

**ULAŞTIRMA TÜRÜ SEÇİMİNDE
ESNEK HESAPLAMA YÖNTEMLERİ**

DOKTORA TEZİ
Y. Müh. Yusuf Kağan DEMİR
(501982008)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 18 Ekim 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Şubat 2006

Tez Danışmanı :

Prof.Dr. Haluk GERÇEK

Diğer Jüri Üyeleri

Prof.Dr. Güngör EVREN (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Aydın EREL (Y.T.Ü.)

Y.Doç.Dr. Nevzat ERSELCAN (İ.T.Ü.)

Y.Doç.Dr. İsmail ŞAHİN (Y.T.Ü.)

ŞUBAT 2006

ÖNSÖZ

İnsanın hayatı boyunca süren öğrenme olgusunun, yanlış ile doğruluğun çekişmesi sürecinde şekillendiği ve bu süreçte insanın oynadığı iki önemli rol olduğunu anladım. İlki insanlıkla ilgili olanı; yanlışın gücüne bakmadan uzaktan seyirci kalmayan seyretmeyen insan rolü. Diğeri ise kendine biçtiği rol; yanlış ile doğru savaşında özyapısına kattığı değerler. Akademik yaşamımda burada adını sayamadığım, yanlışın seyircisi olmayan ve bu duruşu sergileyen insanlara teşekkür etmeyi boynumun borcu sayıyorum. Kendime kattığım en önemli değere gelince; maddi ve manevi anlamda eşitliğin erdeminin ne derece büyük olduğunu kavradım. Ancak manevi anlamda, eşitsizliğin insan tininde açtığı yaranın da ne kadar derin olabileceğini de bu süreçte gördüm. Herşeye rağmen yaşanan olumsuzlukların bıraktığı buruk ve acı tadın tek tesellisi, gelecekteki yaşantımda başkaları için doğru eylemler yapmama olacak katkısıdır.

Bu ana kadar geçirdiğim İ.T.Ü. Ulaştırma Anabilim Dalı akademik yaşamımda önemli bir yere sahip olacak. Bu nedenle üzerinde emeği geçen tüm hocalarıma, kürsüde acı ve tatlı anlarımı paylaştığımız arkadaşlarıma, ayrıca doktoram boyunca iyi niyetlerini ve yardımlarını esirgemeyen Fen Bilimleri Enstitüsü çalışanlarına teşekkür ederim.

Sevgili Güngör Evren hocama, İ.T.Ü.'deki akademik yaşamım boyunca gösterdiği manevi destek için teşekkürü bir borç biliyorum. Sanırım ondan öğrendiğim hoşgörü ilerideki hayatımda bana iyi bir kılavuz olacak.

Danışmanım Haluk Gerçek'e, gösterdiği anlayış ve açık görüşlülüğü ve önyargısız yaklaşımları ve destekleri için çok teşekkür ederim.

Aileme öğrencilik yaşamamı boyunca gösterdiği ilgi ve destek için teşekkür ederim. Ancak sevgili Anne'min beni okutmak amacıyla gösterdiği maddi ve manevi fedakarlığı unutmam mümkün değil. Teşekkürler Anne.

Sevgili eşim Hatice, ona özel bir teşekkür borcum var. Tüm doktora çalışmam boyunca katlandığın kaprislerim, verdiğin ve bundan sonra da vereceğinden hiç kuşku duymadığım desteğin için...Teşekkürler.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	iii
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	ix
KISALTMALAR	xi
ÖZET	xii
SUMMARY	xvii
1 DAVRANIŞ ve DAVRANIŞ MODELLERİ	1
1.1 Giriş	1
1.2 Temel Davranış Modeli	1
1.3 Davranış Psikolojisi ve Ekonomi	3
1.3.1 Davranış ve Davranışsal Karar Teorisi	3
1.3.2 Ekonomik Akılcılık ve Standart Model	4
1.3.3 Neoklasik Ekonomi ve Akılcı Davranış Teorisine Eleştiriler	8
1.3.4 Ulaştırma Planlamasında Arz ve Talep	11
2 ULAŞTIRMA TALEBİNİN ÖZELLİKLERİ	15
2.1 Giriş	15
2.2 Ulaştırma ve Ekonomik Talep Teorisi	15
2.2.1 Seçimler ve Kayıtsızlık	17
2.2.2 Bütçe Kısıtı Altında Seçim	21
2.2.3 Gelir ve Fiyat Değişimlerinin Talebe Etkisi	23
2.2.4 Tüketici Talep Fonksiyonu	27
2.2.5 Esneklik Kavramı ve Talep Fonksiyonun Özellikleri	28
2.2.6 Piyasa Talebi	32
2.2.7 Bireysel Talep Fonksiyonlarının Toplulaştırılması	34
3 RASTGELE YARAR MODELLERİ ve ULAŞTIRMA TÜRÜ SEÇİMİ	38
3.1 Bireysel Seçim Modellerinin Tarihsel Gelişimi	39
3.2 Seçimin Ölçülmesi	42
3.2.1 Deterministik Seçim	45
3.2.2 Rastgele Seçim Modeli	46
3.3 Ekonometrik Seçim Modelleri	48
3.3.1 Bireysel Seçim Modellerinin Yapısı	50
3.3.2 Tür Seçimini Etkileyen Parametreler	52
3.3.3 Bağdaşık Alt-piyasaların Davranışı	52
3.3.4 Bireysel Tür Seçimi Model Tipleri	54
3.4 Diğer Bireysel Seçim Modelleri: SBB Varsayımı Yapılmamış	57
3.4.1 Çoklu Probit Model	59
3.4.2 Genelleştirilmiş Aşın Değer Modelleri (GADM)	60
4 BELİRSİZLİĞİN KAYNAĞI ve MODELLENMESİ	64
4.1 Gerçek Nedir?	66
4.1.1 Mantıksal Gerçek ve Fiziki Olaylara Dayanan Gerçek	66

