{U}_A(x) \vee \check{U}_B(x) = \max[\check{U}_A(x), \check{U}_B(x)]$$

$$\check{U}_{A \cap B}(x) = \check{U}_A(x) \wedge \check{U}_B(x) = \min[\check{U}_A(x), \check{U}_B(x)]$$

$$\check{U}_{\bar{A}}(x) = 1 - \check{U}_A(x)$$

Bu işlemlerin üyelik dereceleri ile ifadesi Şekil 4.3'de görülmektedir.



Şekil 4.3 Bulanık küme işlemleri

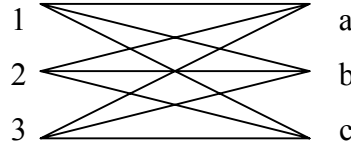
Bulanık küme işlemleri ile klasik küme işlemleri genel olarak benzer olmakla beraber, üyelik derecelerinin değerlendirilmesi ile ilgili bazı farklılıklar söz konusudur. Klasik kümeler için geçerli olan tüm küme işlemleri, aşağıda verilen iki işlem dışında, bulanık kümeler için geçerlidir.

$$(i) A \cup \neg A = X \quad \text{ve} \quad (ii) A \cap \neg A = \emptyset$$

#### 4.4.2. Bulanık küme ilişkileri

Bulanık küme ilişkilerinin temelinde, klasik kümelerde de yer alan kartezyen çarpımlar bulunmaktadır. Kartezyen çarpım sonucunda kümelerin öge çarpım sayısı kadar ortak nokta ortaya çıkar. Bulanık küme kapsamında, bu noktalar ilişki kümeleri olarak tanımlanmaktadır.

İki kümenin verilmesi halinde bunların çarpımı için, bir kümedeki elemanların diğer kümedekilerle nasıl eşleştirildiklerini gösteren karşılıklı çizgi diyagramı (Sagittal diyagram) kullanılır (Şekil 4.4). Bu diyagramda küme elemanları noktalarla; ilişkiler ise çizgiler ile gösterilmektedir.



Şekil 4.4 Karşılıklı Çizgi (Sagittal) diyagramı.

Sagittal diyagramındaki çizgileri, ilişki matrisinde 1 ile ifade edecek olursak;  $X=\{1,2,3\}$  ve  $Y=\{a,b,c\}$  kümelerinin kartezyen çarpımlarının ilişki matrisi;İ;

$$\begin{array}{c} a \quad b \quad c \\ 1 \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \\ 2 \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \\ 3 \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{array}$$

şeklinde gösterilir.

İki farklı ilişki matrisinin birleştirilmesi için iki küme işlemi yapılabilir. Bunlar;

(EB)-(EK) (EnBüyük-EnKüçük) ve EB çarpım (max product) işlemleridir.

Bu ilişki ve işlem;

$$T = RoS$$

$$(EB-EK) \quad \ddot{U}_T(x, z) = \vee [\ddot{U}_R(x, y)] \wedge [\ddot{U}_S(y, z)]$$

$$(EB \text{ çarpım}) \quad \ddot{U}_T(x, z) = \vee [\ddot{U}_R(x, y)] \times [\ddot{U}_S(y, z)]$$

şeklinde ifade edilebilir.

Bulanık küme ilişkilerindeki işlemlerin klasik kümelerdeki ilişkilerindeki işlemlerden farkı, işlem sırasında üyelik derecelerinin 0 ve 1 gibi iki değerli olmayıp, 0 ile 1 aralığında herhangi bir ondalık değeri de içermesidir.

X x Y kartezyen uzayında yer alan A ve B gibi bulanık ilişki matrisleri arasındaki küme işlemleri üyelik değerleri gözetilerek aşağıdaki gibi yapılır.

$$\text{Birleşim} \quad \ddot{U}_{A \cup B}(x, y) = EB[\ddot{U}_A(x, y), \ddot{U}_B(x, y)]$$

$$\text{Kesişim} \quad \ddot{U}_{A \cap B}(x, y) = EK[\ddot{U}_A(x, y), \ddot{U}_B(x, y)]$$

$$\text{Tamamlayıcı} \quad \ddot{U}_{A^-}(x, y) = 1 - \ddot{U}_A(x, y)$$

$$\text{İçerme} \quad A \subset B \Rightarrow \ddot{U}_A(x, y) \leq \ddot{U}_B(x, y)$$

İlişki matrisindeki üyelik değerlerinin belirlenmesinde birkaç yöntem vardır. Bunlar;

- Kartezyen Çarpım: Bu bölümde anlatıldığı şekilde belirlenmektedir.
- Kapalı şekil ifadeleri : İncelenen fiziksel olayda, verilen bir girdi kümesi için çıktı kümesinin ne olacağı gözlemlenmelidir. Eğer girdi-çıktı çifti için değişme gözlemlenmiyorsa bu sistemin klasik kümelerle modellenmesi yoluna gidilir ve bu durumda, ilişki kapalı form olarak  $Y=f(x)$  şeklinde gösterilebilmektedir. Burada X giriş, Y ise çıkış kümesi öğelerinden oluşur.
- Tablo Yöntemi: Gözlemlenen giriş-çıkış çifti için biraz değişkenlik bulunuyorsa, 0-1 aralığında üyelik derecelerinin atanması ile bulanık ilişki kurma yoluna gidilir.



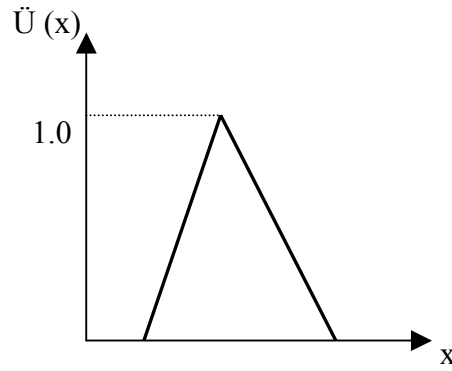
- Sözel Bilgi Kuralları: Bulanık sözel bilgilerden yararlanılarak, sonuçta EĞER-İSE türünde kurallar bulunur. Böyle bilgiler, konunun uzmanları, anketler veya genel görüş birliği ile elde edilebilir.
- Sınıflandırma: Verilerin sınıflandırılması veya belirgin şekillerin ortaya çıkması ile ilişki matrisinin öğelerinin değerleri bulunabilir.
- Veri işleminde benzerlik yöntemleri: En sık kullanılan yöntemlerden biri verilerden ilişki matrisinin değerlerinin belirlenmesidir. Bunun için birkaç yöntem mevcuttur.

#### 4.4.3. Üyelik Fonksiyonları

Bulanık mantık işlemleri için gerekli üyelik fonksiyonları, dilsel niteleyicilerden oluşan bir ifade grubudur. Göz önünde tutulan bir bulanık kelime veya ifadenin temsil ettiği bir sayısal aralık, o ifade hakkında bilgi sahibi olan kişiler tarafından belirlenebilir. Örneğin İstanbul'da sıcaklığın değişim aralığı yaklaşık olarak  $-5$ 'den  $+35$ 'e kadar olduğu söylenebilir. Bu aralık, sıcaklık kümesinin İstanbul için öğelerinin bulunabileceği aralığı belirtir. Böylece tüm sıcaklık uzayı belirlenmiş olur. Ancak günlük konuşmalarda bu sıcaklık uzayının da bir takım alt aralıklardan oluştuğu düşünülür; çok soğuk, soğuk, ılık, sıcak, çok sıcak gibi. Burada, her bir alt terimin aralığının ne olduğuna karar verilmesi gerekirse, öncelikle bu alt kümelerin her birinin üst üste örtüşmeyen ancak birbirinin sınırdaki devamı imiş gibi oldukları söylenebilir. (örneğin çok soğukun  $-5$  ile  $0$ ; soğukun  $0$  ile  $+8$ ; ılığın  $+8$  ile  $+15$ ; sıcaklığın  $+15$  ile  $+25$ ; çok sıcak ise  $+25$  den başladığı söylenebilir.) Burada yapılan aralık tahminlerinde örtüşmeler sözkonusu değildir, ancak bu aralıkların gerçekte bu şekilde birbirleriyle örtüşmeden kesin sınırlar ile oluştuğu kanısına varmak yanlıştır.

İkinci bir soru ise; her alt aralığa ait sıcaklık derecelerinin aynı önemde olup olmayacağıdır. Örneğin, ılık aralığının alt ve üst uçlarına yaklaştıkça onun komşusu olan altta sıcak üstte ise soğuk alt kümelerine doğru geçişler beklendiği için, o geçiş

bölgelerine rastlayan kısımların tam anlamı ile ılık özelliğine sahip olacağı söylenemez. Böylece, her bir alt aralığa düşen sıcaklık derecelerinin o alt aralığın uçlarına yakın kısımlarında önemlerini göreceli olarak kaybedeceği sonucuna, buradan da eğer bir alt aralıkta önem derecesi diye bir değer düşünülecek olursa bunun en büyük değerlerinin ortalarda, en düşüklerinin ise uçlarda olacağını anlayabiliriz. Bu düşüncelerin geometrik olarak gösterimi Şekil 4.5' de verilmiştir.

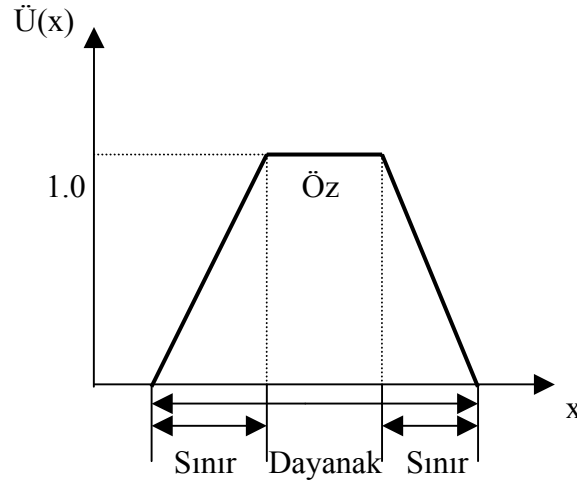


Şekil 4.5 Bulanık küme

Genel olarak küme üyelerinin değerleri ile değişiklik gösteren böyle bir eğriye önem eğrisi adı verilebilir. Bu eğrinin en önemli özelliği, alt küme sınırlarındaki değerlerin orta öğelerinkine göre daha düşük olmasıdır. Ancak klasik kümelere bir benzerlik teşkil etmesi açısından en büyük önem derecesine sahip olan ortaya yakın öğelere 1 değeri atanırsa, diğerlerinin 0 ile 1 arasında ondalıklı ve sürekli bir değişim gösterdiği sonucuna varılır. Böylece 0 ile 1 arasındaki değişimin, her bir öğe için değerine; üyelik derecesi, bunun bir alt küme içindeki değişimine ise üyelik fonksiyonu adı verilir.

#### 4.4.3.1 Üyelik fonksiyonunun kısımları

Üyelik fonksiyonları üçgen, yamuk veya çan eğrisi şeklinde gösterilebilir. En genel hali ile yamuk şeklindeki bir üyelik fonksiyonunun kısımları, Şekil 4.6' da gösterildiği gibidir.



Şekil 4.6 Üyelik fonksiyonu kısımları.

**Öz (Core):** Verilen bir bulanık alt kümede, üyelik dereceleri 1'e eşit olan öğelerin toplandığı orta kısma, o alt kümenin özü (core) denir. Burada yer alan tüm öğeler için  $\tilde{U}(x)=1$  olmaktadır. Üçgen şeklindeki üyelik fonksiyonunda, üyelik derecesi 1'e eşit olan yalnızca bir öğe olduğundan, üçgen üyelik fonksiyonlarında kümenin öz'ü bir nokta olarak karşımıza çıkar.

**Dayanak (Support):** Bir alt kümenin tüm öğelerini içeren aralığa o alt kümenin dayanağı (support) adı verilir. Kümenin dayanak kısmında yer alan her öğe, 0 ile 1 arasında bir üyelik derecesine sahiptir. Bu durum matematiksel olarak  $\tilde{U}(x) > 0$  şeklinde ifade edilir.

**Sınırlar (Geçiş Bölgeleri):** Üyelik derecesi 1'e veya 0'a eşit olmayan öğelerin oluşturduğu kısımlara üyelik fonksiyonunun sınırları veya geçiş bölgeleri adı verilir. Geçiş bölgesine ait öğeler, alt kümenin kısmi öğeleri olup, matematiksel tanımı  $0 < \tilde{U}(x) < 1$  şeklindedir. Tüm üyelik fonksiyonlarında, öz'ün sağında ve solunda olmak üzere iki geçiş bölgesi bulunmaktadır.

**Geçiş Noktası:** Bulanık kümelerin üyelik fonksiyonlarında üyelik derecesinin 0.5'e eşit olduğu ( $\tilde{u}_A(x) = 0.5$ ) noktaya geçiş noktası adı verilir.

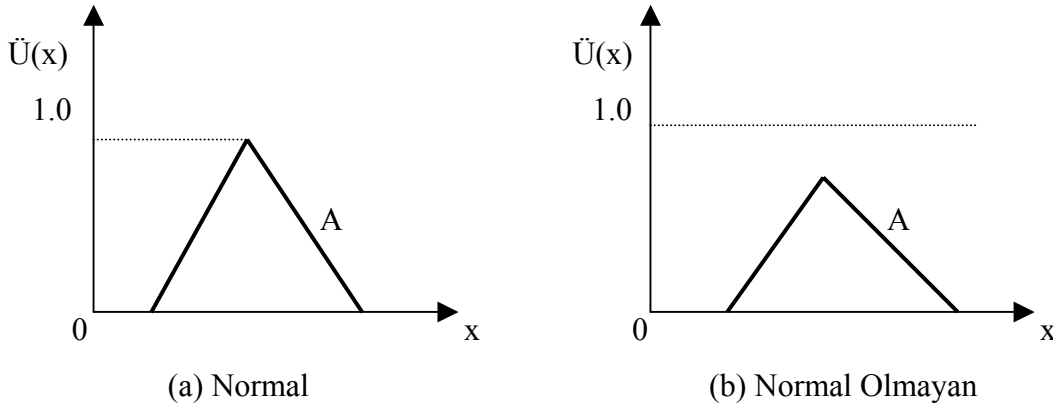
( $\alpha$ -kesiti):  $X$  de tanımlı bir  $A$  bulanık kümesi ve  $\alpha \in [0,1]$  verilsin.  $\alpha$ -kesiti,  $\alpha A$ , ve güçlü  $\alpha$ -kesit,  $\alpha+A$ , aşağıdaki gibi tanımlanmış keskin kümelerdir:

$$\alpha A = \{ x \mid A(x) \geq \alpha \}$$

$$\alpha+A = \{ x \mid A(x) > \alpha \}$$

**Yükseklik:** Bulanık kümenin en büyük üyelik derecesine yüksekliği denir. Normal bulanık kümelerde yükseklik değeri 1'e eşittir. Normal olmayan bulanık kümeleri normal hale dönüştürmek için o kümenin her üyelik derecesinin en büyük üyelik derecesine bölünmesi gereklidir

Üyelik fonksiyonunun bir başka özelliği, bulanık kümenin normal olup olmadığını belirlememize yarayan kavramdır. Normal bulanık küme, en az bir tane üyelik derecesi 1'e eşit olan öğenin bulunduğu kümedir. Şekil 4.7' de normal ve normal olmayan bulanık kümelere ait örnekler verilmiştir.

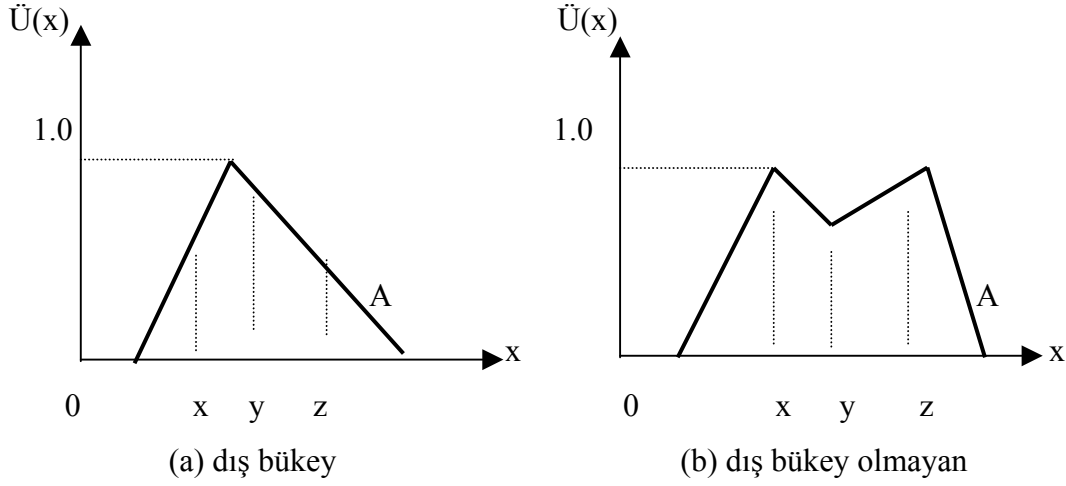


Şekil 4.7. Bulanık kümeler

Bir diğer özellik ise bulanık kümenin dış bükey (konveks) olmasıdır. Dış bükeyliğin matematik olarak tanımlanmasına göre, aynı bulanık alt kümeye düşen  $x$ ,  $y$ , ve  $z$  gibi üç öğenin büyüklük değerleri arasında  $x < y < z$  gibi bir sıralama bulunuyor ise, bunlardan ortadakinin üyelik fonksiyonu için;

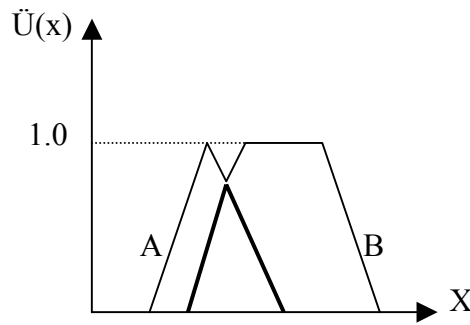
$$\tilde{u}_A(y) \geq EK[\tilde{u}_A(x), \tilde{u}_A(z)] \quad (4.1)$$

bağıntısı daima geçerli olmalıdır. Bu durumda, A kümesine dış bükey bulanık küme adı verilir. Şekil 4.8'de dış bükey olan ve olmayan bulanık alt kümelere ait örnekler görülmektedir.



Şekil 4.8 Bulanık kümeler

A ve B gibi iki dış bükey bulanık kümenin kesişimi de Şekil 4.9 da görüldüğü gibi dış bükey olacaktır.

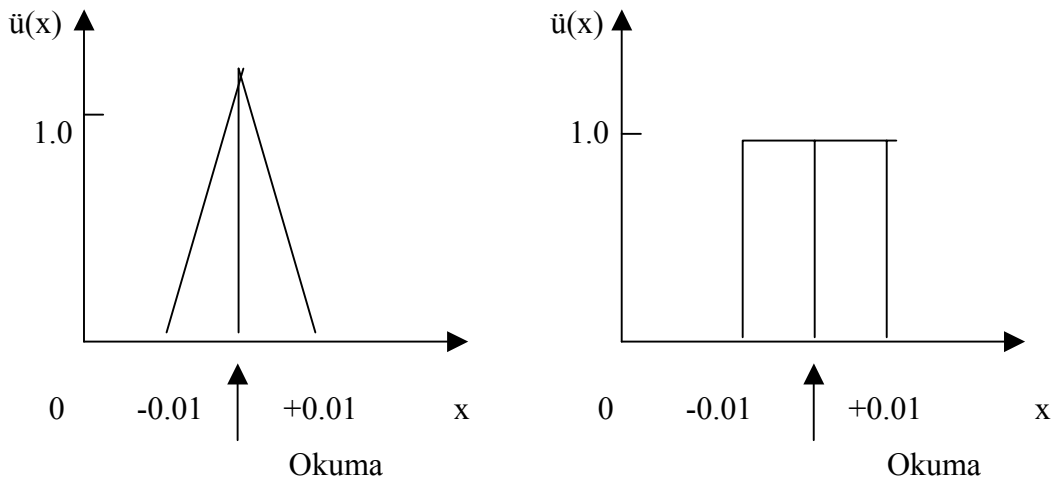


Şekil 4.9 Dış bükey bulanık kümelerin kesişimi

#### 4.4.4. Bulanıklaştırma

Ölçümlerden elde edilen değerlerin bulanıklaştırılması, gerçek sayılar kullanılarak, konuşma diline yakın dilsel tanımlamalarla yapılabilir. Klasik küme şeklinde beliren

değişim aralıklarının bulanıklaştırılması, bulanık küme, mantık ve sistem işlemleri için gereklidir. Bunun için bir aralıkta bulunabilecek öğelerin hepsinin 1 üyelik derecesine sahip olması yerine, bazı öğelerin belirsizlik içerdiği kabul edilerek 0 ile 1 arasında değişik değerlere sahip olması düşünülür. Bu belirsizliğin sayısal olmayan durumlardan kaynaklanması halinde bulanıklıktan söz edilir. Örneğin cihazın duyarlılığı (prezisyonu) için  $\pm$  %1'lik duyarlılık sınırı, bu cihazla yapılan bir  $x$  ölçümünün gerçek değerinin  $x + 0.01$  ve  $x - 0.01$  arasında değişeceğini ifade eder. Bu örneğin klasik ve bulanık kümelerde gösterimi Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10 Duyarlılık (prezisyon) (a) bulanık (b) klasik

#### 4.4.5. Üyelik derecesi atanması

Bulanık küme öğelerini, üyelik dereceleri ile birlikte temsil edebilecek üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde, kişisel sezgi, mantık ve tecrübelerin kullanıldığı yaklaşımlar pratikte birçok sorunun üstesinden gelmek için çoğu zaman yeterli olup; ilk yaklaşımın bu şekilde olması genel olarak faydalı olmaktadır.

Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde kullanılan başlıca yöntemler;

- sezgi,
- çıkarım,

- derecelendirme,
- açılı bulanık kümeler,
- yapay sinir ağları,
- genetik algoritmalar,
- çıkarımcı muhakeme

gibi değişik yaklaşımlardır (Şen, 1998).

Sezgi yöntemi, fazlaca teknik bilgi gerektirmemektedir. Burada her kişinin kendi anlayış, görüş ve olaya bakışları önemli rol oynar.

Derecelendirme yönteminde, bir bulanık değişkene anketler, soruşturmalar veya seçimler sonucunda üyelik derecelerinin atanmasına çalışılır. Her zaman verilen iki seçenek arasındaki tercihler sayılır veya bu tercihlere verilen puanlandırmalarla işlem görülür.

Açılı üyelik dereceleri koordinat bakımından alışlagelmiş bulanık kümelerden farklı olup, her  $2\pi$  aralığında kendisini tekrarlamaktadır.

Üyelik fonksiyonlarının atanması ile ilgili olarak özellikle yapay sinir ağları ve genetik algoritmalar gibi yöntemler de sıkça kullanılmaktadır (Şen, 1998).

#### **4.4.6. Bulanık kural tabanı**

Temel insan düşüncesi, öncelikle kavramsal şekiller ve akıl görüntüleri şeklindedir. Sayısal belirginlikler bu kavram ve olguların gelişerek olgunlaşmasından sonra ortaya çıkar. Yani insan düşünce sisteminin ilk aşamaları oldukça bulanıktır, zaman içinde berraklaşarak durulaşır ve daha belirgin hale gelir.

Bulanık küme kavramları, sözelden sayısal geçişte bir köprü görevi yapmaktadır. Bulanık kümeler ile sözcüklerin ifade edilmesi için, öncelikle X gibi doğal bir dilin sözcüklerini içeren bir toplum kümesi, bu küme içinde  $\alpha$  öğeleri, bunların anlam dünyasında A gibi bir bulanık kümesi ve  $\alpha$  öğelerine karşı gelen üyelik dereceleri

düşünülebilir. Böylece doğal bir dil, X toplumundaki kelime atomlarının, Y toplumundaki anlamlarla eşleştirilmesi ile ifade edilebilir. X toplumundaki her  $\alpha$  ögesi, Y anlam toplumundaki bir A bulanık kümesinin  $\alpha$  ögesine karşılık gelir. Örneğin, "genç" kelime atomuna karşı gelebilecek bir bulanık alt kümenin ögeleri şu şekilde tanımlanabilir:

$$A='genç'=\int_0^{25} \frac{1}{g} + \int_{25}^{100} \frac{1}{g} \left(1 + \left(\frac{g-25}{5}\right)^2\right)^{-1} \quad (4.2)$$

veya üyelik fonksiyonu

$$\tilde{U}(\text{genç},g)=\begin{cases} \left(1 + \left(\frac{g-25}{5}\right)^2\right)^{-1} & g \geq 25 \text{ yıl} \\ 0 & g \leq 25 \text{ yıl} \end{cases} \quad (4.3)$$

$$0 \quad g \leq 25 \text{ yıl} \quad (4.4)$$

şeklinde yazılabilir. (Ross, 1995)

Bu şekilde ifade edilen sözcüklerin sayısal değerlerini içeren üyelik fonksiyonlarına o sözcüğün yorumu adı verilir. Bu şekilde ifade edilen sözcüklerden oluşan cümleler yapabilmek için 've', 'veya', 'değil' gibi bağlaçlar kullanılarak küme işlemleri yapılır. Örneğin, bir toplulukta  $\alpha$  ve  $\beta$  gibi iki sözcük atomunun bulunduğu kabul edilirse, bunlardan elde edilecek birleşik sözcüğün bulanık küme işlemleri ile oluşturulmasında aşağıdaki işlemlerden yararlanılabilir (Ross, 1995).

$$\alpha \text{ veya } \beta : \tilde{u}_{\alpha \text{ veya } \beta}(y) = EB[\tilde{u}_{\alpha}(y), \tilde{u}_{\beta}(y)] \quad (4.5)$$

$$\alpha \text{ ve } \beta : \tilde{u}_{\alpha \text{ ve } \beta}(y) = EK[\tilde{u}_{\alpha}(y), \tilde{u}_{\beta}(y)] \quad (4.6)$$

$$\alpha \text{ değil } : \tilde{u}_{\alpha}^-(y) = 1 - \tilde{u}_{\alpha}(y) \quad (4.7)$$



#### 4.4.6.1 Bulanık kuralların harmanlanması

Bir sistemin modellenmesi için, oluşturulan bulanık kuralların harmanlanarak hepsinin katkısıyla genel bir çıkarım elde edilmesi gereklidir. Çok sayıda bulanık çıkarımın harmanlanması için kullanılan iki yaklaşım bulunmaktadır. Bunlardan birincisinde; sistemi temsil eden ve gerçekleşen kuralların tümü 've' bağlacı ile birleştirilir yani kümeler teorisine göre bunların kesişimleri alınır. Bu şekilde harmanlanmış çıkarım,  $y$ , tekil bulanık çıkarımların,  $y_i$ , ( $i=1,2,\dots,r$ ) kesişimi olarak elde edilir. Yani

$$y = y_1 \text{ ve } y_2 \text{ ve } y_3 \text{ ve } \dots \text{ ve } y_i$$

veya

$$y = y_1 \cap y_2 \cap y_3 \cap \dots \cap y_r$$

Bulanık kümeli çıkarımların bulunması durumunda ise üyelik fonksiyonlarının kullanılması ile harmanlanmış çıkarım

$$\mu_Y(y) = \text{EK}[\mu_{y_1}^1(y), \mu_{y_2}^2(y), \dots, \mu_{y_r}^n(y)] \quad (4.8)$$

olarak yapılır.

İkinci bir harmanlama yaklaşımı ise kural tabanlı tekil çıkarımların 'veya' bağlacı ile bağlanarak birleşiminin alınması şeklindedir. Bu durumda kurallar;

$$y = y_1 \text{ veya } y_2 \text{ veya } y_3 \text{ veya } \dots \text{ veya } y_r$$

veya

$$y = y_1 \cup y_2 \cup y_3 \cup \dots \cup y_r$$

Bulanık kümeli çıkarımların bulunması durumunda ise üyelik fonksiyonlarının kullanılması ile harmanlanmış çıkarım

$$\ddot{u}Y(y)=EB[\ddot{u}_y^1(y), \ddot{u}_y^2(y), \dots, \ddot{u}_y^n(y)] \quad (4.9)$$

şeklindedir.

#### 4.4.6.2. Kural tabanlı sistemler

Bilgi işlemlerinin makineler tarafından algılanma yolu olan yapay zeka alanında, bilgi işlemi için kullanılan yollardan bir tanesi de, bilgiyi insan dilindeki gibi bir ifade ile temsil etmektir. Bu en yaygın olarak kullanılan insan bilgisini işleme yöntemidir. Böyle bir ifadede EĞER-İSE (IF-THEN) ile ayrılmış olan iki kısım bulunur. Bunlardan EĞER ile İSE arasında bulunan kısma öncül veya ön koşul, İSE'den sonraki kısma ise soncul veya çıkarım adı verilir (Şen,1998).

EĞER    öncül    İSE    çıkarım

Bu türlü yapısı olan ifadelere 'EĞER-İSE kural tabanlı' biçim adı verilir. Bu ifade bilinen bazı bilgilerin kullanılması ile bunların ışığında faydalı olan diğerlerinin çıkarılması anlamına gelir. Bu tür bilgiler, insanın kendi kişisel deneyimlerinden hareketle çıkardığı, yerine göre çok nesnel (objektif) olmayan 'sığ bilgiler' dir. Bunun karşısında, 'derin bilgiler' in sözel olarak kolayca çıkarılması mümkün değildir. Örneğin Kepler yasaları ve Newton kurallarının gelişerek oluşmasında yılların gözlem, deneyim ve birikimleri vardır. Kural tabanlı bilgilerin uzmanlar tarafından verilen bilgilerden farklı tarafı uzmanlardan başka kaynaklardan da yararlanarak yazılabilmektedir. Kural tabanlı olan bilgilerin gerek öncül gerekse çıkarım olan son kısımları ayrı ayrı bulanıklaştırılarak işlemler yapılır.

#### 4.4.7. Grafik çıkarım teknikleri

Genel olarak bulanık bir sistem,  $x_1$  ve  $x_2$  gibi iki öncülü ve  $y$  gibi bir tane çıkarımı olan  $r$  tane kural tabanlı EĞER-İSE ifadesi ile modellenebilir.

EĞER  $x_1 \in A_{1k}$  ve  $x_2 \in A_{2k}$  İSE  $y_k \in B_k$  dir. ( $k=1,2,\dots,r$ )

Grafik çıkarım dört farklı yöntem ile yapılabilir (Ross,1995).

*1. Girdi değişkenlerinin klasik sayı olması durumunda EB-EK yöntemi:*

Kural tabanlı bir sistem, EĞER-İSE şeklindeki ifade ile belirlenir. Sayısal olan girdi değişkenlerinin üyelik fonksiyonları aşağıdaki gibidir.

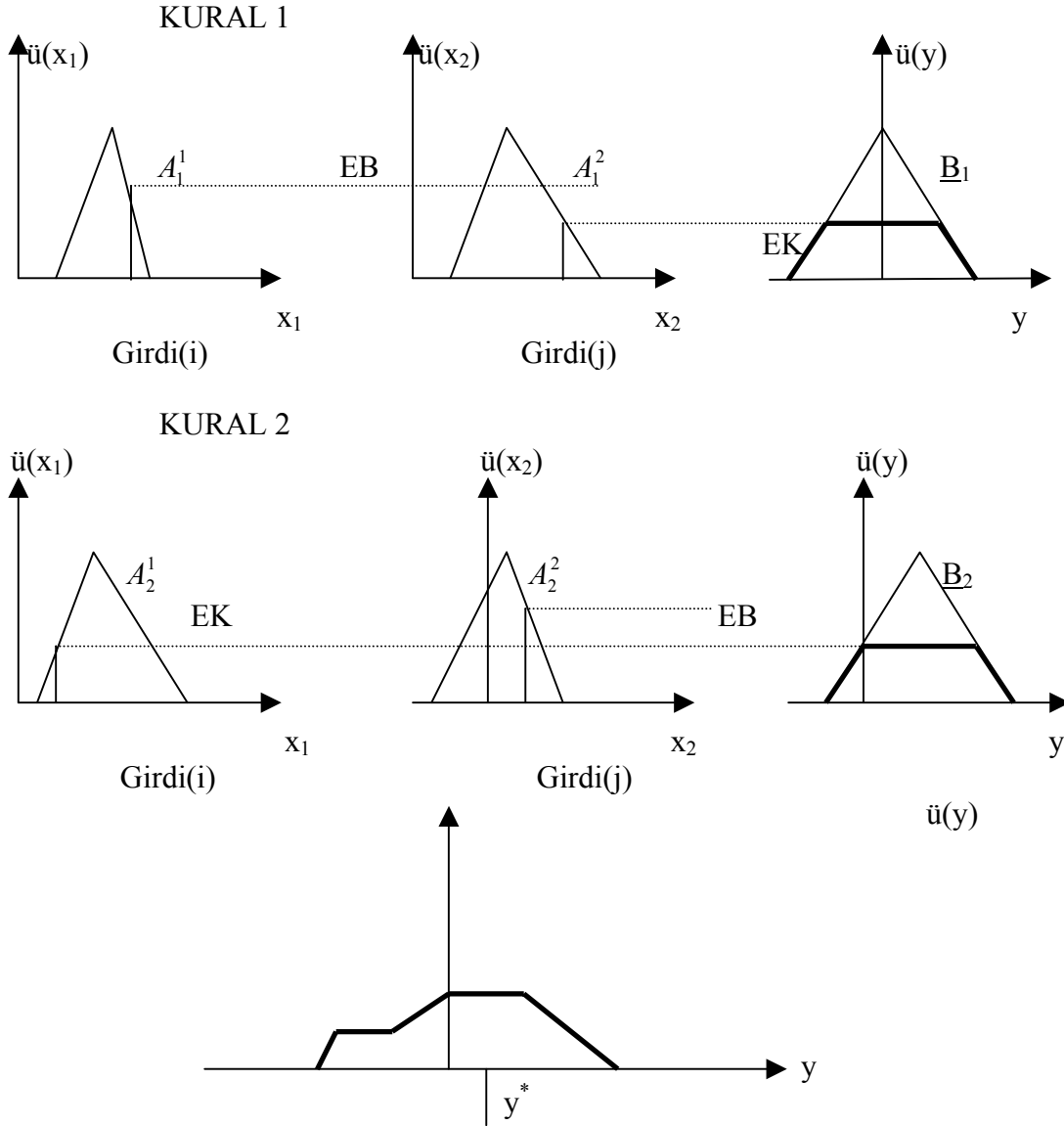
$$\mu_{x_1}(x) = \delta[x - \text{girdi}(i)] = \begin{cases} 1, & X_1 = \text{girdi}(i) \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (4.10)$$

$$\mu_{x_2}(x) = \delta[x - \text{girdi}(j)] = \begin{cases} 1, & X_2 = \text{girdi}(j) \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (4.11)$$

İki bulanık kural tabanlı ifadenin 'veya' bağlacı ile harmanlanmasında, kümelerin birleşimi işleminden yararlanarak Mamdani (1976) tarafından verilmiş olan harmanlama çıkarım fonksiyonu kullanılabilir.

$$\mu_{B_k}(y) = EB \{ EK \{ \mu_{A_1^k}[\text{girdi}(i)], \mu_{A_2^k}[\text{girdi}(j)] \} \} \quad k=1,2,\dots,r \quad (4.12)$$

Şekil 4.11' de, bu denklemin ifade ettiği işlemlerin grafik gösterimi verilmiştir. Burada  $A_1^1$  ve  $A_1^2$ , birinci kural tabanlı ifadenin öncül kısmındaki bulanık kümeleri; B1 ise bu kurala ait çıkarımı göstermektedir.



Şekil 4.11 EB-EK çıkarımı.

Benzer şekilde,  $A_2^1$  ve  $A_2^2$  ise ikinci kuralın öncül kısmının bulanık alt kümelerini,  $B_2$ 'de aynı kural tabanının çıkarım kısmındaki bulanık alt kümeyi göstermektedir.

Kuralların kendi öncül kısımlarında kararın EK şeklinde olmasının nedeni, iki bulanık alt kümenin (örneğin  $A_1^1$  ve  $A_1^2$ ) birbirine 've' bağlacı ile bağlantılı olmasındandır. Böylece, girdi değerleri ile öncül kısım bulanık kümelerinden bulunan üyelik derecelerinin en küçüğü olduğu gibi aynı kuralın çıkarım kısmına taşınarak oradaki çıkarım alt kümesi, bu seviyeden kesilerek çıkarım olarak kesilmiş alt küme kısmı göz önünde tutulur. Her bir kural tabanlı EĞER-İSE ifadesinde, bu türlü ayrı ayrı

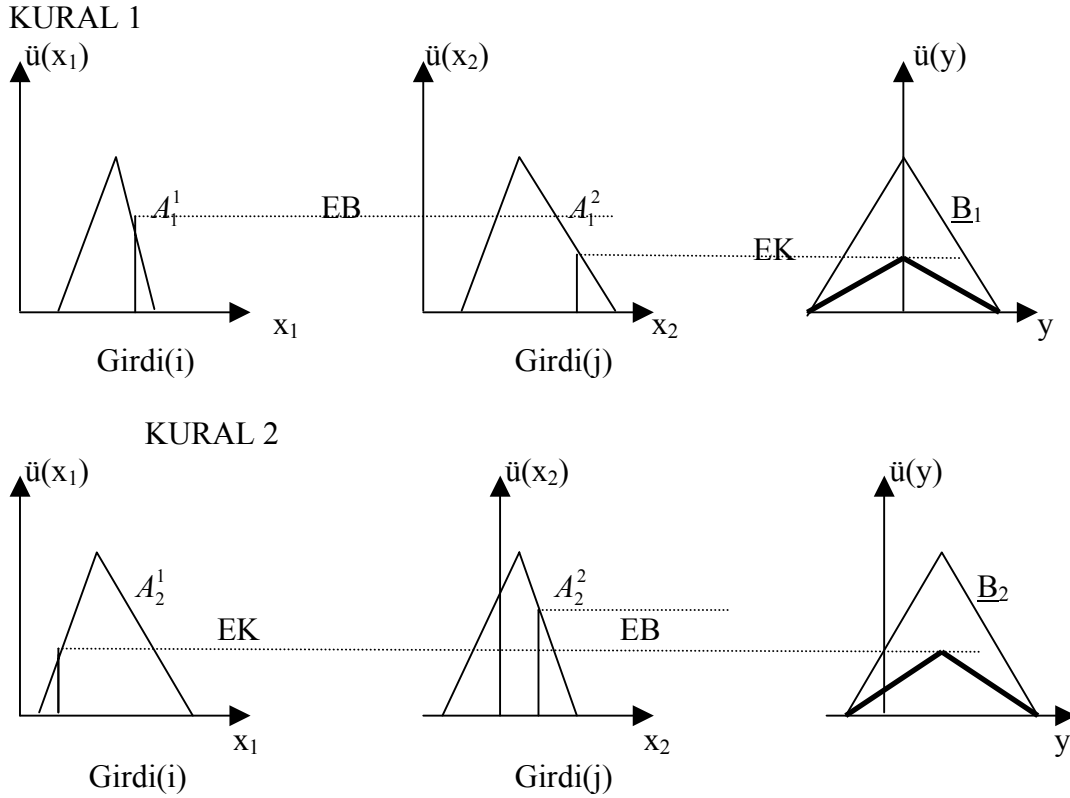
çıkarımlar yapılır. Sistemin tümünü temsil edebilmek için kesik olan bu çıkarım üyelik fonksiyonlarının 'veya' bağlacı ile birleştirildiği düşünülürse, harmanlanmış çıkarım için, küme birleşim işleminin kullanılması ile iki kesik bulanık kümenin örtüştüğü yani ortak olduğu kısımlardan meydana gelen bir karışık bulanık alt küme ortaya çıkar. Göz önünde tutulan kural tabanlı ifadelerle modellenen sistemin girdiler sonucunda vereceği tüm bilgiler bu harmanlanmış bulanık kümede toplanmıştır. Buradan harmanlanmış bulanık kümenin ne normal ne de dışbükey olması beklenemez. Eğer sistem için sayısal bir değer elde edilmesi gerekir ise durulaştırma işleminden yararlanılarak sonuca varılmalıdır.

## 2. Girdilerin klasik sayı olması durumunda EB-çarpım yöntemi:

Burada kural tabanlarının 'veya' bağlacı ile birleştirildiği düşünülerek harmanlama formülasyonu;

$$\bar{u}B_k = EB \{ \bar{u}_{A_1^k} [\text{girdi}(i)] \cdot \bar{u}_{A_2^k} [\text{girdi}(j)] \} \quad k=1,2,\dots,r \quad (4.13)$$

şeklini almaktadır. Bu yöntemin grafik gösterimi Şekil 4.12' de görülmektedir. Burada sayısal verilerin girilmesi ile elde edilen iki üyelik derecesinin çarpılması sonucunda bulunan değer, İSE kısmının sonrasındaki çıkarım bulanık kümesine taşınır. Aynı kümenin tüm üyelik derecelerinin bu değerle çarpılması sonucunda, kesik bulanık çıkarım kümesi yerine küçültülmüş benzer bir bulanık çıkarım kümesi elde edilir.



Şekil 4.12 EB-Çarpım çıkarımı.