4.1.2	Tutarlılık ve Uyuşma	67
4.2	Belirsizlik ve Kesinsizlik	68
4.2.1	Kavram ve Tanımlar: Etmen ve Gerçek Uzay	68
4.2.2	Kesinliksiz ve Belirsizlik	69
4.2.3	Kesinsizlik	71
4.2.4	Belirsizlik	74
4.2.5	Belirsizliğin Modellenmesi	76
4.2.6	Olabilirlik ve Gereklilik Ölçümleri	78
4.2.7	Olasılık Teorisi	79
4.2.8	Üst ve Alt Olasılık Modelleri	81
4.3	Esnek Hesaplama Yöntemleri	81
4.3.1	Bulanık Mantık	81
4.3.2	Yapay Sinir Ağları	92
5	ULAŞTIRMA TÜRÜ SEÇİMİNDE ESNEK HESAPLAMA YÖNTEMLERİ	95
5.1	Bireysel Seçim Modelleri ve Esnek Hesaplama Yöntemleri	96
5.2	Ulaştırmada Esnek Hesaplama Yöntemlerinin Kullanımı	99
5.3	Tür Seçimi ve Esnek Hesaplama Yöntemlerinin Kullanımı	100
5.3.1	Yapay Sinir Ağları	101
5.3.2	Bulanık Mantık	106
5.3.3	Sinir-Genetik-Bulanık Sistemler (Melez Modeller)	109
5.4	Esnek Hesaplama Yöntemlerinin Tür Seçimine Uygulanması	109
5.5	Çalışma Kapsamında Esnek Hesaplama Modelleri ve	118
6	ÖNERİLEN ESNEK HESAPLAMA YÖNTEMİ ve UYGULAMASI	120
6.1	Kullanılan Veriler	120
6.1.1	2002 Yılı Eskişehir Ev Halkı Yolculuk Anketleri	120
6.1.2	Kullanıcı Düzeyinde Verilerin Değerlendirilmesi	121
6.2	Sınama, Değerlendirme ve Başarım Ölçütleri	127
6.2.1	Bahis Oranı	127
6.2.2	Wald Sınaması	128
6.2.3	Model- χ^2 (olabilirlik oranı) Sınaması	129
6.2.4	%-Doğru Tahmin Göstergesi	130
6.2.5	$McFadden - R^2$	131
6.2.6	İhmal Edilmiş Değişkenlerin (İEDT) Tarafılığının Sınanması	131
6.2.7	Örneğin Yapısal Sınaması	132
6.2.8	ROC-eğrisi Değerlendirmesi (Tahmin Gücü Eğrisi)	133
6.2.9	R^2 -ölçütü	135
6.2.10	Düzeltilmiş- R^2 , DR^2 (Adjusted- R^2 , AR^2)	136
6.2.11	Duyarlılık, Belirginlik, Doğru ve Hata Oranı	136
6.2.12	Kappa (κ) İstatistiği	136
6.3	Kullanılan Modeller	137
6.3.1	Geleneksel Modeller:Logit model	138
6.3.2	Esnek Hesaplama Modelleri:YSA Modelleri	146
6.3.3	Esnek Hesaplama Modelleri: Bulanık Mantık Modelleri	156
6.3.4	Esnek Hesaplama Modelleri:Sinir-Bulanık Modeller	164
6.3.5	Genel Değerlendirme	171
6.3.6	Eşik Değerinin Tahmin Başarısına Etkisi	171
7	SONUÇ VE ÖNERİLER	174
7.1	Örnek Yapısı	174
7.2	Modeller	176

7.3 Öneriler	179
KAYNAKLAR	180
EKLER	187
A BULANIK MANTIK ÜYELİK FONKSİYONLARI	189
B FINNEY VERİLERİ	193
C KULLANICI DÜZEYİNDEKİ VERİLER	194
D YOLCULUK DÜZEYİNDEKİ VERİLER	202
E ZAMAN VE MALİYET MATRİSLERİ	204
F MODEL VERİLERİ	221
G ÇÖZÜMLEME SONUÇLARI	227
DİZİN	248
ÖZGEÇMİŞ	252

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1.	: Ödül Tablosu	7
Tablo 2.1.	: Deneysel talep fonksiyonları	32
Tablo 3.1.	: Tür seçimini etkileyen değişkenler ve etki şiddetleri	52
Tablo 4.1.	: Sonlu sayıda yazı tura deneyi	80
Tablo 5.1.	: Logit ve esnek hesaplama yayınlarının yıl ve alanlarına göre dağılımı . .	98
Tablo 5.2.	: İkili logit model ve logit andırımlı YSA kestirimleri	105
Tablo 5.3.	: Esnek hesaplama yöntemlerinin başarımlarını karşılaştırması	110
Tablo 5.4.	: Logit ve sinir-bulanık modellerin tahminleri	111
Tablo 5.5.	: Nikamp ve diğ.ait YSA ve Logit Model Sonuçları	112
Tablo 5.6.	: Sayed ve Razavi'nin çalışmasına ait modellerin tahmin başarımları	115
Tablo 5.7.	: Logit, YSA ve sinir-bulanık modellerin karşılaştırılması	115
Tablo 5.8.	: Vythoulkas ve Koutsopoulos'ın modellerine ait tahmin başarımları . . .	117
Tablo 6.1.	: Gelir gruplarının tanımı	124
Tablo 6.2.	: Örnek nüfusun gruplara göre sayısal dağılımı	124
Tablo 6.3.	: EUAP zaman değeri hesabı	126
Tablo 6.4.	: Farklı serbestlik dereceleri için %5 güvenlik düzeyindeki χ^2 -değerleri .	130
Tablo 6.5.	: Çapraz tahmin tablosu	131
Tablo 6.6.	: Kappa istatistiği değerlendirme tablosu	137
Tablo 6.7.	: BM1, BM3, BM5 modellerine ait değişkenler	156
Tablo 6.8.	: BM2, BM4, BM6 modellerine ait değişkenler	157
Tablo 6.9.	: SB1, SB3, SB5 modellerine ait değişkenler	165
Tablo 6.10.	: Tüm modellere ait genel başarımlar tablosu (Eşik değeri=0.5)	173
Tablo C.1.	: YAŞ değişkenine ait istatistikler	198
Tablo C.2.	: YAŞ değerlerine ait gözlenen sıklıklar	199
Tablo E.1.	: Karayolu bölgeler arası zaman matrisi (1.Parça)	205
Tablo E.2.	: Karayolu bölgeler arası zaman matrisi (2.Parça)	206
Tablo E.3.	: Karayolu bölgeler arası zaman matrisi (3.Parça)	207
Tablo E.4.	: Karayolu bölgeler arası zaman matrisi (4.Parça)	208
Tablo E.5.	: Karayolu bölgeler arası maliyet matrisi (1.Parça)	209
Tablo E.6.	: Karayolu bölgeler arası zaman matrisi (2.Parça)	210
Tablo E.7.	: Karayolu bölgeler arası zaman matrisi (3.Parça)	211
Tablo E.8.	: Karayolu bölgeler arası zaman matrisi (4.Parça)	212
Tablo E.9.	: Toplu taşıma bölgeler arası zaman matrisi (1.Parça)	213
Tablo E.10.	: Toplu taşıma bölgeler arası zaman matrisi (2.Parça)	214
Tablo E.11.	: Toplu taşıma bölgeler arası zaman matrisi (3.Parça)	215
Tablo E.12.	: Toplu taşıma bölgeler arası zaman matrisi (4.Parça)	216
Tablo E.13.	: Toplu Taşıma bölgeler arası maliyet matrisi (1.Parça)	217
Tablo E.14.	: Toplu Taşıma bölgeler arası maliyet matrisi (2.Parça)	218
Tablo E.15.	: Toplu Taşıma bölgeler arası maliyet matrisi (3.Parça)	219