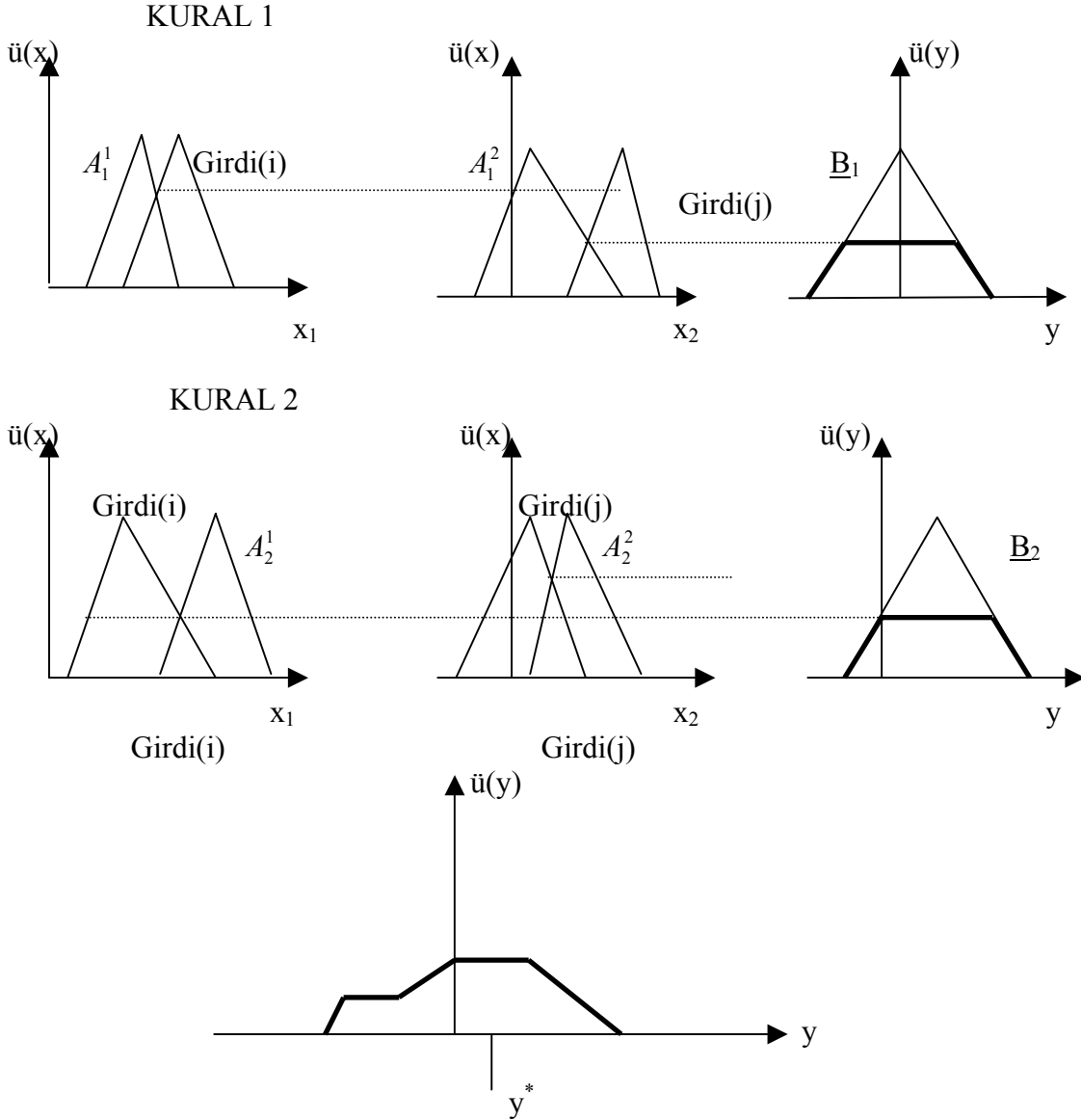
Böylece, önceki çıkarımlardaki kesik bulanık kümeler yerine ölçekli olarak küçültülmüş çıkarım kümeleri elde edilir. Aynı şekilde 'veya' bağlacının kullanılması ile yapılan harmanlama sonucunda elde edilen birleşim çıkarım kümesi, kural tabanlarındaki üçgen çıkarım kümelerinin örtüşmesi ile elde edilir.

### 3. Girdilerin bulanık olması durumunda EB-EK yöntemi:

Girdilerin de bulanık olması durumu, birçok sistemin modellenmesinde söz konusudur. Böyle bir durumda yine EĞER-İSE kurallarının her birinin birbirine 'veya' bağlacı ile bağlanmış olduğu düşünülerek harmanlanmış çıkarımın formülasyonu Mamdani kuralına göre;

$$\bar{u}B_k(y) = EB \{ EK \{ EB [ \bar{u}^{A_k^1}(x) \wedge \bar{u}(x_1) ], EB [ \bar{u}^{A_k^2}(x) \wedge \bar{u}(x_2) ] \} \} \quad (4.14)$$

biçiminde olur. Yöntemin grafik gösterimi Şekil 4.13' de yer almaktadır.



Şekil 4.13 Bulanık girişlerle EB-EK çıkarımı.

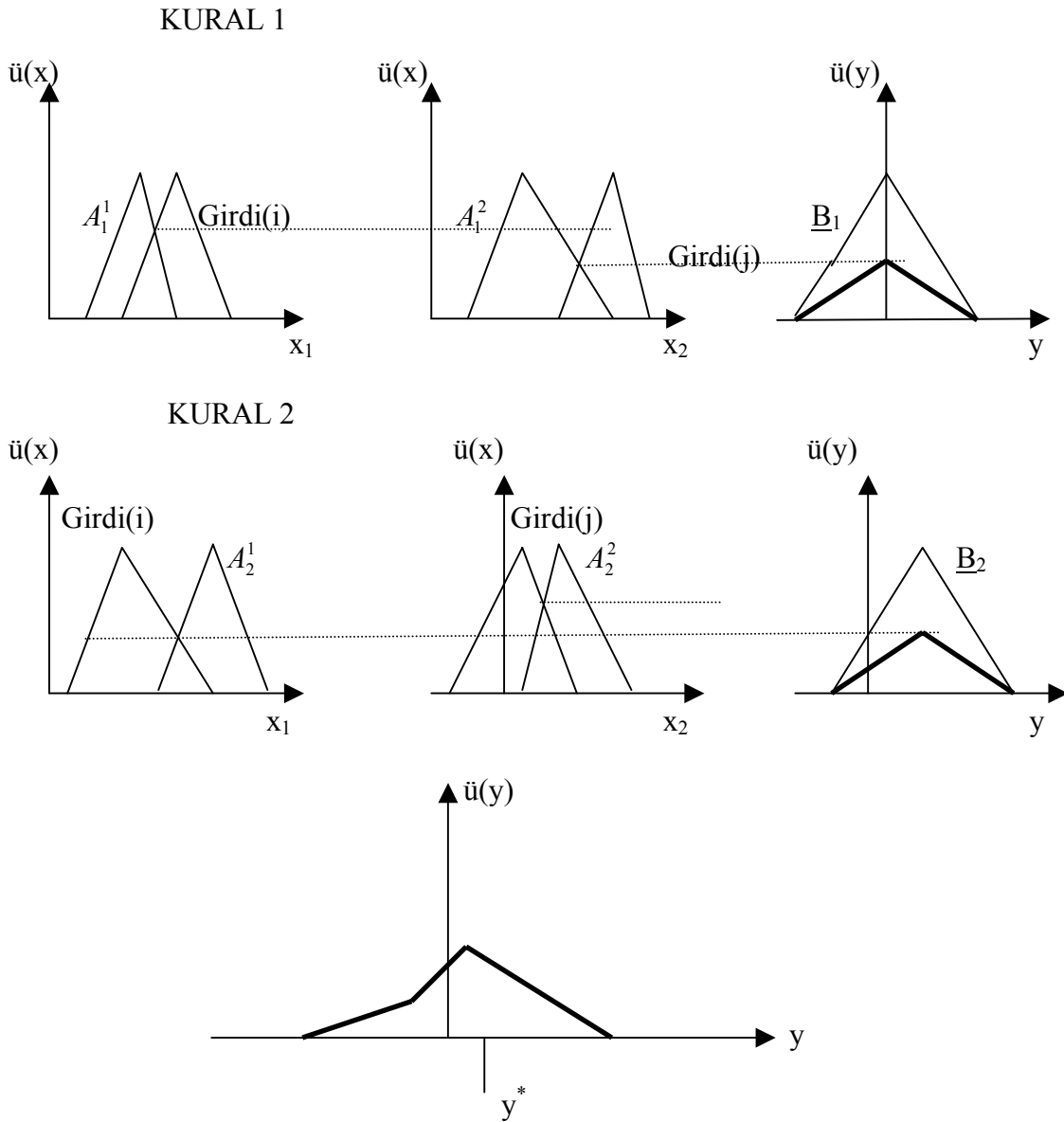
Şekilde görüldüğü gibi, girdi(i) ve girdi(j)'ler üçgen bulanık alt kümeler ile gösterilmiştir. Yöntemde, üçgenlerin öncül kısımdaki bulanık alt kümelerle kesim noktalarındaki üyelik dereceleri okunmakta ve bunların EK değeri aynen EĞER-İSE kuralının çıkarım kısmına taşınarak bu kısımda yamuk bulanık alt kümeler elde

edilmektedir. Sonuç olarak birleştirilen yamuk bulanık alt kümeler ile çıkarıma ulaşılmaktadır.

4. Girdilerin bulanık olması durumunda EB-çarpım yöntemi:

Bu durum için genel formül aşağıdaki biçimde ifade edilmektedir. Yöntemin grafik gösterimi Şekil 4.14'de yer almaktadır.

$$\tilde{u}B_k(y) = EB \{ EB [ \tilde{u}^{A_1^k}(x) \wedge \tilde{u}(x_1) ] . EB [ \tilde{u}^{A_2^k}(x) \wedge \tilde{u}(x_2) ] \} \quad (4.15)$$



Şekil 4.14 Bulanık girişlerle EB-çarpım çıkarımı.

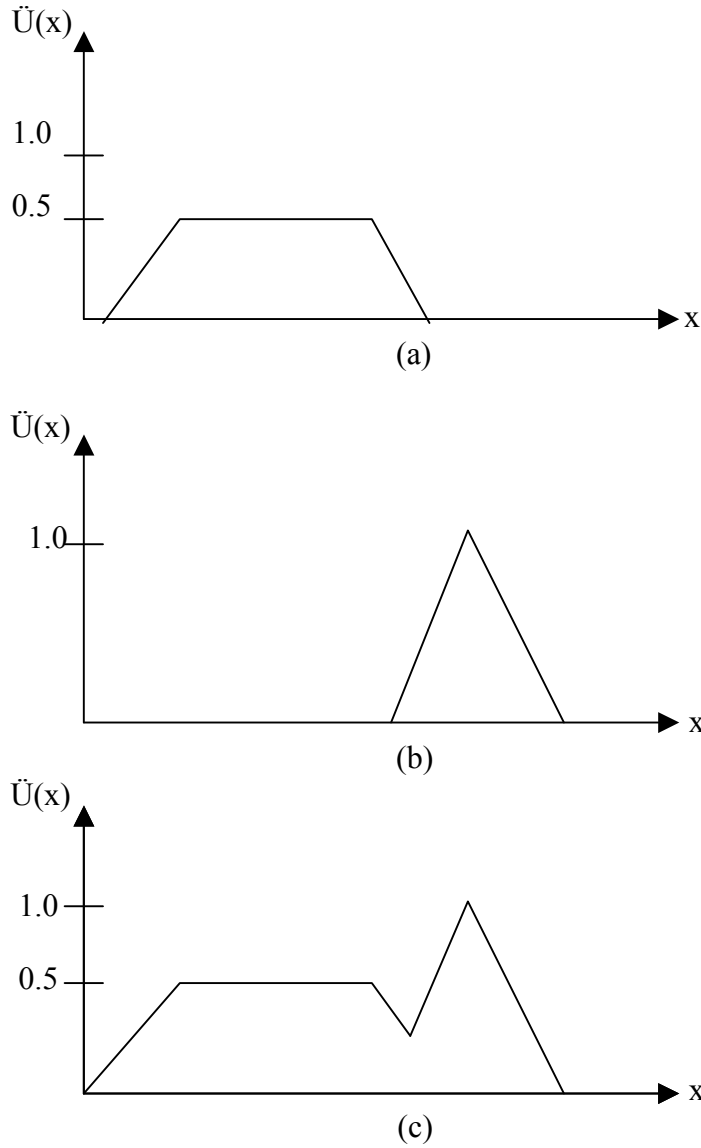


Yöntemde giriş ve kural tabanı öncül kısımlarında bulunan bulanık alt kümelerin kesim noktalarındaki üyelik derecelerinden EK değer alınarak ve kuralın sonuç kısmına taşınarak oradaki bulanık kümeler bu EK değer ölçeğinde küçültülerek benzer bulanık üçgen kümeler elde edilir.

#### **4.4.8. Durulaştırma**

Pratik uygulamalarda, özellikle teknik plan proje ve tasarımlarda, kesin olarak sayısal veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, bulanık sistemlerin çıktılarının uygulamalarda doğrudan kullanılması mümkün olmamaktadır. Bu durumda, bulanık çıktıların durulaştırılması gerekir. Durulaştırma işlemi, bulanıklaştırma işleminin tersi olup, bulanık çıktıların sayılara dönüştürülmesidir. Durulaştırma işlemi için yedi yöntem kullanılmaktadır (Şen,1998).

Örneğin Şekil 4.15' de yer alan bir adet yamuk ve bir adet üçgen çıkarım ve son işlem olarak bunların birleşimini içeren dış bükey olmayan bir çıkarım var olsun.

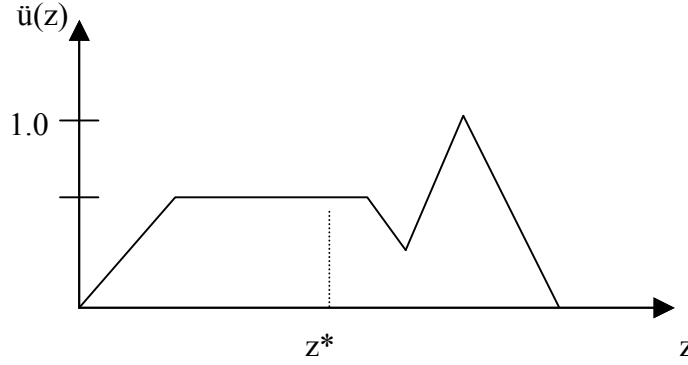


Şekil 4.15 Bir bulanık küme çıktısı (a)bulanık girdi ilk kısım (b)bulanık girdi ikinci kısım (c) ikisinin birleşimi

#### 4.4.8.1. Ağırlık merkezi (Sentroid) yöntemi

Durulaştırma işlemlerinde en yaygın olarak kullanılan yöntemidir. Birleşik çıkarımla elde edilen şeklin ağırlık merkezinde yer alan üyelik derecesine karşılık gelen sayının bulunması ilkesine dayanmaktadır. Şekil 4.16' da gösterilen bu yöntemde, durulaştırmanın matematik işlemi aşağıdaki denklem kullanılarak yapılmaktadır.

$$z^* = \frac{\int \ddot{u}_C(z) \cdot z dz}{\int \ddot{u}_C(z) dz} \quad (4.16)$$



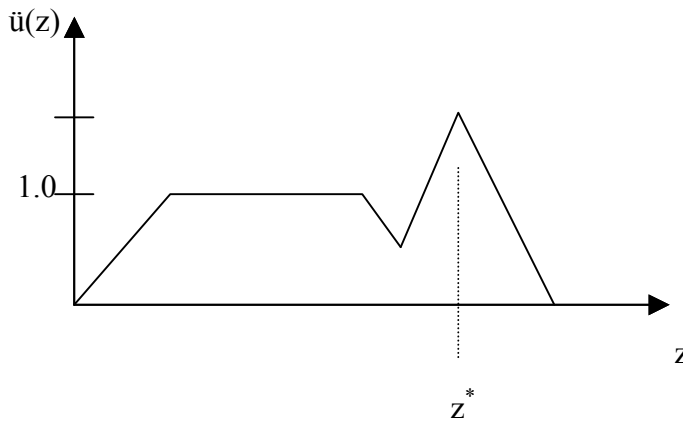
Şekil 4.16 Ağırlık merkezi yöntemi ile durulaştırma.

#### 4.4.8.2. En Büyük Üyelik İlkesi (Yükseklik İlkesi)

Durulaştırma işlemi, birleşik çıkarım kümesinin üyelik değerlerinden en büyük değere sahip olanın seçilmesi ilkesine göre yapılmaktadır.

Şekil 4.17'de bu yöntemle göre yapılan durulaştırma işleminin sonucu gösterilmektedir. İşlemin aritmetik olarak ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$\ddot{u}_C(z^*) \geq \ddot{u}_C(z) \text{ tüm } z \in Z \quad (4.17)$$

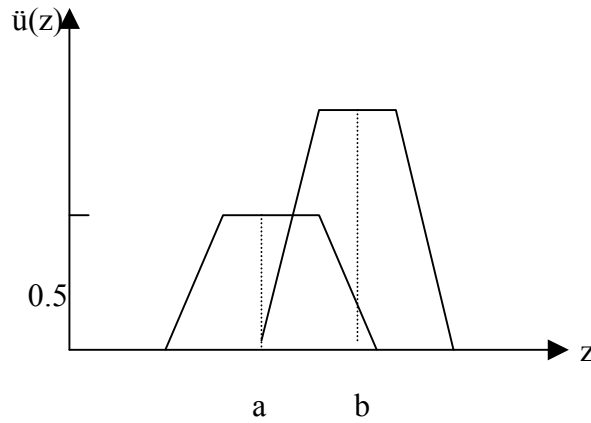


Şekil 4.17 En büyük üyelik derecesi yöntemi ile durulaştırma.

#### 4.4.8.3. Ağırlıklı ortalama yöntemi

Bu yöntemin kullanılabilmesi için, üyelik fonksiyonunun simetrik olması gerekmektedir. Bu yöntemde, işlemde çıktıyı oluşturan bulanık kümelerin üyelik fonksiyonlarının her biri sahip oldukları en büyük üyelik derecesi değeri ile çarpılarak ağırlıklı ortalama değeri bulunur. Bu ağırlıklı ortalama değerine karşılık gelen sayı, durulaştırılmış değeri vermektedir. İşlemin matematik ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$z^* = \frac{\sum \ddot{u}_c(z).z}{\sum \ddot{u}_c(z)} \quad (4.18)$$



Şekil 4.18 Ağırlıklı ortalama yöntemi ile durulaştırma.

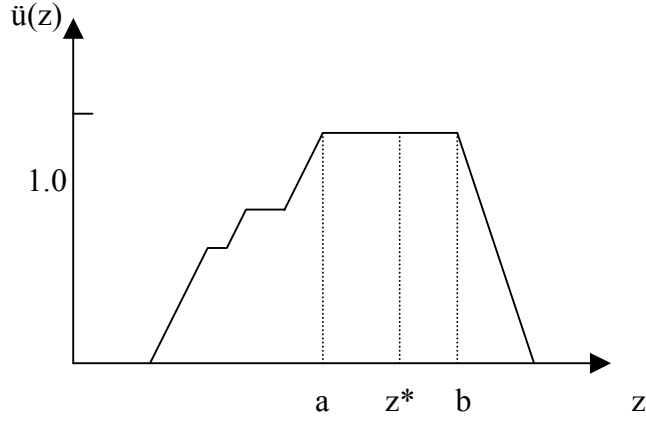
Şekil 4.18'de gösterilen a ve b değerleri temsil ettikleri simetrik şekillerin ortalama değerleridir.

#### 4.4.8.4. Ortalama En Büyük Üyelik (En Büyüklerin Ortası) yöntemi

En büyük üyelik ilkesine oldukça yakındır. Ancak en büyük üyelik değeri birden fazla olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Yöntemin matematik ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$z^* = (a+b)/2 \quad (4.19)$$

Şekil 4.19 'da ortalama en büyük üyelik yöntemi ile durulaştırma işlemi görülmektedir.

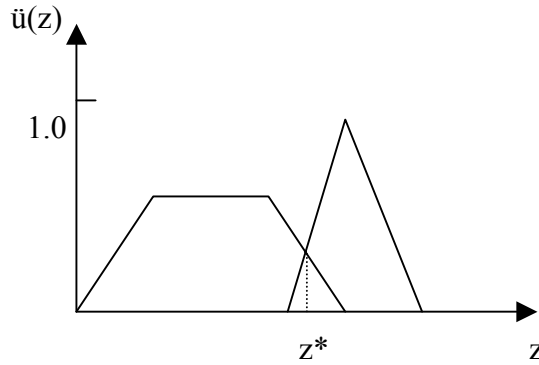


Şekil 4.19 Ortalama en büyük üyelik yöntemi ile durulaştırma

#### 4.4.8.5. Toplamların Merkezi Yöntemi

En hızlı durulaştırma yöntemidir. Bu yöntemde iki bulanık kümenin birleşimi yerine onların cebirsel toplamları kullanılır. Ancak bu durum, örtüşen kısımların iki defa toplama girmesine sebep olmaktadır. Şekil 4.20' de Toplamların merkezi ile durulaştırma yöntemi gösterilmiştir. Durulaştırılmış değer matematik olarak ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$z^* = \frac{\int z \sum_{k=1}^n \tilde{u}_c(z) dz}{\int \sum_{k=1}^n \tilde{u}_c(z) dz} \quad (4.20)$$



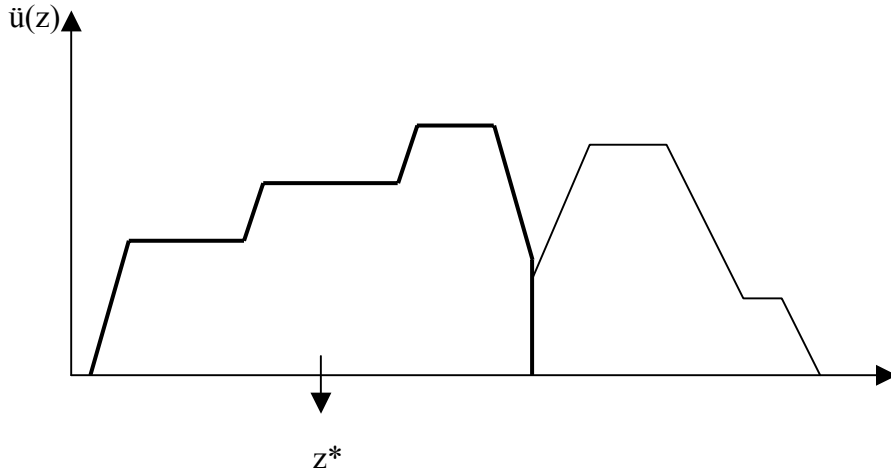
Şekil 4.20 Toplamların merkezi yöntemi ile durulaştırma

#### 4.4.8.6. En büyük alanın merkezi yöntemi

Çıktı bulanık kümesi en az iki dış bükey bulanık alt kümeyi içeriyorsa, dış bükey bulanık alt kümelerden en büyük alana sahip olanın ağırlık merkezi durulaştırma işleminde kullanılır. Şekil 4.21' de gösterilen durulaştırma işleminin matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$z^* = \frac{\int \ddot{u}_{ebC}(z)zdz}{\int \ddot{u}_{ebC}(z)dz} \quad (4.20)$$

Burada,  $\ddot{u}_{ebC}(z)$  en büyük alanlı dış bükey bulanık kümenin hakim olduğu alt bölgeyi gösterir.