Tablo E.16.	: Toplu taşıma bölgeler arası maliyet matrisi (4.Parça)	220
Tablo F.1.	: Düşük gelir grubuna (DGG) ait çözümlemeye kullanılan veriler	221
Tablo F.2.	: Orta gelir grubuna (OGG) ait çözümlemeye kullanılan veriler	223
Tablo F.3.	: Yüksek gelir grubuna (YGG) ait çözümlemeye kullanılan veriler	225
Tablo F.4.	: DGG'ye ait değişkenler arasındaki ilişki (korelasyon) matrisi	226
Tablo F.5.	: OGG'ye ait değişkenler arasındaki ilişki (korelasyon) matrisi	226
Tablo F.6.	: YGG'ye ait değişkenler arasındaki ilişki (korelasyon) matrisi	226
Tablo G.1.	: BM1'e ait kuralların etkinlikleri	228
Tablo G.2.	: BM2'e ait kuralların etkinlikleri	229
Tablo G.3.	: BM3'e ait kuralların etkinlikleri	230
Tablo G.4.	: BM4'e ait kuralların etkinlikleri	231
Tablo G.5.	: BM5'e ait kuralların etkinlikleri	232
Tablo G.6.	: BM6'ya ait kuralların etkinlikleri	233
Tablo G.7.	: Tüm SB modellere ait kural tabanı	234
Tablo G.8.	: SN1'e ait üyelik fonksiyonları ve modelin kestirilmiş çıktı değerleri . . .	235
Tablo G.9.	: SN2'ye ait üyelik fonksiyonları ve modelin kestirilmiş çıktı değerleri . .	236
Tablo G.10.	: SN3'e ait üyelik fonksiyonları ve modelin kestirilmiş çıktı değerleri . . .	237
Tablo G.11.	: SN4'e ait üyelik fonksiyonları ve modelin kestirilmiş çıktı değerleri . . .	238
Tablo G.12.	: SN5'e ait üyelik fonksiyonları ve modelin kestirilmiş çıktı değerleri . . .	239
Tablo G.13.	: SN6'ya ait üyelik fonksiyonları ve modelin kestirilmiş çıktı değerleri . .	240

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.	: Seçim süreci	xiii
Şekil 1.	: The choice process	xviii
Şekil 1.1.	: İnsanda davranış sistemi	2
Şekil 1.2.	: Karar verme ve yapısı	4
Şekil 1.3.	: Arz-talep dengesi	12
Şekil 1.4.	: Basamaklı talep modeli	13
Şekil 2.1.	: Kayıtsızlığın olduğu iki noktanın belirlenmesi	17
Şekil 2.2.	: Kayıtsızlık eğrisinin türetilmesi	18
Şekil 2.3.	: Bir tüketiciye ait farklı yarar seviyelerindeki kayıtsızlık eğrileri	18
Şekil 2.4.	: 3B uzayda bir yarar (U) yüzeyi	20
Şekil 2.5.	: Bütçe kısıtı altında iki mal arasındaki eniyi tüketim bileşimi	23
Şekil 2.6.	: Fiyatın sabit, gelirin artması durumundaki tüketici davranışı	23
Şekil 2.7.	: Farklı yarar eğrileri altında gelirin tüketime olan etkisi	24
Şekil 2.8.	: Gelir ve ikâmenin talebe etkisi	25
Şekil 2.9.	: Düşük mal ve gelir etkisinin ikâme etkisinden düşük olması durumu	26
Şekil 2.10.	: Düşük mal ve gelir etkisinin ikâme etkisinden büyük olma durumu	26
Şekil 2.11.	: Talep eğrisinin, fiyat-talep arasındaki ilişkiden çizgesel çıkarımı	28
Şekil 3.1.	: Bireysel seçim modellerinin gelişimi	43
Şekil 3.2.	: Bireysel Seçim modellerinin gelişimi (Devam)	44
Şekil 3.3.	: z 'nin seçim olasılığı	48
Şekil 3.4.	: Aşırı değer ve standart normal dağılımın karşılaştırılması	55
Şekil 3.5.	: Logistik eğri	56
Şekil 3.6.	: Rastgele yarar modelleri	58
Şekil 4.1.	: Kesinliksiz veri parçalarının klasik ve bulanık küme kesişimi	72
Şekil 4.2.	: Max Black'ın müphem kümesi	73
Şekil 4.3.	: Belirsizliği modellemek için kullanılan yaklaşımlar	77
Şekil 4.4.	: Bulanık mantık sistemi ve temel öğeleri	82
Şekil 4.5.	: Bir bulanık kümenin normalleştirilmesi	84
Şekil 4.6.	: Yapay sinir ağının temel yapısı	93
Şekil 5.1.	: Yayınların yıllara göre dağılımı	97
Şekil 5.2.	: Yayınların alan ve yıllara göre dağılımı	99
Şekil 5.3.	: Logit model andırımı yapay sinir ağı modeli	102
Şekil 5.4.	: Logit model andırımı gizli tabakalı yapay sinir ağı modeli	104
Şekil 5.5.	: Bulanık seçim modelinin temel yapısı	108
Şekil 5.6.	: Nijkamp ve diğ. kullandığı YSA biçimleri	113
Şekil 5.7.	: Sayed ve Razavi'nin sinir-bulanık modeli	114
Şekil 6.1.	: EUAP'da ev-iş yolculukları türel ayrımı	122
Şekil 6.2.	: Modeller için kullanılan verilerin örnekten süzülmesi	123
Şekil 6.3.	: Tipik ROC eğrileri	134
Şekil 6.4.	: L1 ve L2 'ye ait ROC eğrileri	140
Şekil 6.5.	: L3 ve L4 'e ait ROC eğrileri	144
Şekil 6.6.	: L5'e ait ROC eğrisi	146
Şekil 6.7.	: YSA2 yapısı	149

Şekil 6.8.	: YSA3 yapısı	150
Şekil 6.9.	: YSA1,YSA2 ve YSA3'e ait ROC eğrileri	151
Şekil 6.10.	: YSA5 yapısı	152
Şekil 6.11.	: YSA6 yapısı	153
Şekil 6.12.	: YSA4,YSA5 ve YSA6'ya ait ROC eğrileri	154
Şekil 6.13.	: YSA7'e ait ROC eğrisi	156
Şekil 6.14.	: BM1'e ait sistemin yapısal biçimi	157
Şekil 6.15.	: BM2'ye ait sistemin yapısal biçimi	158
Şekil 6.16.	: BM1 ve BM2'e ait ROC eğrileri	159
Şekil 6.17.	: BM3 modelinin yapısı	160
Şekil 6.18.	: BM4 modelinin yapısı	161
Şekil 6.19.	: BM3 ve BM4 'e ait ROC eğrileri	162
Şekil 6.20.	: BM5 modelinin yapısı	162
Şekil 6.21.	: BM6 modelinin yapısı	163
Şekil 6.22.	: BM5 ve BM6'ya ait ROC eğrileri	164
Şekil 6.23.	: SB1,SB3,SB5 modellerinin yapısı	165
Şekil 6.24.	: SB2,SB4,SB6 modellerinin yapısı	166
Şekil 6.25.	: SB1 ve SB2'ya ait ROC eğrileri	167
Şekil 6.26.	: SB3 ve SB4'e ait ROC eğrileri	169
Şekil 6.27.	: SB5 ve SB6'ya ait ROC eğrileri	170
Şekil A.1.	: Üçgen üyelik fonksiyonu	189
Şekil A.2.	: Yamuk üyelik fonksiyonu	190
Şekil A.3.	: S üyelik fonksiyonu	190
Şekil A.4.	: Z üyelik fonksiyonu	191
Şekil A.5.	: II Üyelik fonksiyonu	191
Şekil A.6.	: Genelleştirilmiş üyelik fonksiyonu	192
Şekil C.1.	: Araç sahipliği (Özel/Diğer=ÖA/DA)dağılımları	194
Şekil C.2.	: Ev sahipliği (ES) dağılımları	195
Şekil C.3.	: Hane halkı sayısı (HHS) dağılımları	196
Şekil C.4.	: Aylık gelir grubu (AGG) dağılımları	197
Şekil C.5.	: YAŞ değişkenine ait dağılım	200
Şekil C.6.	: Mesleklerin dağılımı	201
Şekil D.1.	: Kişiler seviyesindeki günlük yolculuk sayısı (GYS) dağılımı	202
Şekil D.2.	: Yolculuk türlerinin dağılımı	203
Şekil E.1.	: 72X72 Matrisin parçalı gösterim biçimi	204
Şekil G.1.	: YAŞ için normal dağılım grafiği	241
Şekil G.2.	: Düşük gelir grubuna ait modeller ve başarımlar ölçütleri	242
Şekil G.3.	: Orta gelir grubuna ait modeller ve başarımlar ölçütleri	243
Şekil G.4.	: Yüksek gelir grubuna ait modeller ve başarımlar ölçütleri	244
Şekil G.5.	: Düşük gelir grubu kappa ve doğru oranları (farklı eşik değerlerinde) . . .	245
Şekil G.6.	: Orta gelir grubu kappa ve doğru oranları (farklı eşik değerlerinde) . . .	246
Şekil G.7.	: Yüksek gelir grubu kappa ve doğru oranları (farklı eşik değerlerinde) . .	247