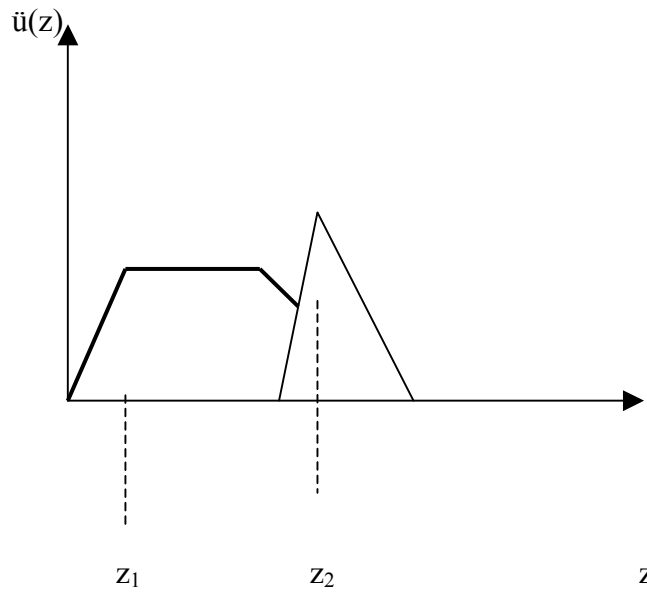
Şekil 4.21 En büyük alanın merkezi yöntemi ile durulaştırma

#### 4.4.8.7 En büyük ilk veya son üyelik derecesi

Bu yöntem, tüm çıktıların birleşimi olarak ortaya çıkan bulanık kümede, en büyük üyelik derecesine sahip olan en küçük bulanık küme değerini seçmek esasına dayanır. Öncelikle, bulanık küme çıkarımı B, birleşiminde en büyük yükseklik, yeb tesbit edilir.

$$yeb(B) = EB[\ddot{u}_B(z)] \quad (4.22)$$

Bundan sonra en büyük değer,  $z^*$  bulunur. Bu yöntemin bir diğer seçeneği ise ilk yerine son en büyük bulanık küme değerinin,  $z^*$  bulunmasıdır. En büyük ilk veya son üyelik derecesi durulaştırma yöntemi Şekil 4.22' de gösterilmiştir.



Şekil 4.22 En büyük ilk veya son üyelik derecesi durulaştırma

Şekilden en büyük ilk veya son üyelik derecesi yöntemi ile durulaştırılmış değer;  $z^*=EB(z_1,z_2)$  biçiminde hesaplanır.

## **BEŞİNCİ BÖLÜM**

# **BULANIK MANTIK ROTA SEÇİM MODELİ**

## **5. BULANIK MANTIK ROTA SEÇİM MODELİ**

### **5.1. Verilerin Anket Çalışması ile Elde Edilmesi**

#### **5.1.1. Anket Çalışmasının Hazırlanması**

Anket çalışması hazırlanırken, O-D (Başlangıç-Bitiş) noktaları, Çınar- Kampus ve Kampus-Çınar olarak iki yönlü belirlenmiştir. Bu O-D noktaları arasında yer alan 4 ayrı rotaya yönelik sorular ve puanlandırmalarla, toplu taşıma ve özel araç kullanıcılarının sözkonusu rotalar hakkındaki rota ve mod seçim düşünceleri ve kriterleri ortaya konulmaya çalışılmıştır. Rota seçimi ile ilgili olarak yol kullanıcılarının farklı rotalar hakkındaki değerlendirmeleri, seyahat süresi, trafik güvenliği, tıkanma olasılığı ve çevresel etki parametrelerine yönelik puanlandırmalarla ortaya konulmaya çalışılmıştır. Mod seçimine yönelik sorular ise, katılımcıların toplu taşımacılıkla ilgili tercihleri ile bu tercihlerin nedenlerinin anlaşılmasına yönelik olarak düşünülmüştür. Anket çalışması sonucunda, rota seçimi ile ilgili olarak elde edilen veriler, tez çalışmasının temeli olan bulanık rota seçim modelinin kurulması için kullanılmıştır.

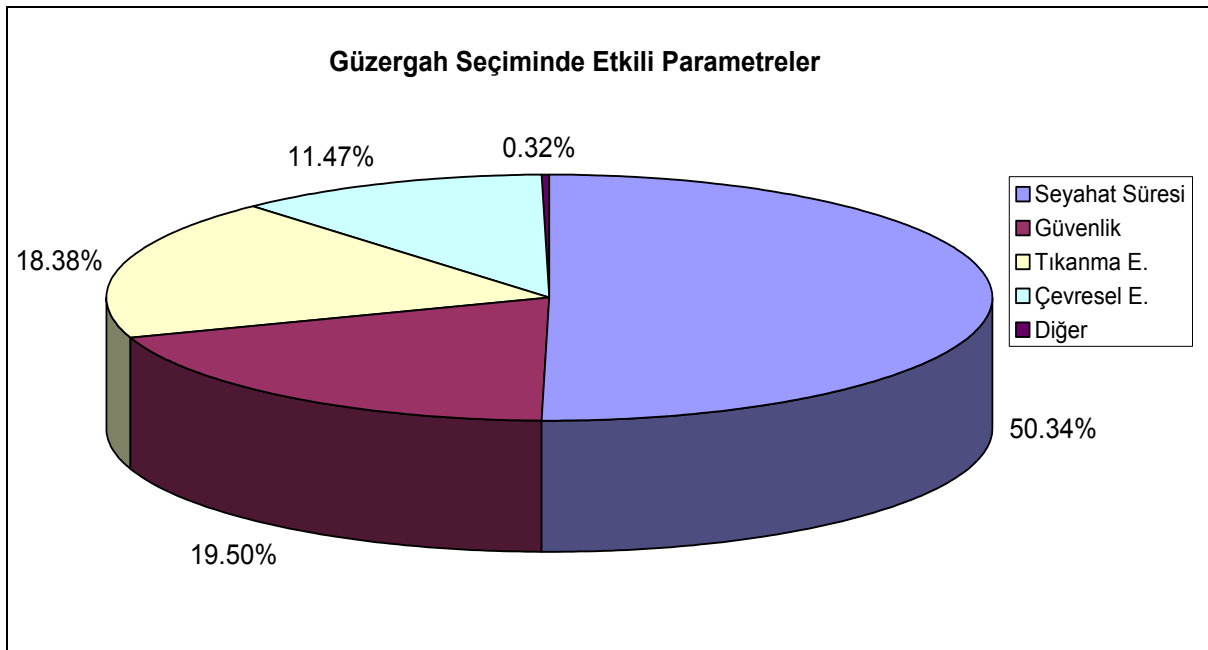
Anket çalışması, elden ve internet yoluyla, bu O-D'yi sıklıkla kullanmakta olan 500 kişiye düzenlenmiştir. Anket çalışması, Pamukkale Üniversitesi öğrencileri ve personeli ile, üniversite dışındaki öğrenciler ve çalışanlara düzenlenerek, sosyoekonomik açıdan homojen bir dağılım hedeflenmiştir. Alınan sonuçlar, Kampüs'den Çınara ve Çınardan Kampüs'e ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Sonuçların istatistiksel değerlendirmeleri, bu bölüm içerisinde grafiklerle verilmiştir.



Anket çalışması kapsamında kullanılan rotalar, tez içerisinde, Çamlık (Güzergah1), K.Şehitler (Güzergah 2), İstiklal (Güzergah 3) ve Çevre yolu (Güzergah 4) olarak isimlendirilmiştir. Bu rotaları oluşturan linklerin isimleri ve planları ayrıntılı olarak, ekler bölümünde verilmiştir.

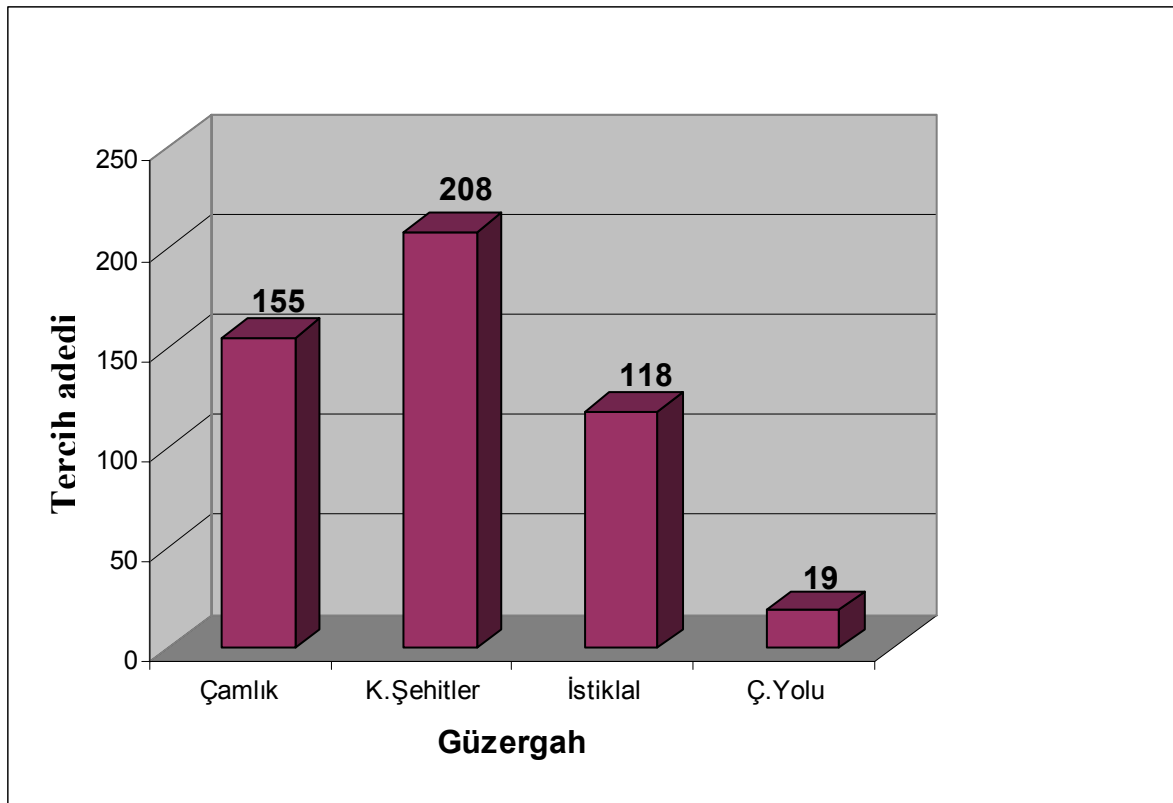
### 5.1.2. Anket Sonuçları

Yüzyüze ve internet yoluyla elde edilen anket sonuçları bilgisayara girilmiştir. Bu veriler, istatistiksel olarak değerlendirilerek elde edilen dağılımlar grafiklerle gösterilmiştir. Bu grafikler ve analizler, anket sonuçlarının daha net olarak görülebilmesinin yanında, Bulanık Rota Seçim Modelinin oluşturulması için de yol gösterici bir nitelik taşımaktadır.

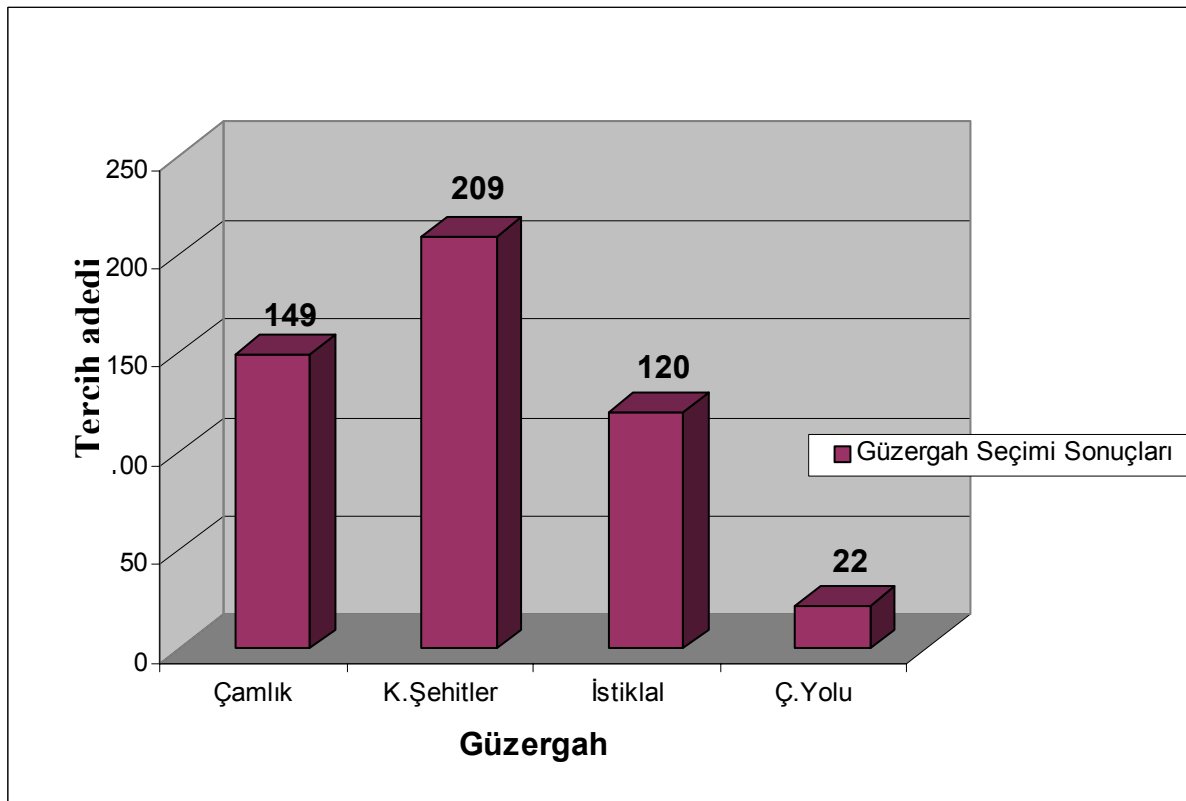


Şekil 5.1. Güzergah Seçiminde Etkili Parametrelerin Yüzdeleri

Şekil 5.1' de görüldüğü üzere yol kullanıcıları için güzergah seçiminde en etkili parametre seyahat süresidir. Diğer parametreler, Trafik Güvenliği, Tıkanma Olasılığı, Çevresel Etkiler olarak sıralanmaktadır.

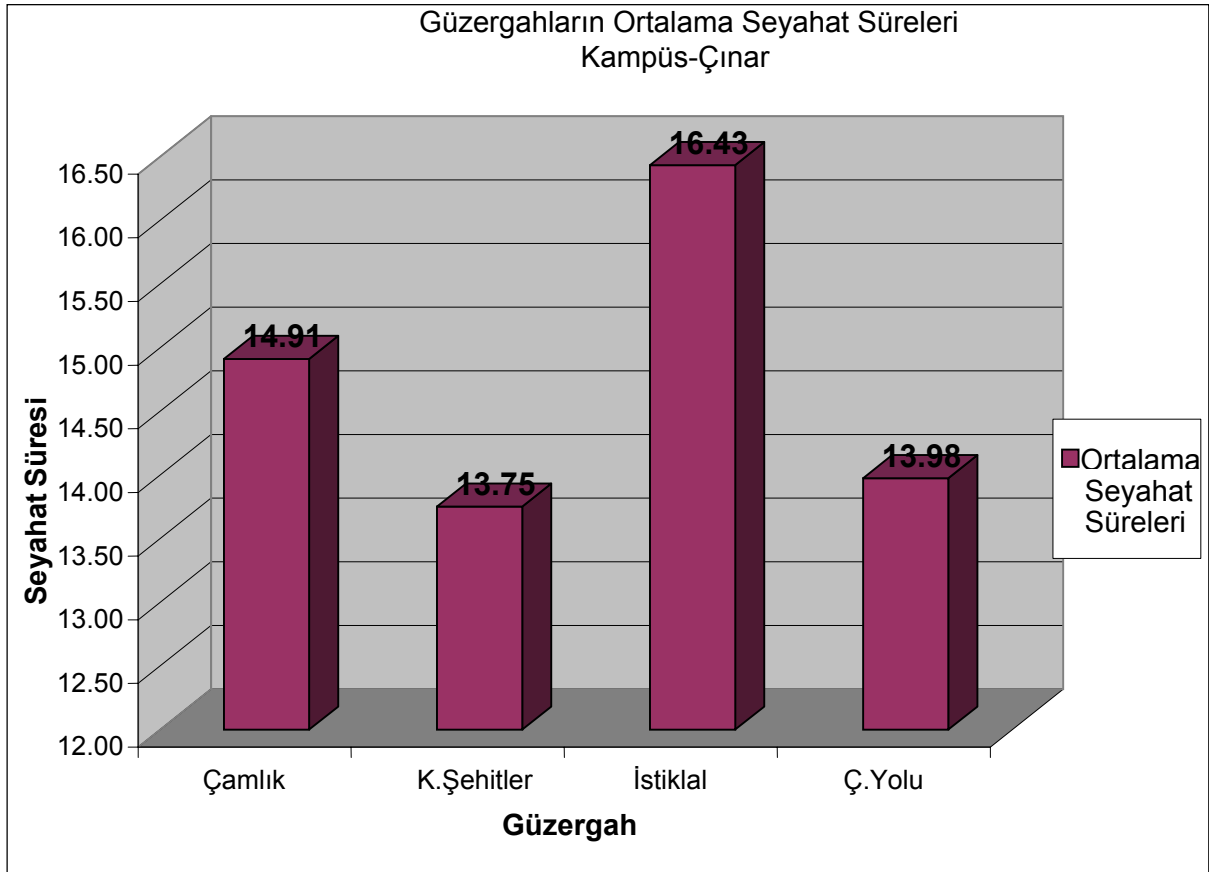


Şekil 5.2. Kampüs'den Çınar'a Güzergah Seçim Sonuçları



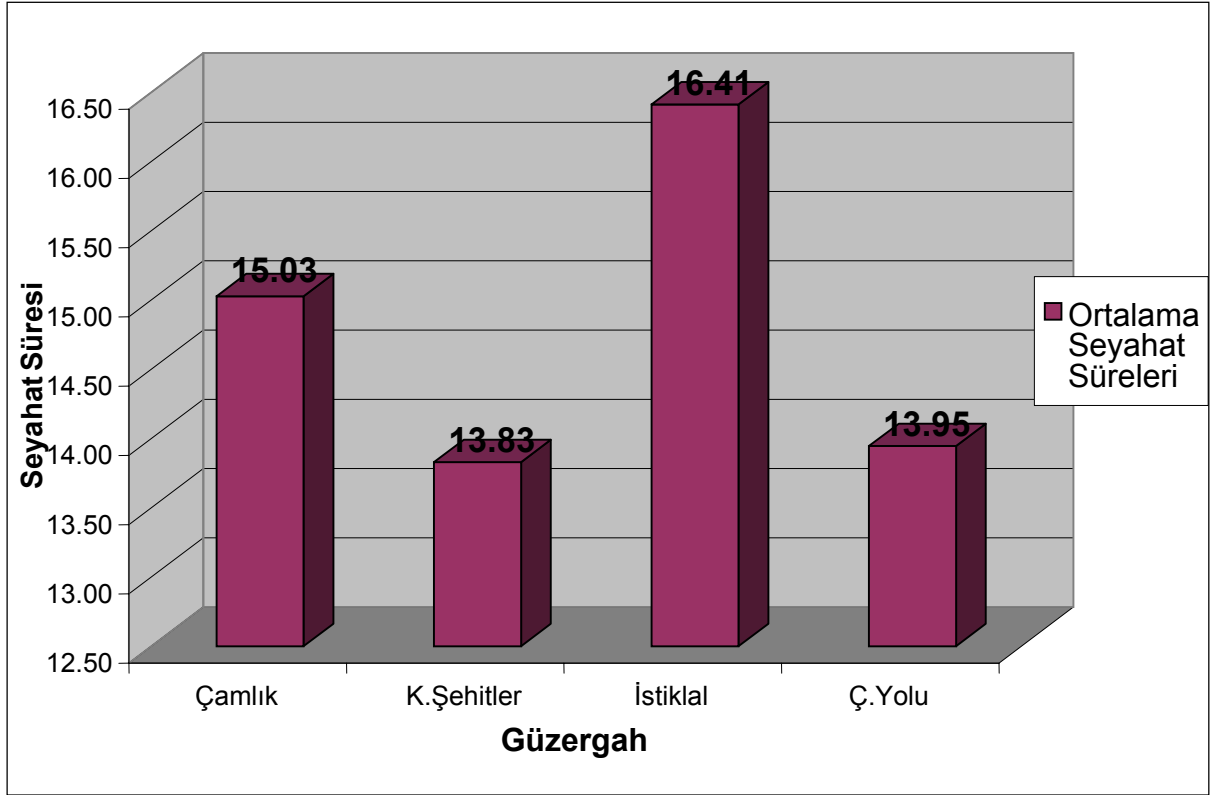
Şekil 5.3. Çınar'dan Kampüs'e Güzergah Seçim Sonuçları

Şekil 5.2 ve 5.3 incelendiğinde, gidiş-dönüş rota seçimlerinin sıralamasının değişmediği ve birbirine oldukça yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Buna göre, en fazla tercih edilen güzergah Kıbrıs Şehitler olup; daha sonra Çamlık, İstiklal ve Çevre Yolu güzergahları sıralanmaktadır.