KISALTMALAR

SBB	: Seçimlerin birbirinden bağımsızlığı
ÇLM	: Çoklu logit model
RYM	: Rastgele yarar modeli
KÇLM	: Katmanlı çoklu logit model
İ-ÇLM	: İççe çoklu logit modeller
ÇGÇS	: Çoklu-göstergelere karşılık çoklu-sonuçlar
SND	: Standart normal dağılım
ADD	: Aşırı değer dağılımı
GADM	: Genelleştirilmiş aşırı değer modelleri
ÇTLM	: Çapraz tabakalı logit model
GEV	: Genelleştirilmiş aşırı değer modelleri
TLM	: Tabakalı logit model

ULAŞTIRMA TÜRÜ SEÇİMİNDE ESNEK HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

ÖZET

Bu çalışmanın kapsamı aşağıdaki başlıklar altında özetlenebilir.

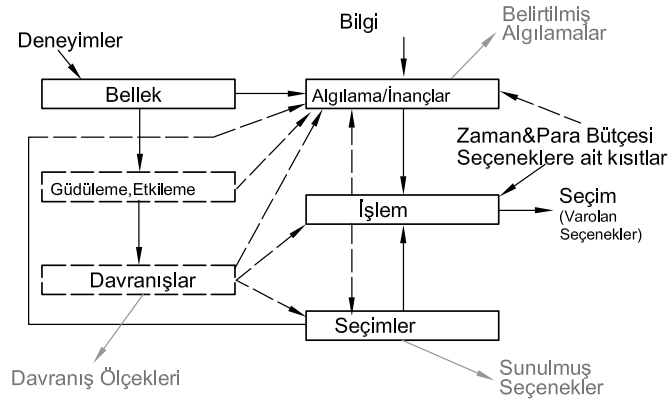
- Ulaştırma türü seçimi için, logit modeller ve esnek hesaplama modelleri olan yapay sinir ağları, bulanık mantık ve sinir-bulanık sistemleri kullanılarak modeller geliştirilmiş ve bu modellerin tahminleri karşılaştırılmıştır.
- Geleneksel ve esnek modellerin başarımlarını karşılaştırmak için en uygun ölçüt araştırılmıştır.
- Esnek hesaplama yöntemi olan yapay sinir ağlarıyla hesaplanan zaman değeri geleneksel modellerle hesaplanan zaman değerleriyle karşılaştırılmıştır.
- İki seçenekli tür seçim modelleri seçim olasılıklarını $[0,1]$ aralığında üretir. Seçilen türe karar vermek için sabit bir yuvarlama değeri seçilir. Bu değer eşik değeri olarak anılır. Genelde 0.5 olarak alınan eşik değerinin, farklı değerlerde seçilmesinin modellerin tahmin başarımına etkisi incelenmiştir.

Bu çalışmada, İ.T.Ü. Ulaştırma Araçları Uy-gar Merkezi tarafından yapılmış olan Eskişehir Ulaştırma Ana Planı (EUAP) kapsamında, ulaşım modelinin kalibrasyonu amacıyla toplanan veriler kullanılmış ve 5 adet logit ve 16 adet esnek tür seçimi modeli geliştirilmiştir.

Çalışma sonucunda, esnek hesaplama modelleri, logit modellerin başarısız olduğu örneklerde bile göreceli olarak yüksek tahmin başarımları göstermişlerdir. En başarılı modeller Sugeno yapısındaki sinir-bulanık modellerdir. Diğer yandan, yapay sinir ağları kullanarak zaman değeri hesaplanmıştır. Geleneksel ve esnek modellerin başarımlarını karşılaştırmak için R^2 'nin yeterli bir ölçüt olabildiği de bu çalışmada görülmüştür. Ayrıca eşik değerlerinin 0.5'den farklı seçilmesinin bazı modellerin başarımını yükselttiği gözlenmiştir.

Seçim insanoğlunun varolduğu ilk zamanlardan beri süre gelen bir eylemdir. Büyük olasılıkla eski çağlarda avlanmak zorunda olan insan bile her gün seçimler yapmak zorundaydı. Örneğin, en büyük ve en iyi avı avlamak istemesine rağmen kendi gücü ve yeteneklerinin sınırı, onu daha küçük ve avlayabileceği seçimler yapmak zorunda bırakıyordu. Bugün kullanılan araçlar değişse ve çoğalsa da seçim süreci aralıksız ve kesintisiz olarak hayatımızın bir parçası olarak devam etmektedir. Tüm ekonomik sistem, küçük seçim kararları ve onu takip eden daha büyük çaptaki (şirketlerin, devletlerin...) seçim kararlarıyla oluşan talep(ler) ve ona karşılık vermeye çalışan üretim dinamikleri arasında şekillenmektedir. Günümüzde insan ihtiyaçlarını artık

kendi çabası ile doğadan değil, ekonomik alışveriş etkinliği içinde sağlamaktadır. Bu nedenle; seçimlerin önceden kestirilmesi ve bu seçimi etkileyen etkenlerin belirlenmesi, üretimi yapan kişi ya da kurumlar için ekonomik gereklilikler nedeniyle son derece önemlidir. İnsan davranışı ekonomik çözümleme söz konusu olduğunda ekonomik bir seçim süreci olarak tanımlanabilir. Ekonomik bir seçim süreci Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1: Seçim süreci

Seçimin önceden kestirilmesi ve bunun için üretilen ya da ortaya atılan varsayımların ve araçların yeterli olgunluğa gelmesi, disiplinlerarası uzun çalışmalar sonucunda olmuştur. Psikoloji karar süreçlerini parçalara ayırmış ve insanın hangi aşamalardan geçtikten sonra karar aldığı belirlemiştir. Ancak tüm bunlar, biçimsel bir çalışma biçimi olan matematik çözümleme için yeterli değildir. Bu nedenle insan davranışının, diğer bir söylemle bizim çalışmamızın eksenini oluşturan davranışın bir alt ögesi olan seçimin somut olarak tanımlanması gerekir.

Ünlü düşünür Sokrat'ın düşüncelerinden etkilenecek kurulan okullardan biri olan Kyrene okulu, insanın erdeme ve mutluluğa ulaşması için kendini memnun etmeyen ve haz vermeyen her şeyden uzak durulması gerektiğini savunur. Ekonomik seçim modellerinin temelinde de bu fikir yatar. Matematiksel çözümleme için insan davranışını somutlaştırmanın geldiği son aşama, insanların bitmek tükenmek bilmeyen harcama isteği olan, ancak bütçe kısıtı nedeniyle seçimler yapmak zorunda kalan ve bunu yaparken de tatminini ençoklayacak şekilde davranan bireyler olduğu tanımıdır. Bu tanım üzerinden geliştirilen ekonomik seçim modelleri, yararı en çok olan seçeneğin seçileceğini öngörür. Kullanıcı düzeyinde, deterministik bir seçim fonksiyonu;

$$V(i) = A_i X_i, \forall i \in I \quad (1)$$

doğrusal fonksiyonu ile tanımlanabilir. $V(i)$ ilgili seçeneklere ve kullanıcıya ait değişkenleri kapsar. Eşitlik 1’de X_i seçimi etkileyen talep ve üretim değişkenleri vektörü, A_i ise her değişkenin seçim üzerindeki etki gücünü gösteren katsayı vektörünü temsil eder. En yüksek V değerini alan seçenek, kullanıcı tarafından tercih edilir.

Yukarıda sözü edilen somutlaştırma üzerinden türetilen ilk modeller olan deterministik seçim modelleri, öngörülen davranışı iyi temsil ediyor gözükmesine rağmen istenen sonuçları almaktan uzaktırlar. Bunun en önemli nedenleri yaşamın dinamik olması, çevresel koşulların ve insanın değişken olmasıdır. Seçim problemini somutlaştırmak ve deterministik modellerle açıklamak buzdağının bir kısmını görünür yapar.

Deterministik modeller aynı koşullar altındaki tüm tüketicilerin aynı seçimi yapacaklarını varsayar. Ancak ölçüm dışı koşullar – ki bu yaşamın dinamikliğinden kaynaklanır – nedeniyle tüketiciler aynı koşullar altında farklı tercihler yaparlar. Bu nedenle, ölçülemeyen ve gözlem dışı kalan değişkenleri temsil edebilen bir model üzerinde düşünülmüş ve deterministik yararlar yerine rastgele yararlar tanımlanmıştır. Bu modeller, Eşitlik 2’de verilen deterministik kısma bir hata terimi, $\varepsilon(i)$ ekleyerek oluşturulur.