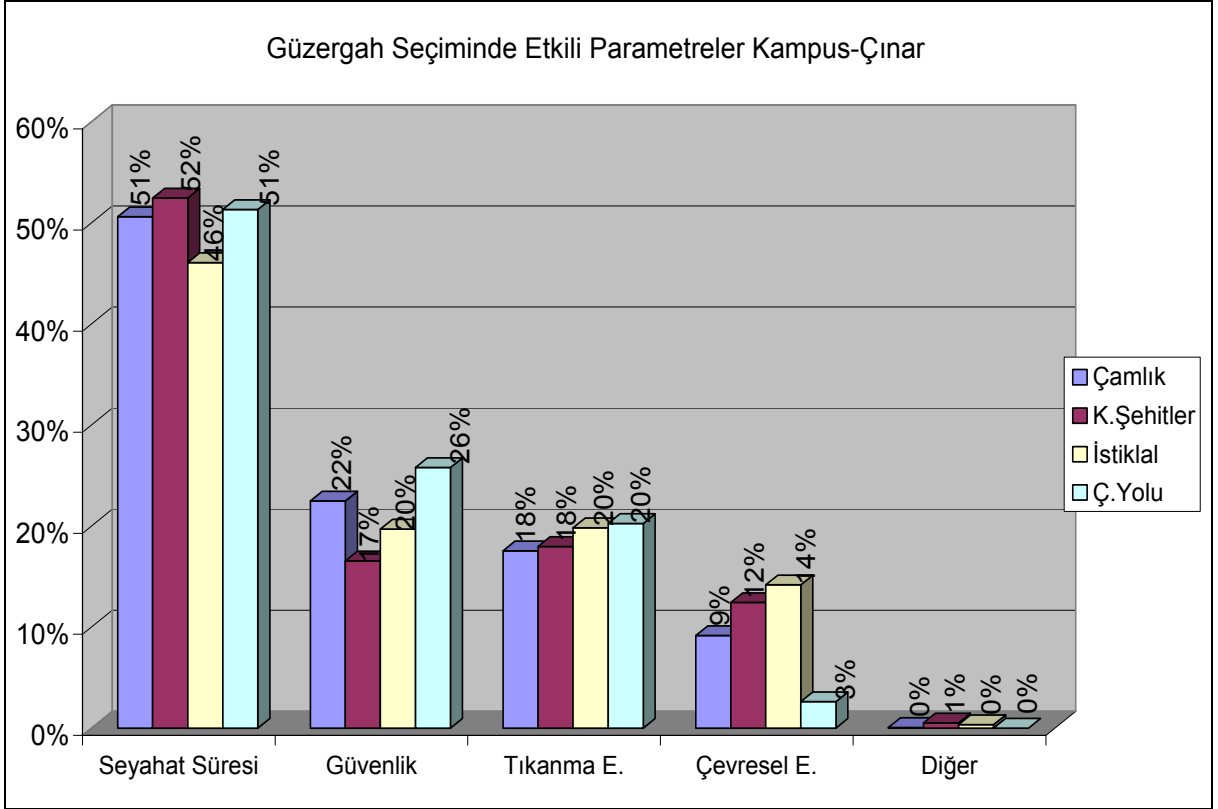


Şekil 5.4. Kampüs'den Çınar'a Güzergahların Ortalama Seyahat Süreleri

Şekil 5.4'de, ankete katılanların Kampüs'den Çınar'a güzergahların ortalama seyahat süreleri ile ilgili tahminleri verilmiştir. Bu tahminlere göre, en kısa güzergah Kıbrıs Şehitler iken; seyahat süresi en uzun olan güzergah, İstiklal güzergahı olarak belirlenmiştir. Şekil 5.5 ise, Çınar'dan Kampüs'e güzergahlar için seyahat süreleri görülmektedir. Burada da benzer sıralama sözkonusudur; dolayısıyla, kullanıcılar için, her iki yönde benzer algılamalar mevcuttur.

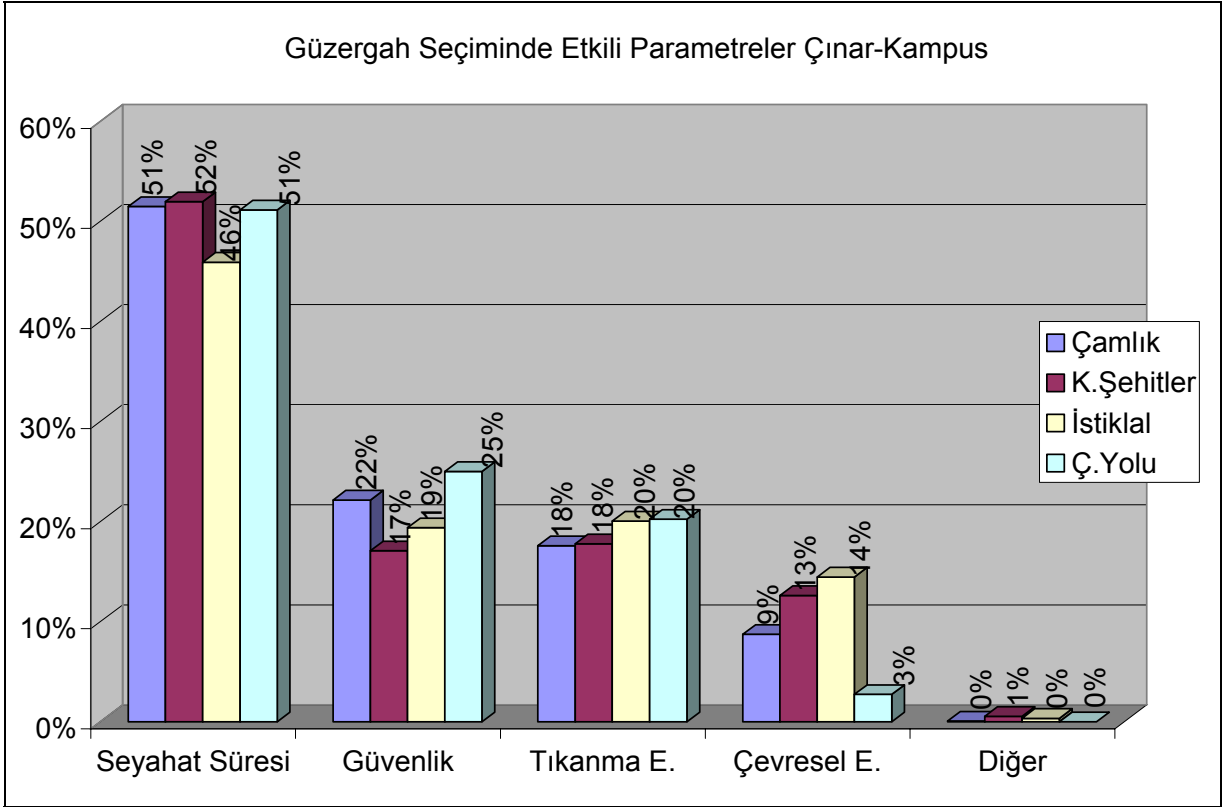


Şekil 5.5. Çınar'dan Kampus'a Güzergahların Ortalama Seyahat Süreleri



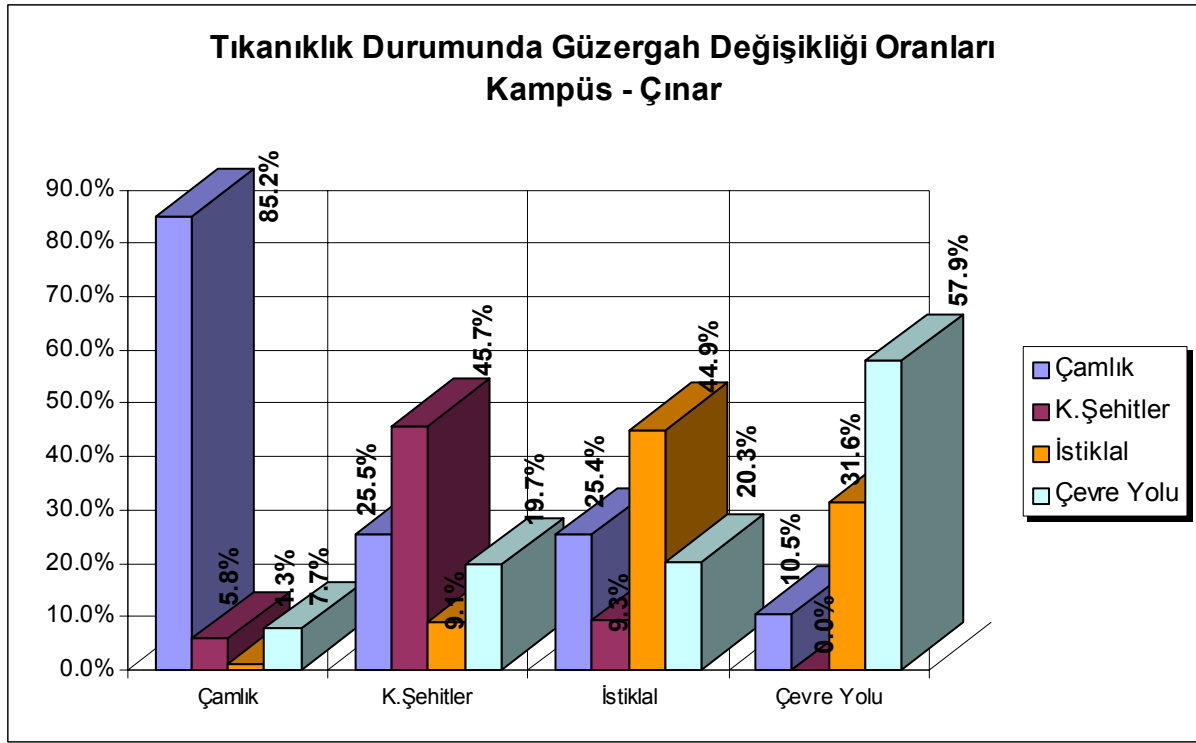
Şekil 5.6. Kampüs'den Çınar'a Güzergah Seçiminde Etkili Parametreler

Şekil 5.6' da Kampüs'den Çınar'a Güzergah seçiminde etkili parametreler görülmektedir. Şekil 5.1'deki dağılıma benzer olarak, en etkili parametre Seyahat süresi olup, bunu Trafik Güvenliği, Tıkanma Etkileri, Çevresel Etkiler ve diğer etkiler izlemektedir.



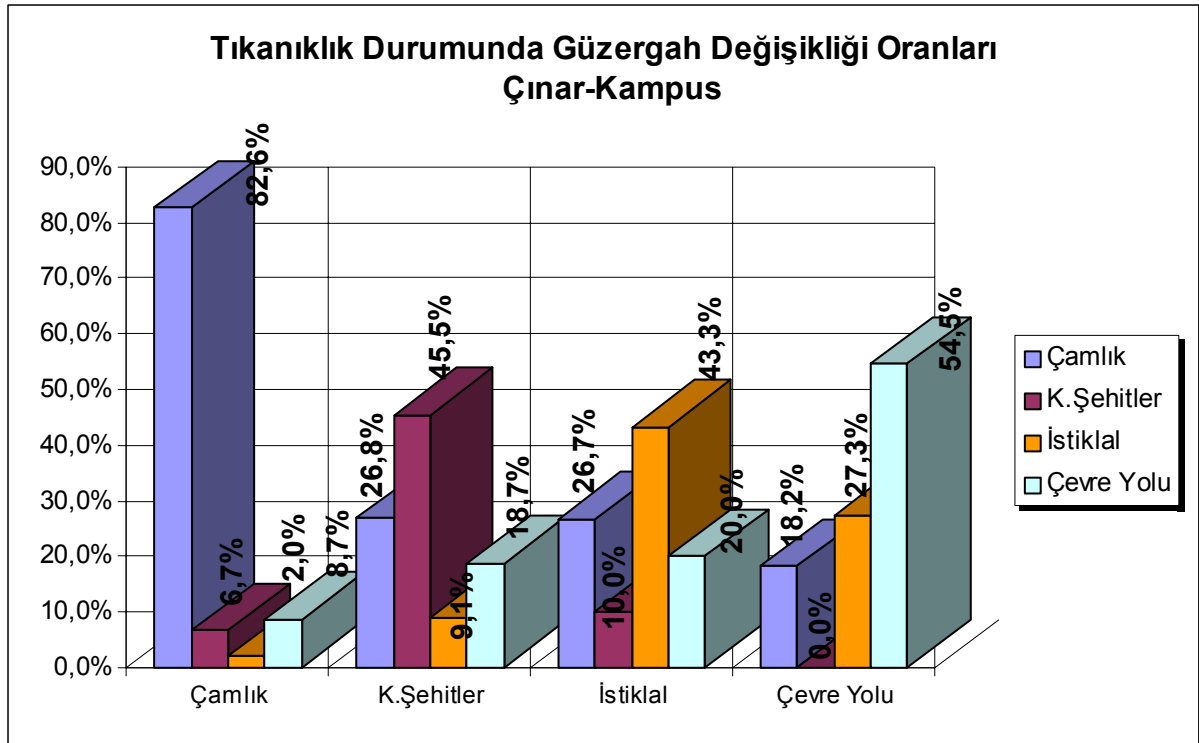
Şekil 5.7. Çınar'dan Kampüs'e Güzergah Seçiminde Etkili Parametreler

Şekil 5.7' de, Çınar'dan Kampüs'e güzergahların seçiminde etkili parametreler görülmektedir. Bu grafikte de parametreler arasında Şekil 5.6' daki duruma benzer bir sıralama görülmektedir.

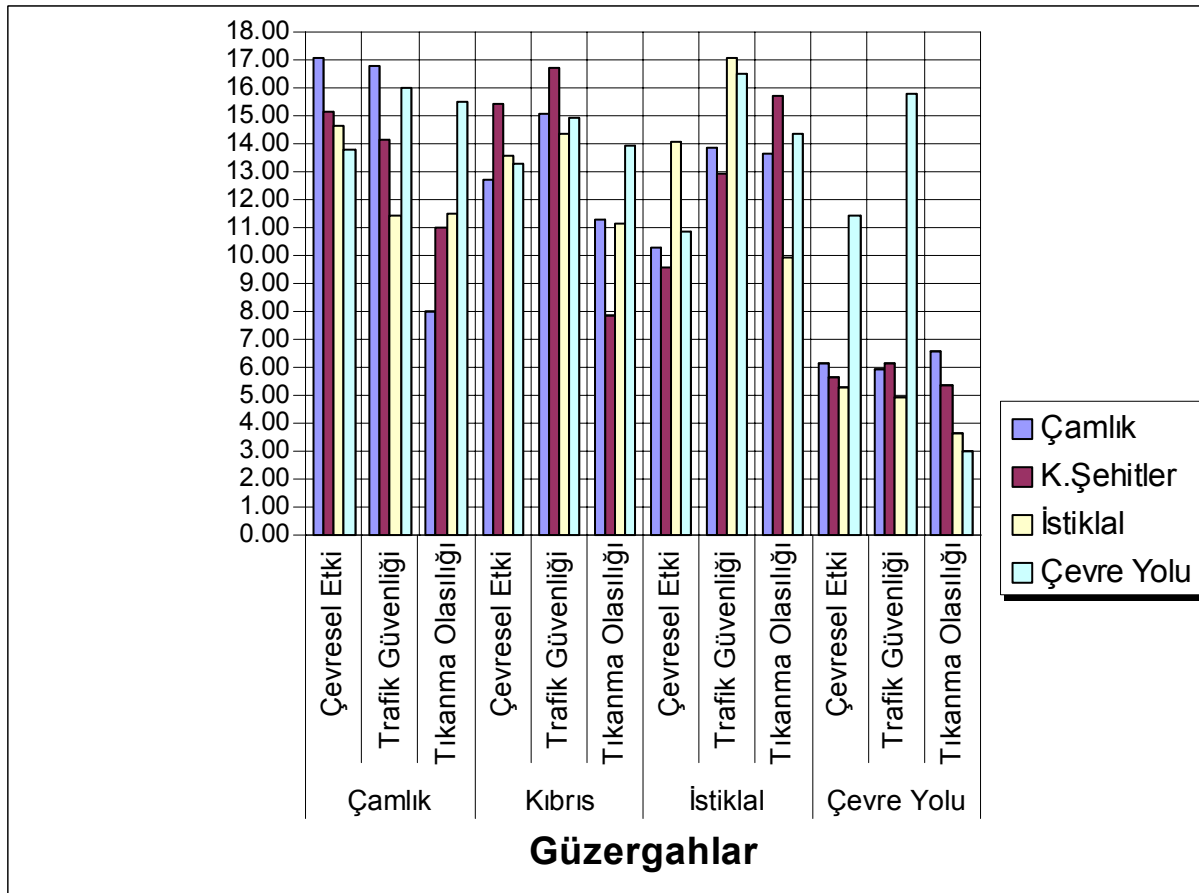


Şekil 5.8. Kampüs' den Çınar'a Tıkanıklık Durumunda Güzergah Değişimleri

Şekil 5.8 ve 5.9, trafik tıkanıklığının görüldüğü zirve saatlerde, yol kullanıcılarının güzergah değiştirme oranlarını göstermektedir. Genel olarak, her güzergah için, en fazla görülen davranış biçimi, tıkanıklık durumunda da yine aynı güzergahın tercih edilmesi şeklindedir.



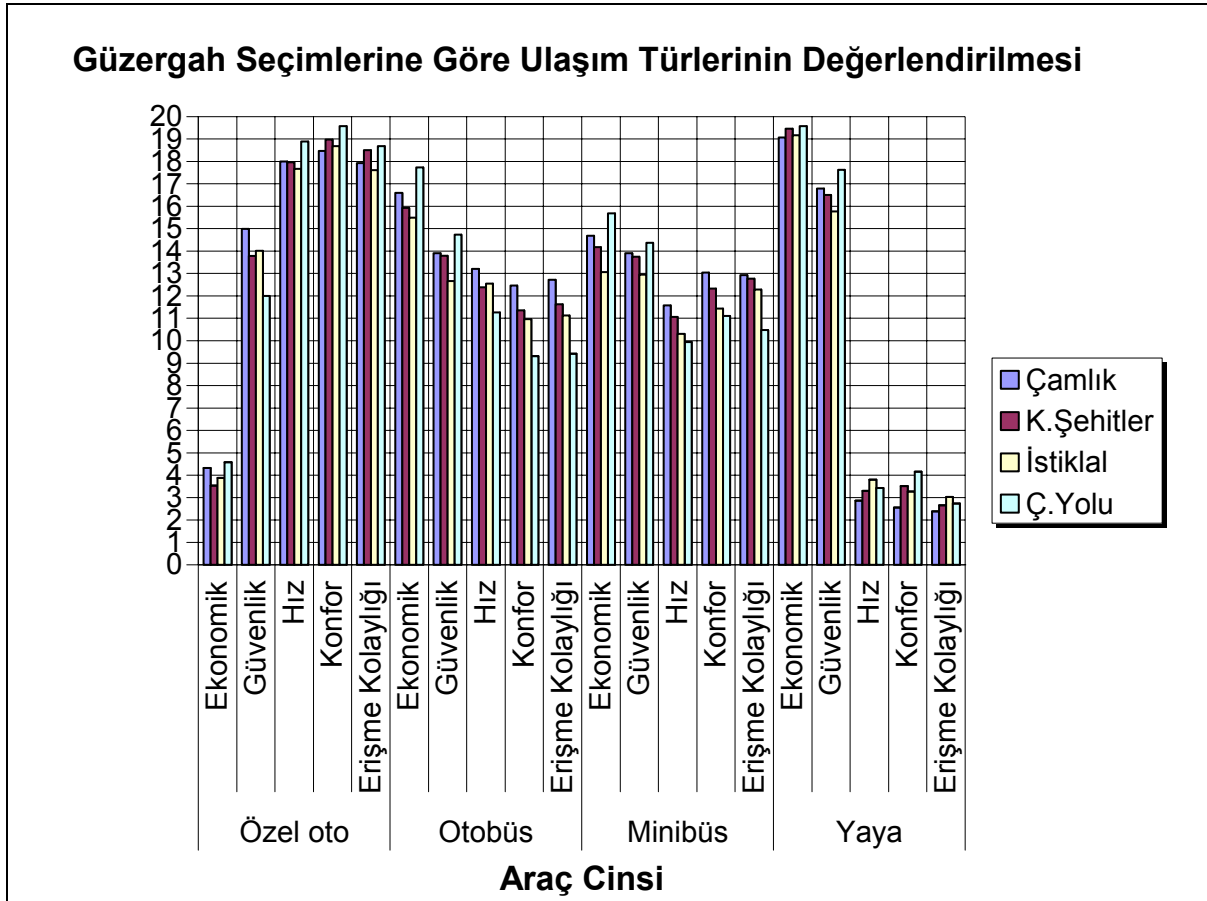
Şekil 5.9. Çınar'dan Kampus'a Tıkanıklık Durumunda Güzergah Değişimleri



Şekil 5.10. Güzergah Değerlendirmeleri

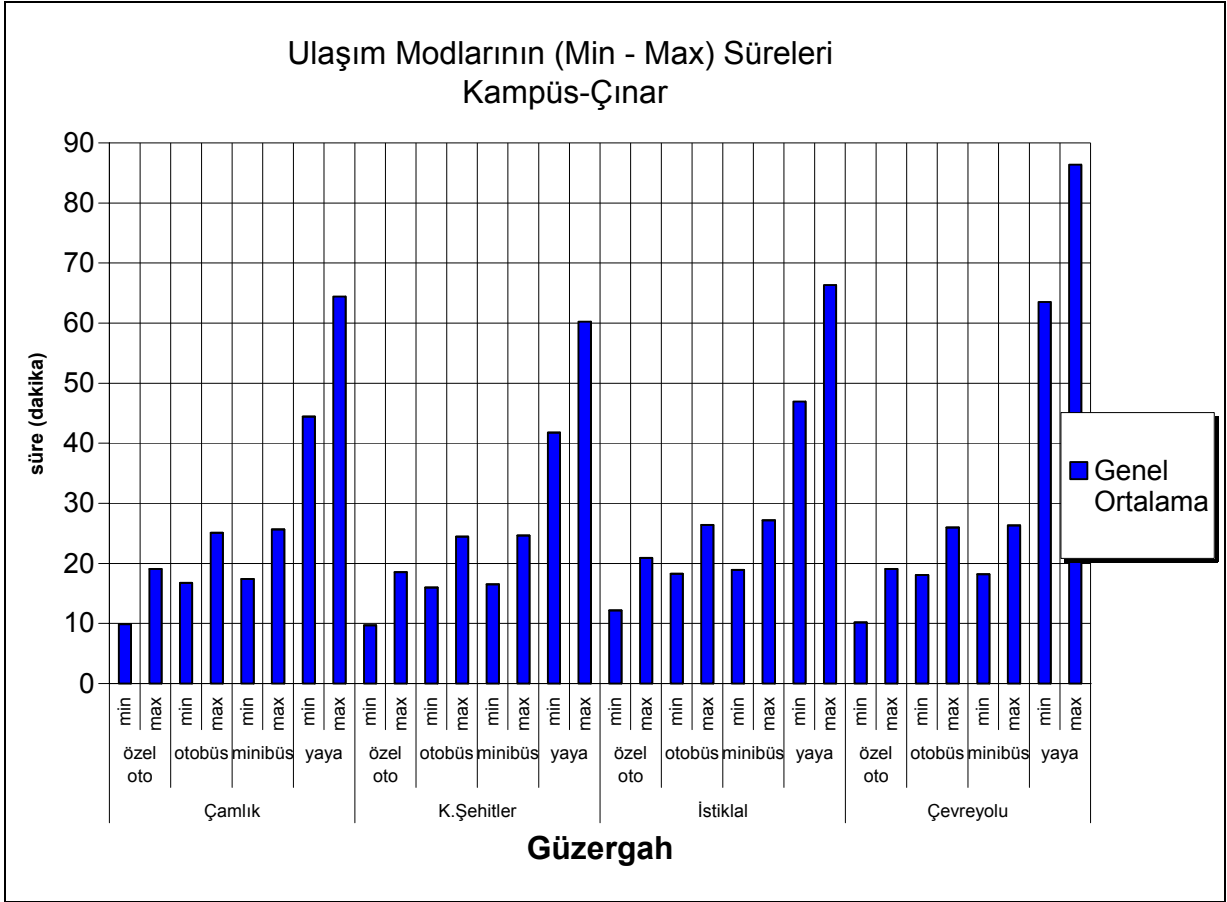


Şekil 5.10, farklı güzergahları tercih eden yol kullanıcılarının, tercih ettikleri güzergahlar ile diğer güzergahlar için yaptıkları, Trafik Güvenliği, Tıkanma Olasılığı ve Çevresel etki değerlendirmeleri verilmiştir. Bu değerlendirmeler için anket çalışmasında 0-20 arası puanlandırmaların yapılması istenmiştir.



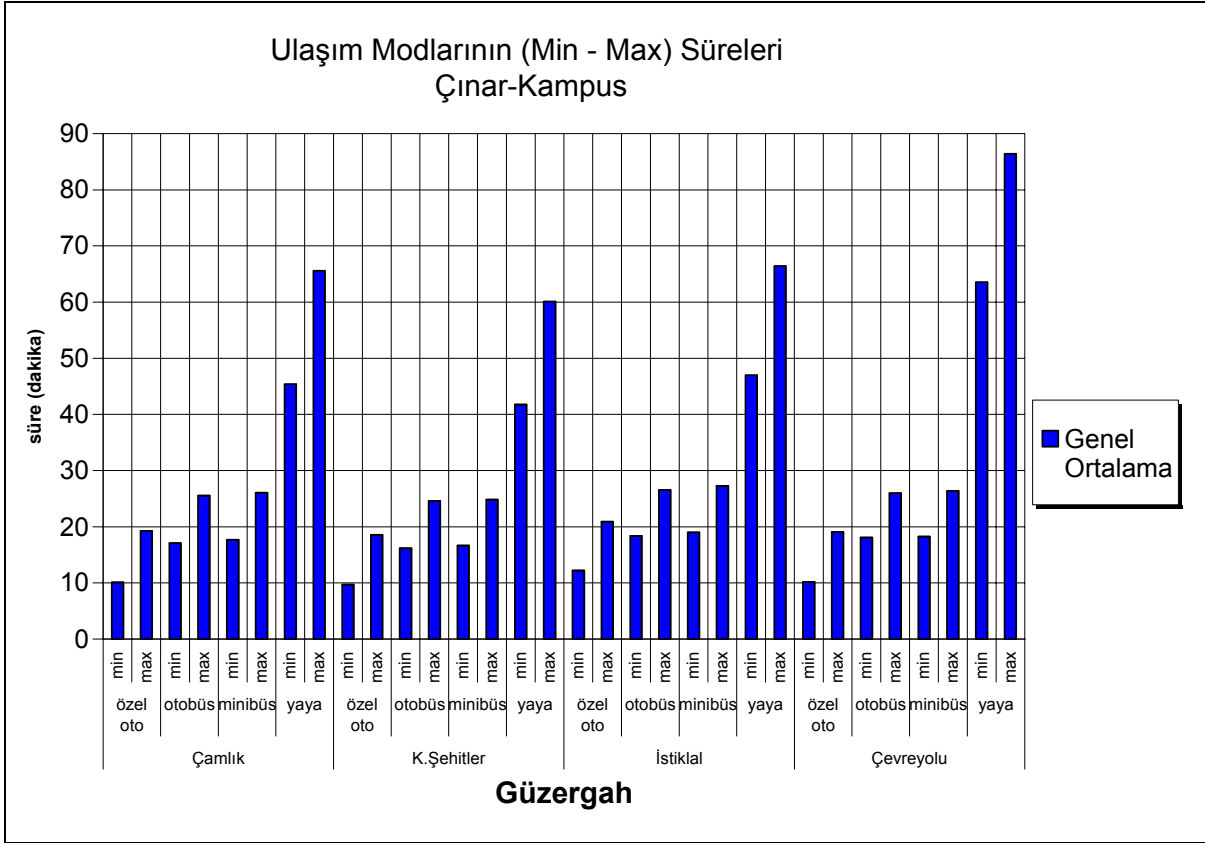
Şekil 5.11. Güzergah Seçimlerine Göre Ulaşım Türlerinin Değerlendirilmesi

Şekil 5.11, Ulaşım türlerinin değerlendirilmesi, güzergah seçimlerine göre ayrılarak verilmiştir. Burada, özel oto, otobüs, minibüs ve yaya ulaşım türleri; ekonomi, güvenlik, hız, konfor ve erişme kolaylığı parametreleri ile değerlendirilmiştir.



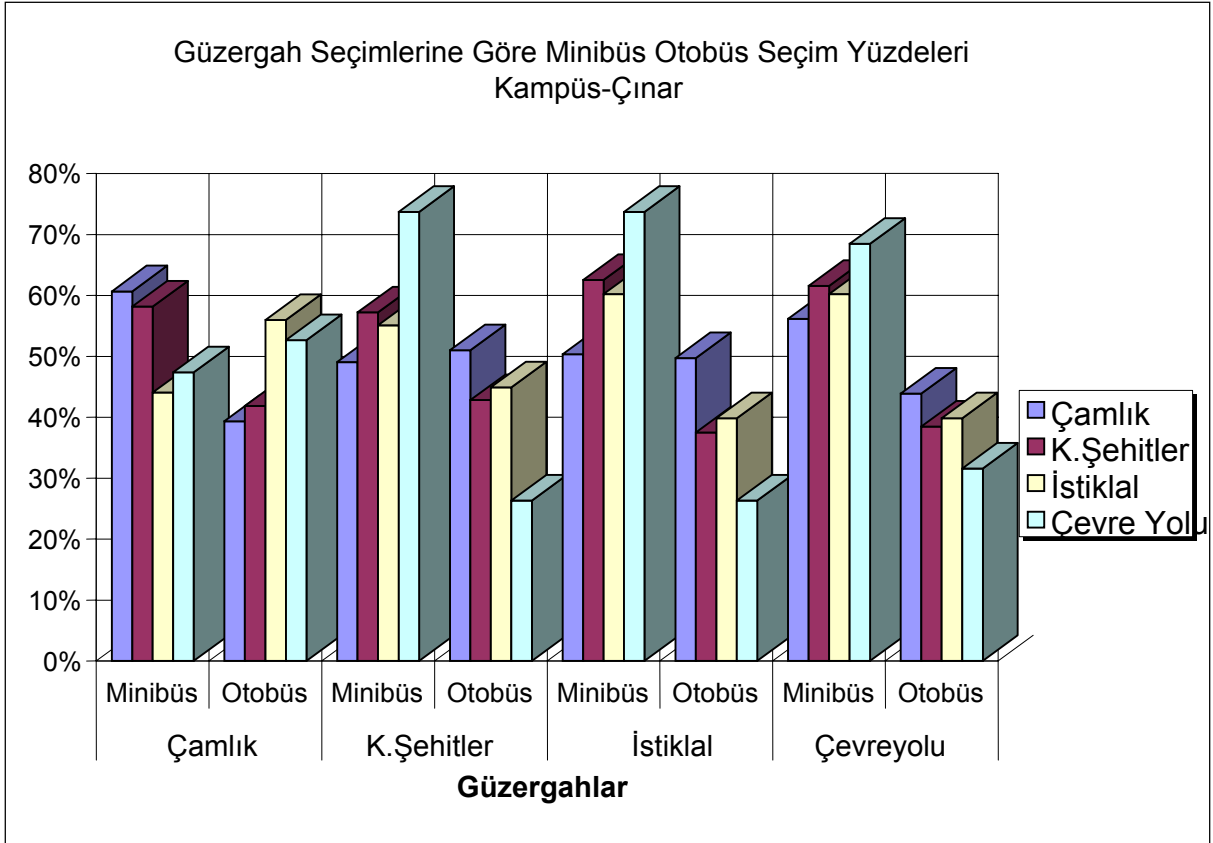
Şekil 5.12. Kampüs'den Çınar'a Ulaşım Türlerinin Min-Max Süreleri

Şekilde görüldüğü üzere, tüm güzergah seçenekleri için en az 10, en fazla 25 dakikalık süre tahmini yapılmıştır. Yaya ulaşımı için ise, 40 ile 80 dakikalık bir seyahat süresi algılanmıştır.

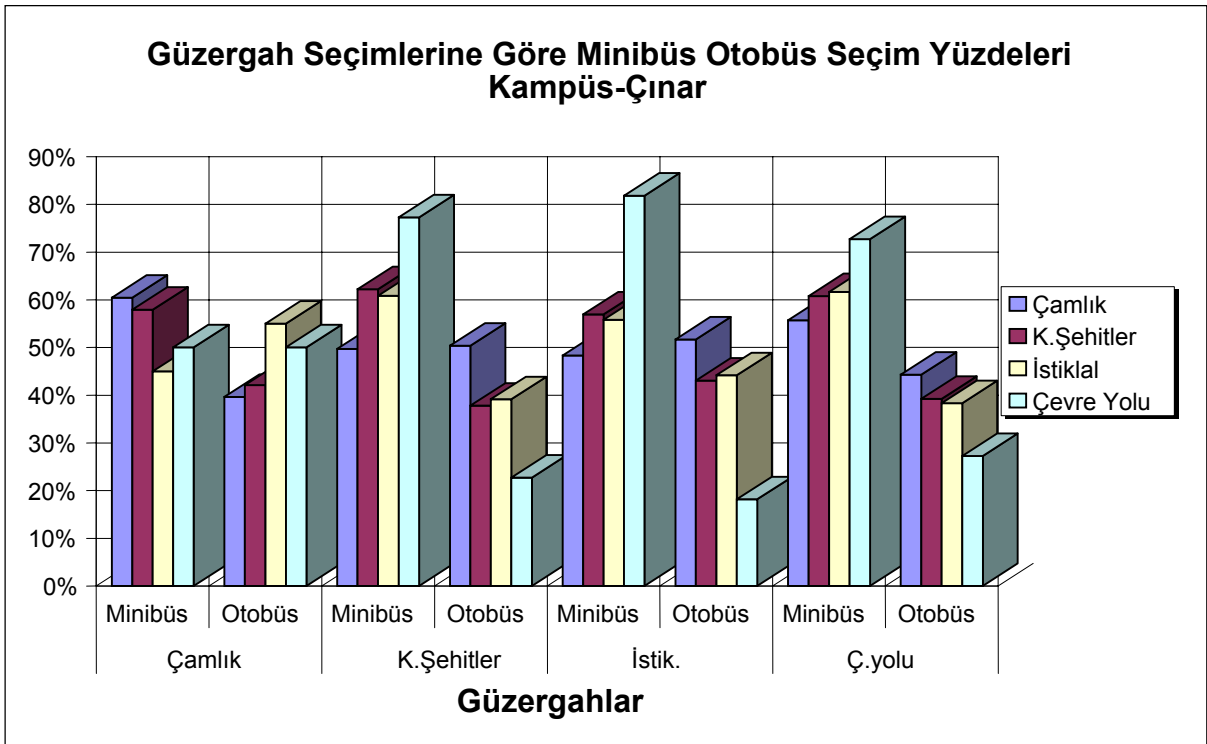


Şekil 5.13. Çınar'dan Kampüs'e Ulaşım Türlerinin Min-Max Süreleri

Şekil 5.12 ve 5.13'de sırasıyla, Kampüs'den Çınar'a ve Çınar'dan Kampüs'e; farklı güzergah tercihi yapan yol kullanıcılarının, farklı ulaşım türleri için algıladıkları minimum ve maksimum seyahat süreleri görülmektedir.



Şekil 5.14. Kampüs'den Çınar'a Minibüs-Otobüs Seçim Yüzdeleri



### Şekil 5.15. Çınar'dan Kampüs'e Minibüs-Otobüs Seçim Yüzdeleri

Şekil 5.14 ve 5.15, toplu taşıma türleri olan minibüs ve otobüs seçim oranlarını göstermektedir. Bu grafikler incelendiğinde, genel olarak her güzergah için, minibüs seçim yüzdesinin, otobüs seçimine oranla daha yüksek olduğu görülmektedir.

## 5.2. Verilerin Bulanık Modellemesi

### 5.2.1. Bulanık Model Parametreleri

Anket çalışması kapsamında, ankete katılanların her güzergah için, giriş parametrelerinden; Trafik Güvenliği, Tıkanma Olasılığı, Çevresel Etki parametreleri için yaptıkları 0-20 arası puanlandırmalar ile, ortalama seyahat süresi tahminleri, modelin girdi kısmını oluşturmaktadır. Yine anket sonuçlarından alınan, ve uygulamada yol kullanıcılarının bu parametreleri kişisel olarak değerlendirmelerinin bir sonucu olan rota seçim kararları da bulanık modelin çıktı kısmının değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

Bu bağlamda, Bulanık modelde kullanılan giriş parametreleri,

- Seyahat süresi
- Trafik Güvenliği
- Tıkanma olasılıkları
- Çevresel Etki değerlendirmeleri

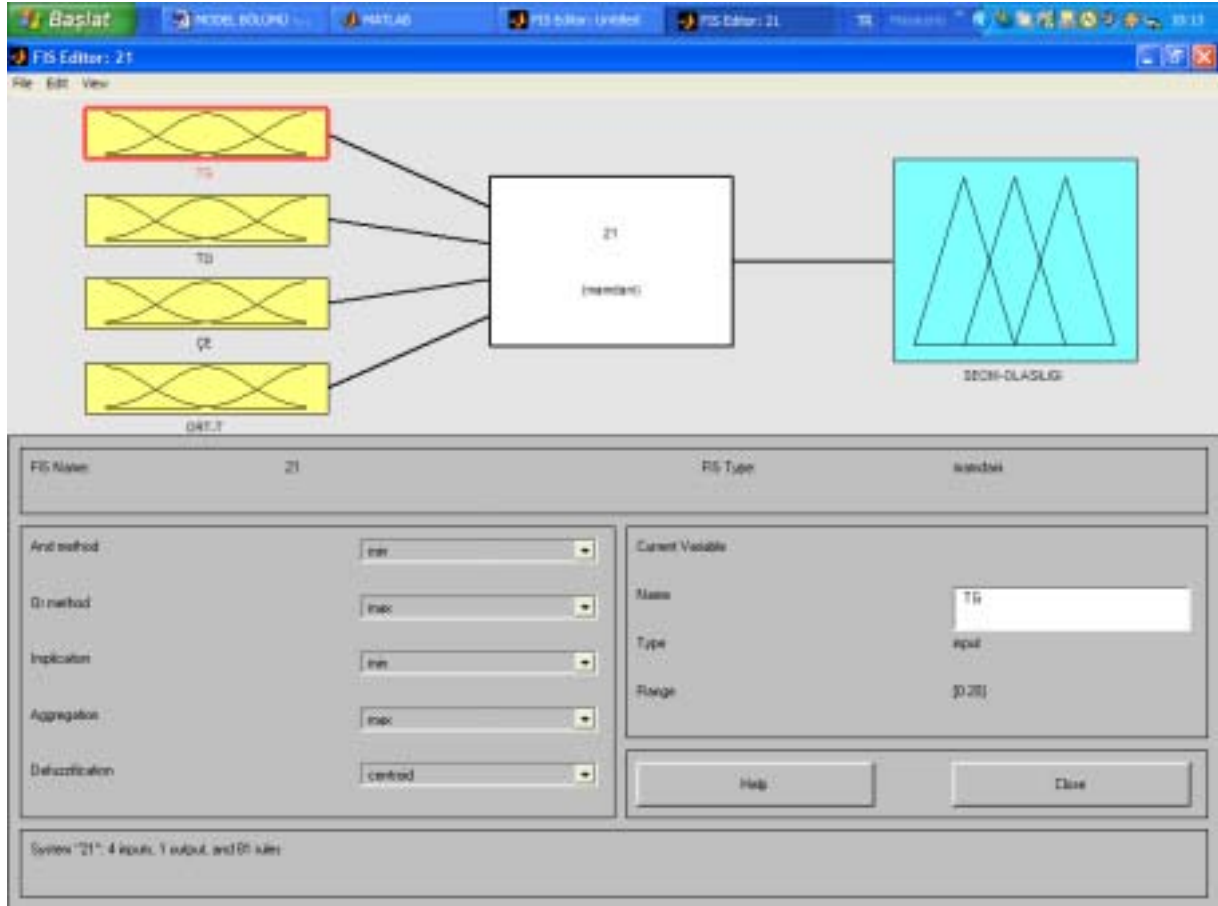
Çıkış büyüklüğü ise;

- Rota Seçim Olasılığı

olarak alınmıştır.

Bulanık model çözümü, MATLAB-Bulanık Mantık Toolbox programı kullanılarak yapılmıştır. Şekil 5.16' da MATLAB programına ait çözüm penceresi verilmiştir. Bulanık Mantık Toolbox programı kullanımı, pek çok kolaylık ve seçenek sunmaktadır.

Değişken sayıları, üyelik fonksiyonu türü, çıkarım ve durulaştırma yöntemleri kullanıcı tarafından seçilebilmektedir.

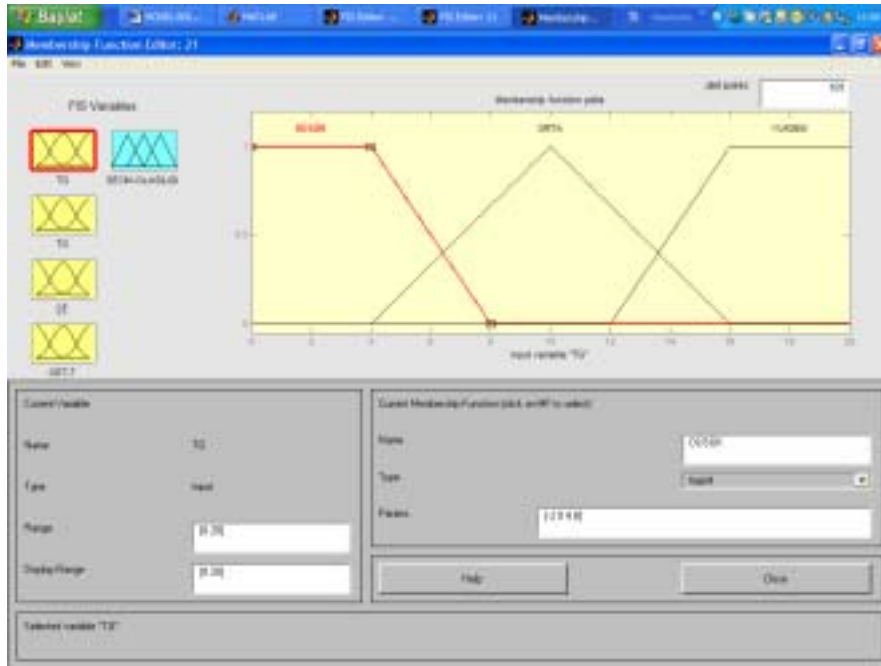


Şekil 5.16. Matlab Programı Fuzzy Toolbox Penceresi

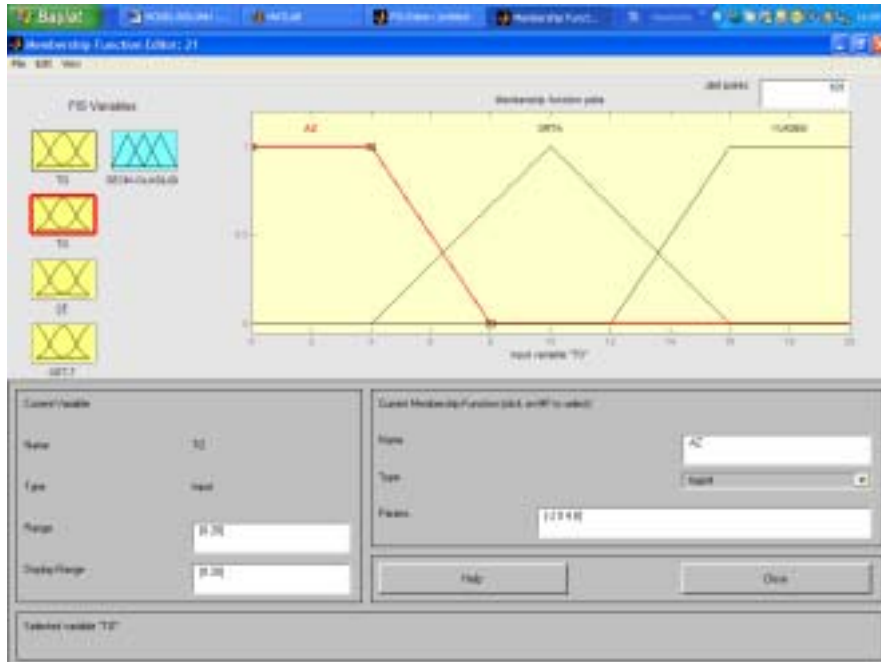
## 5.2.2 Üyelik Fonksiyonlarının Belirlenmesi

Giriş ve çıkış parametrelerinin üyelik fonksiyonları, anket sonuçları ve uzman bir kimsenin bilgi ve tecrübelerinden faydalanılarak belirlenmiştir. Seyahat süresi, Trafik Güvenliği, Tıkanma olasılığı ve Çevresel Etki parametreleri için üçgen ve trapez üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Çıkış büyüklüğü olan rota seçim olasılığı parametresi için ise, üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Üyelik fonksiyonları, yapılan anket çalışması sonuçlarının, en küçük, en büyük ve ortalama değerleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Kalibre edilerek daha iyi sonuçlara ulaşılabilir. Şekil 5.17-5.20' de giriş

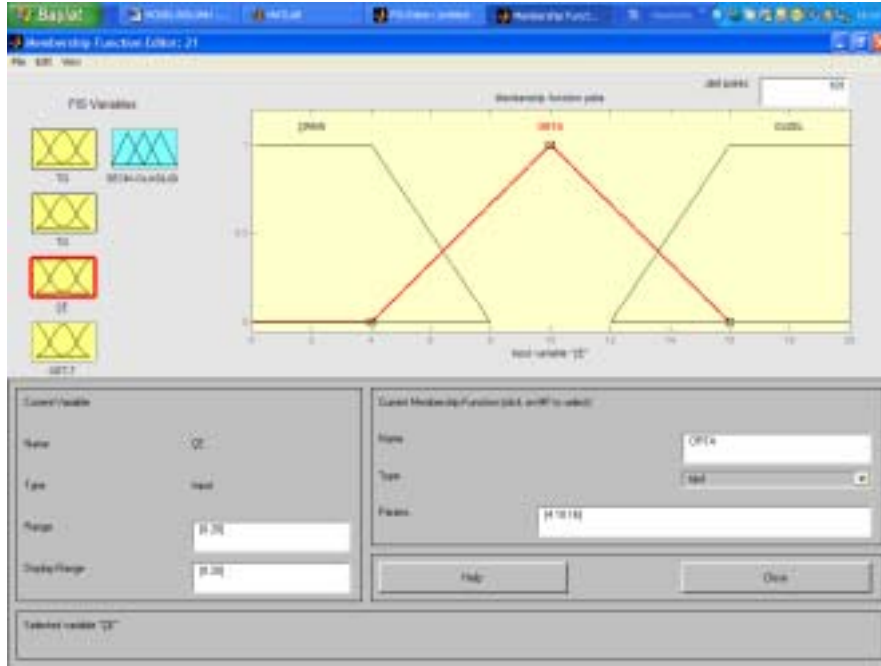
parametrelerinin üyelik fonksiyonları verilmiştir. Şekil 5.21 ise, çıkış büyüklüğü olan Rota Seçim Olasılığı' nın üyelik fonksiyonunu göstermektedir.



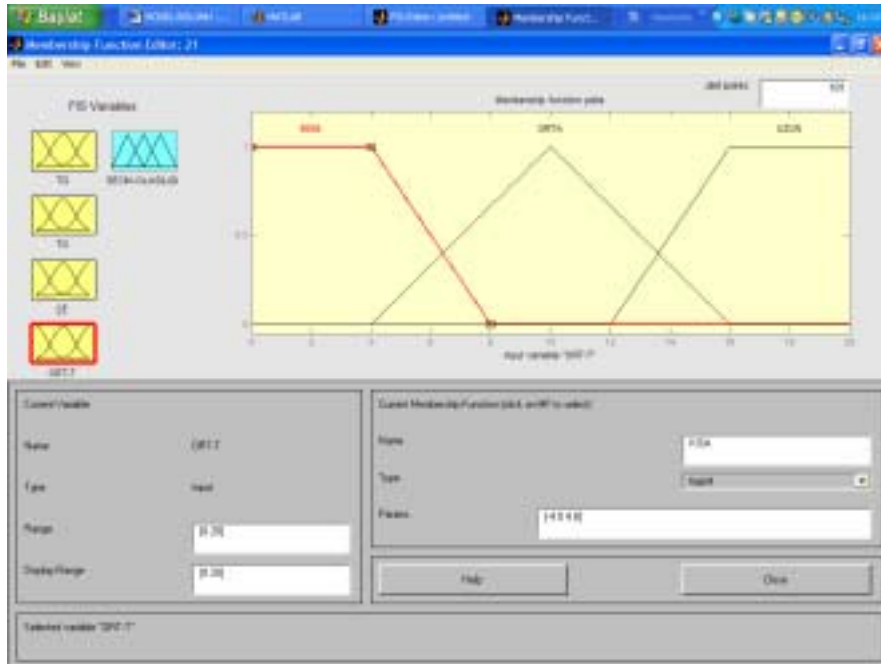
Şekil 5.17. Trafik Güvenliği(TG) üyelik fonksiyonu



Şekil 5.18. Tıkanma Olasılığı (TO) üyelik fonksiyonu

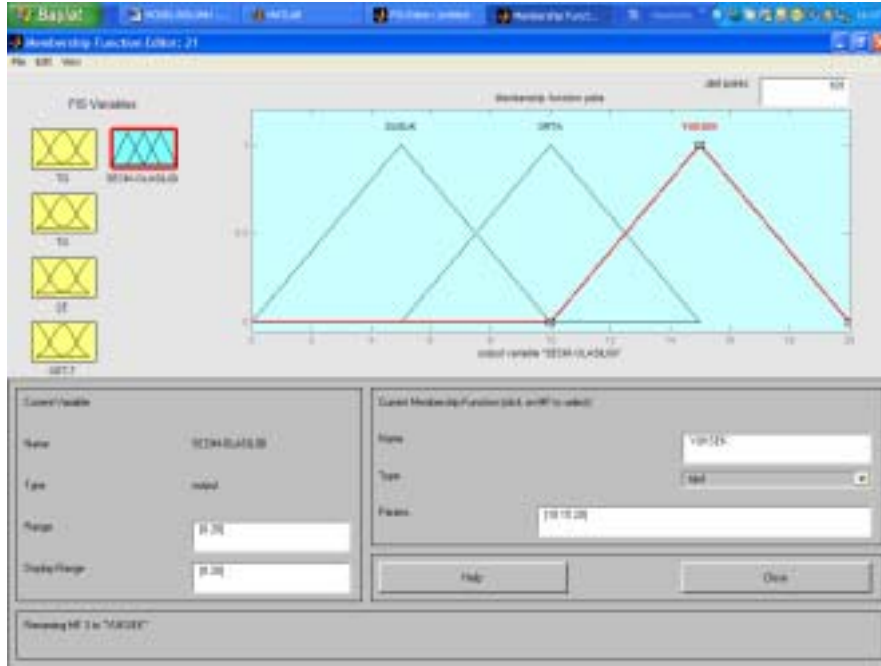


Şekil 5.19. Çevresel Etkiler (ÇE) üyelik fonksiyonu



Şekil 5.20. Ortalama Seyahat Süresi (ORT\_T) üyelik fonksiyonu

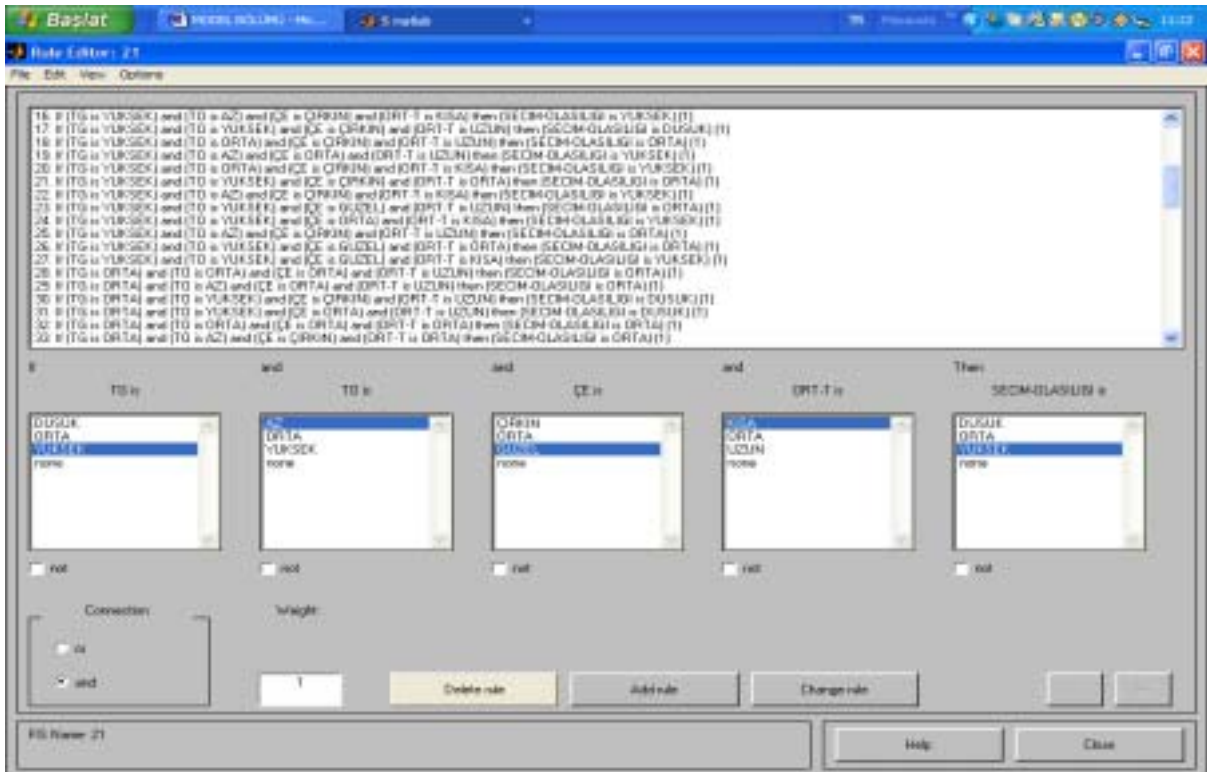




Şekil 5.21. Seçim Olasılığı üyelik fonksiyonu

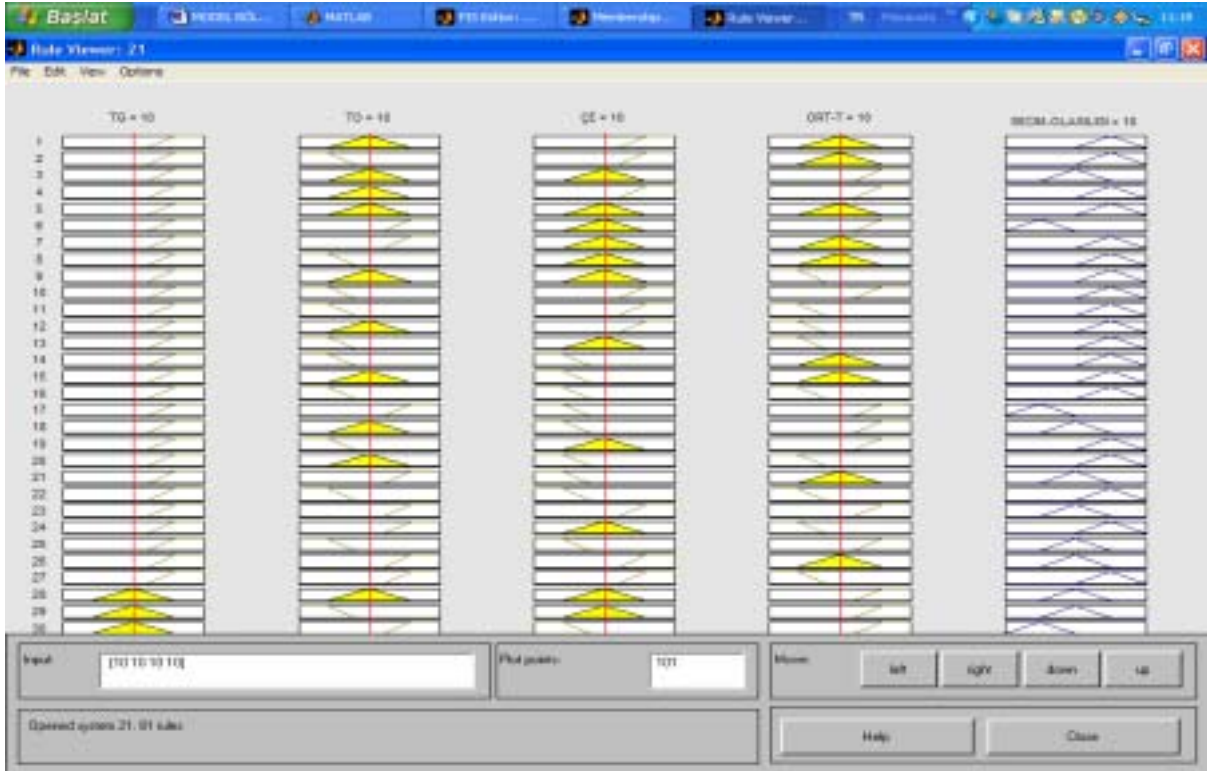
### 5.2.3. Bulanık Kural Tabanının Oluşturulması:

Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinden sonraki aşama, bulanık kural tabanının oluşturulmasıdır. Bulanık kural tabanı, EĞER yani öncül kısımda girdi parametreleri; İSE yani çıkarım kısmında ise çıktı değeri elde edilecek şekilde sözel bilgilerden oluşmaktadır. Bu çalışmada, Trafik Güvenliği üyelik fonksiyonu 3 adet, Tıkanma Olasılığı üyelik fonksiyonu 3 adet, Çevresel Etkiler üyelik fonksiyonu 3 adet ve Seyahat süresi üyelik fonksiyonu 3 adet olduğundan,  $3*3*3*3=81$  adet kural oluşturulmuştur. Anket sonuçları, sözkonusu girdi ve çıktı parametreleri için istatistiksel olarak incelenerek, mantık ve tecrübe çerçevesinde, 81 kuraldan meydana gelen bulanık kural tabanı kalibre edilmiştir. Şekil 5.22 Bulanık Kuralların MATLAB penceresi içerisinde göstermektedir.



Şekil 5.22. Bulanık Kural Tabanı

Sistemin çıkarımının elde edilebilmesi için IF THEN(EĞER İSE) ifadeleri kullanılarak oluşturulmuş olan bu 81 kural, VE operatörü ile harmanlanmıştır. Bu şekilde, model çıktısına oluşturulan, tüm kuralların katkısıyla ulaşılmıştır. Burada Mamdani çıkarım mekanizması kullanılmıştır. Şekil 5.23' de MATLAB programında oluşturulan bulanık kural tabanı verilmiştir.



Şekil 5.23. Bulanık Kuralların MATLAB Programında Gösterilmesi

#### 5.2.4. Bulanık Çıktının Durulaştırılması:

Bulanık olarak elde edilen çıktının durulaştırılması için, en sık kullanılan ve daha duyarlı sonuçlar veren durulaştırma yöntemi olan Ağırlık Merkezi (sentroid) yöntemi kullanılmıştır. Ankete katılan 500 kişinin model çıktıları bu yöntemle durulaştırılmıştır. Sentroid yöntemi, MATLAB programının seçenekleri arasında yer almakta olup, esas olarak aşağıdaki matematiksel bağıntı ile yapılmaktadır.

$$z^* = \frac{\int \ddot{u}_C(z) \cdot z \cdot dz}{\int \ddot{u}_C(z) \cdot dz}$$

### 5.2.5. Bulanık Model ve Lojistik Regresyon Modelinin Karşılaştırılması

Bulanık çıktıların durulaştırılması işlemi sonucu, her güzergah için seçilme olasılığı sayısal olarak elde edilmiştir. Bulanık Model sonuçlarının doğruluğu, gerçek anket sonuçlarıyla uyumluluğuna bakılarak belirlenmiştir.

Bu amaçla kullanılan bağıntı;

$$\text{doğruluk\%} = 100 / N \sum_n y_n$$

olup, bağıntıda yer alan  $N$  örnek sayısını ifade etmektedir.  $y_n$  değeri, n. bireyin ankette belirttiği rota seçimi ile, BM ile elde edilen rota seçim sonucunun aynı olması durumu için 1; diğer durumlar için 0 değerini almaktadır. Anket verileri ikili durumların sözkonusu olduğu istatistiksel analizlerde kullanılmakta olan lojistik regresyon ile de analiz edilerek, Bulanık Model sonuçları, Lojistik Logit Regresyon modeli ve Lojistik Probit Regresyon modeli ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2' de özetlenmiştir.

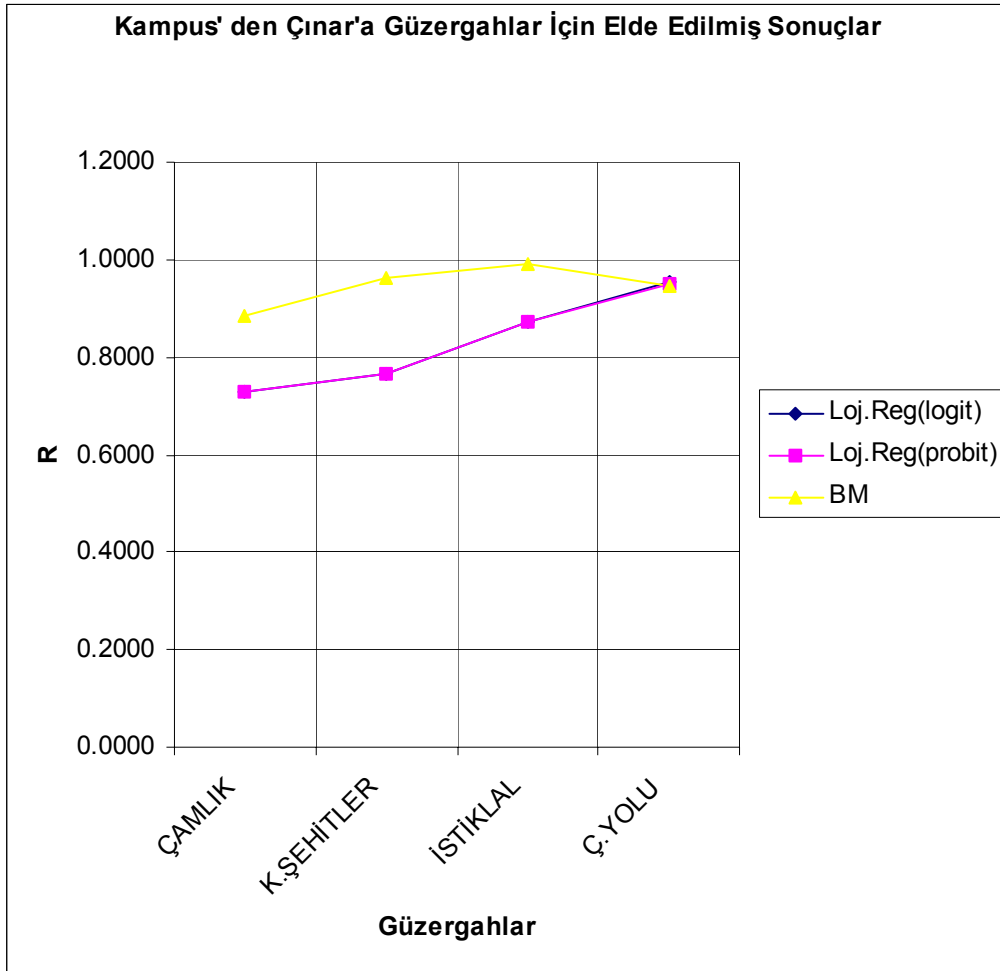
Çizelge 5.1. Kampüs'den Çınar'a Güzergahlar için Model Sonuçları

	Loj. Logit Reg (R)	Loj. Probit Reg (R)	BM(doğruluk%)
<b>ÇAMLIK</b>	0,7280	0,7273	0,8839
<b>K.ŞEHİTLER</b>	0,7670	0,7665	0,9615
<b>İSTİKLAL</b>	0,8736	0,8718	0,9915
<b>Ç.YOLU</b>	0,9548	0,9506	0,9474

Çizelge 5.2. Çınar'dan Kampüs'e Güzergahlar için Model Sonuçları

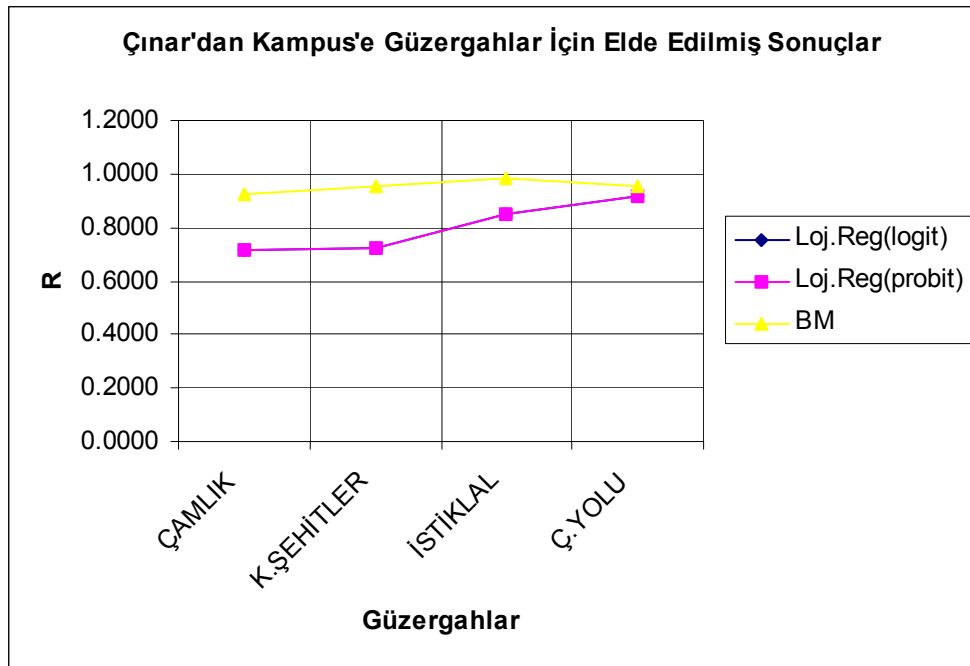
	Loj. Logit Reg (R)	Loj. Probit Reg (R)	BM(doğruluk%)
<b>ÇAMLIK</b>	0,7158	0,7153	0,9262
<b>K.ŞEHİTLER</b>	0,7252	0,7230	0,9522
<b>İSTİKLAL</b>	0,8504	0,8502	0,9833
<b>Ç.YOLU</b>	0,9202	0,9146	0,9545

Şekil 5.24 ve Şekil 5.25’de, Lojistik logit Regresyon modeli, Lojistik Probit Regresyon Modeli ve Bulanık Model sonuçları sözkonusu güzergahlar için karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 5.24. Kampüs'den Çınar'a Model Sonuçları

Şekil 5.24' de, Kampüs'den Çınar 'a güzergahlar için elde edilen Bulanık Model sonuçları ile Lojistik Logit Regresyon ve Lojistik Probit Regresyon sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Grafiklerden görüldüğü üzere, Çamlık, Kırsal Şehitler, İstiklal güzergahları için BM sonuçları diğer modellere oranla daha doğru sonuçlar vermiştir. Çevre Yolu güzergahı için elde edilen %94 lük oran, Lojistik regresyon sonuçlarına oldukça yakın ve yüksek bir değerdedir.



Şekil 5.25. Çınar'dan Kampus'e Model Sonuçları

Şekil 5.25 'de Çınar'dan Kampus'e güzergahlar için elde edilen model sonuçları görülmektedir. Model sonuçlarına göre, BM, tüm güzergahlar için, diğer modellere kıyasla daha gerçekçi sonuçlar vermiştir.

## ALTINCI BÖLÜM

# SONUÇLAR VE ÖNERİLER

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 6.1 Sonuçlar

Rota seçim problemi, seyahat süresi, mesafe, maliyet (yakıt ve diğ.), trafik güvenliği, trafik işaretlemeleri, tıkanıklık ve kuyruk durumları, yol tipi, manzara, yol çalışmaları ve alışkanlıklar gibi bir çok parametreye bağlı olmaktadır. Genel olarak yol kullanıcısı, bu parametreleri değerlendirerek, bireysel fayda maksimizasyonuna yaklaşacak şekilde seçimini yapacaktır. Ancak, bu parametrelerin hepsini içeren genel bir masraf gösterimini üretmek oldukça zordur.

Bu çalışma kapsamında oluşturulan modelde, bu parametreler arasında rota seçimi üzerinde en fazla etkili olan, Seyahat Süresi, Trafik Güvenliği, Tıkanma Olasılığı ve Çevresel Etki parametreleri kullanılmıştır. Ayrıca, Bulanık Modellemenin, rota seçim problemindeki, hassassızlık, belirsizlik ve kesinsizliği modelleme özelliğinden dolayı, rota seçim probleminde mevcut matematiksel modellere kıyasla daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Modelin performansının araştırılması için, anket verileri ikili durumların sözkonusu olduğu istatistiksel analizlerde kullanılmakta olan lojistik regresyon ile de analiz edilerek, Bulanık Model sonuçları, Lojistik Logit Regresyon modeli ve Lojistik Probit Regresyon modeli ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, Bulanık Modellemenin, bu modellere oranla daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar;

1. Anket sonuçlarına göre, seyahat süresinin en kısa ve en uzun olduğu güzergahların başlangıç ve bitiş noktaları arasında her iki yön için kullanıcılar tarafından aynı biçimde algılandığı belirlenmiştir.
2. Güzergahların seçiminde etkili parametreler; seyahat süresi, trafik güvenliği, tıkanma etkileri ve çevresel etkiler olarak sıralanmıştır.
3. Trafik tıkanıklığının görüldüğü zirve saatlerde dahi yol kullanıcılarının güzergahlarını değiştirmedeği belirlenmiştir.
4. Ulaşım türlerine göre yapılan değerlendirmeler sonucunda; özel oto tercihinin öncelikli olduğu ve özellikle hız, konfor ve erişme kolaylığı açısından tercih edildiği sonucuna varılmıştır. Ekonomik ve güvenli olması bakımından ise yaya modunun tercih edildiği belirlenmiştir.
5. Tüm güzergah seçenekleri için minibüs seçim oranlarının otobüse nazaran daha fazla olduğu belirlenmiştir.

## 6.2 Öneriler

Gelecekte yapılabilecek araştırmalarda, Bulanık Model üyelik fonksiyonlarının sınırları, bazı yeni yöntemlerle (YSA, Genetik Algoritmalar) yeniden belirlenerek, daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Bulanık kural tabanında oluşturulan kuralların ağırlıkları değiştirilerek, farklı denemelerle daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Ayrıca, rota seçim modeli, ulaşım türü (mod) seçim modeli birleştirilerek yeni bir bulanık model oluşturulabilir. Bu şekilde, mevcut bir yol ağının rota ve mod seçimi tek bir bulanık model ile ortaya konulabilir. Çalışma kapsamında geliştirilen model, Bulanık Mantık trafik atama modeli ile birleştirilebilir veya yeni bir kombine model geliştirilerek çeşitli senaryolar için test edilebilir.



## KAYNAKLAR

- Arslan, T., Hybrid Rational Route Choice Approaches: Using Concepts From Fuzzy Logic and the Analytic Hierarchy Process, Ph.D Thesis, in Civil Engineering in the Graduate College of the Illinois Institute of Technology, Chicago, Illinois, 2003.
- Arslan, T., Khisty C.J., A Rational Reasoning Method from Fuzzy Perceptions in Route Choice, 2004
- Ben-Akiva, M.E., Lerman, S.R., Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand, MIT Pres, Cambridge, 1985.
- Ben-Akiva, M., Bolduc, D., Multinomial Probit with a Logit Kernel and a General Parametric Specification of the Covariance Structure, Working Paper, Massachusetts Institute of Technology, 1996
- McFadden, D., Train, K., Mixed MNL Models for Discrete Choice Response, Journal of Applied Econometrics, Vol. forthcoming, 2000.
- Binetti, M and De Mitri, M., Traffic Assignment Model with Fuzzy Travel Cost, 805-812 p., 2000.
- Bovi, P.H.L., Stern E., Route Choice:Wayfinding in Transport Networks, Kluwer Academic Publishers, the Netherlands, 1990.
- Bunch, D.S., Kitamura R., Multinomial Probit Model Estimation Revisited: Testing of New Algorithms and Evaluation of Alternative Model Specifications for Trinomial Models of Household Car Ownership, Transportation Research Group, University of California at Davis, 1989.

Cascetta, E., Nuzzola, A., Russo, F., Vitetta, A., Modified Logit Route Choice Model Overcoming Path Overlapping Problems: Specification and Some Calibration Results for Interurban Networks, In *Transportation and Traffic Theory: Proceedings of the 13th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, Lyon, France, New York: Elsevier Science, Inc., 1996.

Clark, C.E., The Greatest of a Finite Set of Random Variables, *Operation Research*, Vol. 9, 145-162p, 1961.

Daganzo, C.F., Sheffi, Y., On Stochastic models of traffic assignment, *Transportation Science*, 253-274p., 1977.

Daganzo, C., *Multinomial Probit: The Theory and Its Application to Travel Demand Forecasting*, Academic Pres, INC., New York, 1979.

Fowkes, A.S., Toner, J.P., Freight mode/route choice modeling with limited data, *Proceedings of Seminar E., Transportation Planning Methods*, European Transport Conference, PTRC, London, 147-164p., 1998.

Gliebe, J.P., Koppelman, F.S., Ziliaskopoulos, A., Route choice using a paired combinatorial logit model, 78th meeting of the Transportation Research Board Washington D.C., 1999.

Gommers, M.J.P.F., Bovy, P.H.L., Calibration of Stochastic Multiple Route Assignment Model, *Proceedings-PTRC Annual Meeting*, London, 1986.

Henn V., What is the Meaning of Fuzzy Costs in Fuzzy Traffic Assignment Models, 231-239p., 2002

- Horowitz, J.L., Sparmann, J.M., Daganzo, C., An Investigation of the Accuracy of the Clark Approximation for the Multinomial Probit Model, *Transportation Science*, Vol. 16, No. 3, 382-401p., 1982.
- Jang. J.S.R., Sun. C.T., Mizutani. E., *Neuro-Fuzzy and Soft Computing*, Prentice Hall, ISBN 0-13-261066-3, 607 s, United States of America, 1997.
- Lo H. and Lam W.S.P., A Modified Multinomial Logit Model of Route Choice for Drivers Using the Transportation Information System, 295-299p., 1997.
- Mahmassani, H.S., Srinivasan K., Perception and Judgment Processes in Traveller Decisions Under Real-Time Traffic Information, 266-268p., 2003
- Manski, C., *The Structure of Random Utility Models, Theory and Decision*, Vol.8, 229-254p, 1977.
- Mc.Fadden, D., Modeling The Route Choice of Residential Location, *Transportation Research Record*, No. 673, 72-77p., 1978.
- Murat Y.Ş., Gedizlioğlu E., A Fuzzy Logic Multi-phased Signal Control Model for Isolated Junctions, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 13, 19-36s., 2005.
- Murat, Y. Ş., “Sinyalize Kavşaklarda Bulanık Mantık Tekniği ile Trafik Uyumlu Sinyal Devre Modeli”. Doktora Tez çalışması. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 198s., 2001
- Ortuzar J.de D., Willumsen L.G., *Modelling Transport*, ISBN: 0-471-92629-9, Wiley
- Oppenheim, N., *Urban Travel Demand*, John Wiley & Sons Inc., 1995.

- Prashker, J.N., Bekhor, S., Investigation of Stochastic Network Loading Procedures, Transportation Research Record, 94-102p, 1999.
- Ross, T., Fuzzy Logic with Engineering Applications, McGraw-Hill Inc., ISBN 0-07-053917-0, 1965
- Sheffi, Y., Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 07632, ISBN: 0-13-939729-9, 1985.
- Şen, Z., Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri”, ISBN: 9758509233, Bilge Kültür Sanat Yayınevi, İstanbul, 2001
- Teodorovic, D., Fuzzy Logic Systems for Transportation Engineering : the state of art, Transportation Res. Part A 33 337-364p., 1999
- Tsippy L., Modelling Route Choice Behaviour in the Presence of Information Using Concepts of Fuzzy Sets Theory and Approximate Reasoning, Ph D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 1992.
- Vovsha, P., Application of Cross-nested logit model to mode choice in Tel Aviv, Israel, Metropolitan Area, Transportation Research Record, 6-15p., 1997.
- Vovsha, P., Bekhor, S., Link-nested logit model of route choice: overcoming route overlapping problem, Transportation Research Record., 133-142p., 1998.
- Vythoukcas, P.C., Koutsopoulos H.N., Modelling Discrete Choice Behaviour Using Concepts from Fuzzy Set Theory, Approximate Reasoning and Neural Networks, Transportation Research Part C11, 51-73p., 2003
- Wen, C., Koppelman, F.S., The Generalised Nested Logit Model, 79th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., 2000.

Williams, H.C.W.L., On the formation of travel demand models and economic evaluation measures of user benefit, *Environment and Planning A*, 285-344p., 1977.

Zimmerman, H.J., *Fuzzy Set Theory and Its Applications*, Kluwer Ac. Publishing, 1990.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı, soyadı : Nurcan ULUDAĞ  
Ana adı : Nadire  
Baba adı : Necati  
Doğum yeri ve tarihi : Şanlıurfa, 27.06.1979  
Lisans eğitimi ve mezuniyet tarihi : Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2001  
Çalıştığı yer : Araştırma Görevlisi, Pamukkale Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü  
Bildiği yabancı dil : İngilizce

## Ek 1.

## T.C. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fak.

## Güzergah(Rota) ve Ulaşım Türü (Modu) Seçim Davranışı Modelleme Çalışması

## Anket Formu

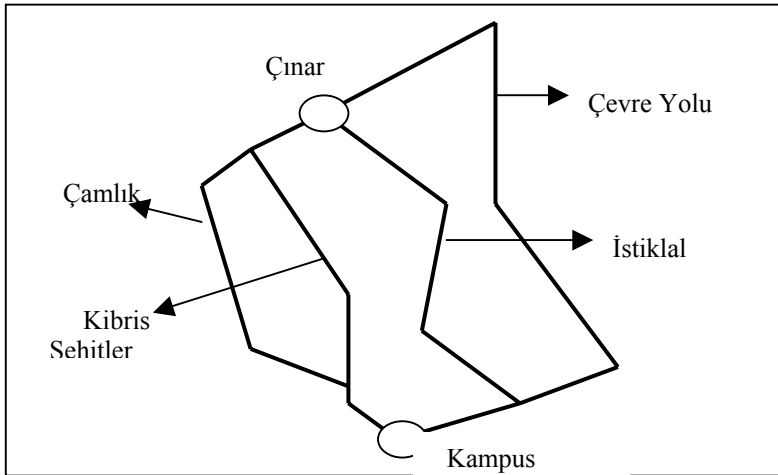
Dr. Y. Şazi MURAT ve Araş.Gör.Nurcan ULUDAĞ

**Güzergah 1 (Çamlık):** Kampus-Mevlana Cd.-Doğan Demircioğlu Cd.-Ulus Caddesi- Çamlık Bulv. – Lise Cd.-Çınar

**Güzergah 2 (Kıbrıs Şehitleri):** Kampus- Mevlana C.-Doğan Demircioğlu C.-Zübeyde H. C.-Kıbrıs Şehit.C-Lise C.- Çınar

**Güzergah 3 (İstiklal):** Kampus-Bursa Cad.-İncilipınar Cad.-İstiklal Cad.-Çınar

**Güzergah 4 (Çevre Yolu):** Kampus- Hüseyin Yılmaz C.-Süleyman Demirel Bul.-Fevzi çakmak Bul.- Atatürk c.- Çınar (Acıpayam yolu ifade edilmektedir, emniyet müdürlüğünden çınar meydanına yönlendirme yapılmıştır.)



**Güzergahların hepsinde tüm ulaşım türlerinin var olduğunu kabul ediniz.**

**SORULAR**

**Soru 1)** Yukarıda tanımlanan 4 güzergahtan hangisini tercih edeceğinizi işaretleyiniz. İşaretlemek istediğiniz seçeneğe ait karenin üzerine çift tıklayıp, çıkan pencerede **onaylandı** seçimi yapıp **Tamam'** ı tıklayınız.)

**Kampus'tan Çınar'a :**

Güzergah 1      Güzergah 2       Güzergah 3       Güzergah 4

**Çınar'dan Kampus'a:**

Güzergah 1       Güzergah 2       Güzergah 3       Güzergah 4

**Soru 2 )** Yaptığınız güzergah seçiminde aşağıdaki nedenlerin sizin için önem derecesini yüzde (%) olarak belirtmişsiniz.

Seyahat süresi (%...)      Güvenlik (%.....)      Tıkanma(%.....)      Çevresel (%...)      Diğer (%....)  
(sinyalizasyon, durma-kalkma vb.)

**Soru 3)** Trafiğin yoğun olduğu zirve saatlerde yukarıda belirttiğiniz güzergah tercihiniz değişir mi? Değişirse ne olur?

**Kampus'tan Çınar'a :**

Güzergah 1       Güzergah 2       Güzergah 3       Güzergah 4

**Çınar'dan Kampus'a :**

Güzergah 1       Güzergah 2      Güzergah 3       Güzergah 4

**Soru 4)** Özel aracınız var mı? Evet      Hayır

**Soru 5) Özel aracınızla/araçla** bu güzergahların sizce tahmini seyahat süresi ne olabilir? (dakika olarak)

	<u>Kampus'tan Çınara</u>	<u>Çınardan Kampus</u>
1.Çamlık	.....dakika	.....dakika
2.İstiklal	.....dakika	.....dakika
3.Kıbrıs Şehitleri	.....dakika	.....dakika
4.Çevre Yolu	.....dakika	.....dakika

**Soru 6)** Söz konusu güzergahlar için farklı ulaşım türleri ile, seyahat süresi sizce en az ve en fazla ne kadar olabilir?

• **Kampus'tan Çınar'a:**

	<u>Özel oto</u>		<u>Otobüs</u>		<u>Minibüs</u>		<u>Yaya</u>	
	<u>En az</u>	<u>En fazla</u>	<u>En az</u>	<u>En fazla</u>	<u>En az</u>	<u>En fazla</u>	<u>En az</u>	<u>En fazla</u>
1.Çamlık	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
2.Kıbrıs Şehitleri	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
3.İstiklal	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
4.Çevre Yolu	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

• **Çınar'dan Kampus'a :**

	<u>Özel oto</u>		<u>Otobüs</u>		<u>Minibüs</u>		<u>Yaya</u>	
	<u>En az</u>	<u>En fazla</u>	<u>En az</u>	<u>En fazla</u>	<u>En az</u>	<u>En fazla</u>	<u>En az</u>	<u>En fazla</u>
1.Çamlık	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
2.Kıbrıs Şehitleri	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
3.İstiklal	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
4.Çevre Yolu	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

**Soru 7)** Toplu taşımacılıktan yararlanıyorsanız, bu güzergahlar için hangisini tercih edersiniz?

	<u>Kampus'tan Çınar'a</u>		<u>Çınar'dan Kampus'a</u>	
	<u>Minibüs</u>	<u>Otobüs</u>	<u>Minibüs</u>	<u>Otobüs</u>
1.Çamlık	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.İstiklal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.Kıbrıs Şehitleri	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



4.Çevre Yolu

**Soru 8)** Güzergahları, **Çevresel etkiler** için (peyzaj, genel görünüm ve bunun psikolojik etkisi) (En olumlu çevre için 20 puan), **trafik güvenliği** (en güvenli durum için 20 puan), ve zirve saatlerdeki **tıkanma olasılığını** (En yüksek tıkanma olasılığı için 20 puan) puanlama yöntemi ile değerlendiriniz?

	<u>Çevresel Etkiler</u>	<u>Trafik Güvenliği</u>	<u>Tıkanma olasılığı</u>
1.Çamlık	.....puan	.....puan	.....puan
2.Kıbrıs Şehitleri	.....puan	.....puan	.....puan
3.İstiklal	.....puan	.....puan	.....puan
4.Çevre Yolu	.....puan	.....puan	.....puan

**Soru 9)** Ulaşım türlerini, puanlama yöntemi ile değerlendiriniz. (20 en iyi olmak üzere 0-20 puan aralığında değerlendirme yapınız)

	<u>Özel oto</u>	<u>Otobüs</u>	<u>Minibüs</u>	<u>Yaya</u>
Ekonomik	.....puan	.....puan	.....puan	.....puan
Güvenlik	.....puan	.....puan	.....puan	.....puan
Hız	.....puan	.....puan	.....puan	.....puan
Konfor	.....puan	.....puan	.....puan	.....puan
Erişme kolaylığı	.....puan	.....puan	.....puan	.....puan

**Soru 10)** Aylık gelirinizi işaretlermisiniz.

- 0-500 milyon
- 500 milyon-1 milyar
- 1 milyar-2 milyar
- 2 milyar-4 milyar
- 4 milyar üstü

**Not:** Bu çalışma yalnızca akademik bir amaç doğrultusunda yapılmaktadır. Toplanan bilgilerin başka amaçlar doğrultusunda kullanılması söz konusu değildir.