$$U(i) = V(i) + \varepsilon(i) \quad (2)$$

Bu hata, gözlenemeyen ya da bilinmeyen seçimi etkileyen etkenleri temsil eder. Hatanın dağılımına ilişkin varsayım kullanılan rastgele modeli belirler. Hata dağılımı birinci tip aşırı değer dağılımı varsayılırsa logit, normal dağılım ise probit model olur. En sık kullanılan seçim modeli logit modeldir. Logit model;

$$P_C(i) = \frac{e^{V_i}}{\sum_{k \in C} e^{V_k}} \quad (3)$$

olarak yazılır. Burada, C kullanıcıya sunulan seçenekler kümesi, V ise rastgele yarar fonksiyonunun deterministik kısmıdır. $P_C(i)$, tüm seçeneklere ait yararlar altında, i seçeneğinin seçilme olasılığını gösterir. Logit model uygulaması kolay bir modeldir. Ne var ki beraberinde birçok varsayımla gelir. Bu sadece logit modele değil, bir çok istatistik modele ait bir özelliktir. En önemli ortak varsayım tüm istatistik modellerin bir ön bilgiye ihtiyaç duymasındır. Bu ön bilgi modeli yapacak uzman tarafından belirlenir. Örneğin logit modelde ön bilgi, ilk olarak yarar fonksiyonunu yazarken ortaya çıkar ve seçimi yapan kişilerin yararlarına ait hata terimlerinin aşırı değer dağılımına uyduğunu kabul ederek devam eder. Yazacağımız her yarar fonksiyonu biçimi (örneğin doğrusal), davranışın ve yararın gerçekte bu şekilde olduğu için değil sadece biz öyle tahmin ettiğimiz içindir. Gözlenen verilerle öngörülen fonksiyonun parametreleri kalibre edilmeye çalışılır ve bu şekilde bir seçim modeline ulaşılır.

Diğer yandan rastsallığın nedeni aşağıdaki nedenlerden kaynaklanabilir.

1. Sunulan hizmete ait özelliklerin yarar fonksiyonunda temsil etmek güç olabilir. (Örneğin konfor ya da güven algılaması)
2. Bazen tüketiciler kendilerine sunulan seçeneklere ait özellikleri tam algıyamayabilirler. Örneğin, bir karayolu ağı üzerindeki bazı kullanıcılar kendilerine sunulan farklı yol seçeneklerinden haberdar olamayabilir ve kendilerinden beklenen seçimi yapmazlar.

3. Tüketici davranışında önemli sayılacak rassal öğeler mevcut olabilir. Örneğin, bir kullanıcı an ve an çevresel etkilere göre farklı seçimler yapabilir (hava durumu vb.).

Hata terimi eklenen deterministik seçim modelleri bireysel rastgele seçim modelleri olarak da anılırlar. Yarar fonksiyonu ve hata dağılımıyla ilgili farklı kabuller farkı bireysel seçim modellerinin türetilmesini sağlar.

Eşitlik 3 bireysel seçim modelinin özel bir türü olan çoklu logit modeli (ÇLM) temsil eder. Bu model M seçeneği ikiden fazla olduğunda çoklu logit model olarak anılır (ÇLM). ÇLM aşağıdaki eşitlikle tanımlanır.

Logit modeli, diğer bireysel seçim modellerinden ayıran özellik, '*seçeneklerin birbirinden bağımsız*' olduğu (SBB) kabulüdür.

Gerçek hayata ait problemlerle ilgilenirken, geleneksel matematik çözümleme yöntemlerinin yetersiz kalabildiği durumlarla sıkça karşılaşılır. Bu durum özellikle dilsel değişkenlerin işlenmesi gerektiğinde ortaya çıkar. Bu nedenle matematiksel çözümle sırasında dilsel değişkenler çoğu zaman dışlanır. Diğer yandan yukarıda bahsettiğimiz ön bilgi gerekliliği geleneksel modellerin getirdiği zorluklardan birisidir ve en önemlisidir. Örneğin yukarıdaki seçim modelinde hata teriminin aşırı değer dağılımına uyması gerektiği kabulünü yapmak, sadece uzmanın görüşünü yansıtır.

Son kırk yıllık süreçte, istatistik modeller dışında kalan ve esnek hesaplama yöntemleri olarak anılan yöntemler geliştirilmiştir. Özellikle bulanık mantık, yapay sinir ağları ve genetik algoritmalar olarak adlandırılan bu yöntemlere ilk anlarda temkinli yaklaşılmış, ancak daha sonra hızla kabul görmüştür. Bugün esnek hesaplama yöntemleriyle yapılan birçok başarılı çalışma ve uygulamaya her alanda rastlamak mümkündür.

Bulanık mantık teorisi, 1965 yılında Zadeh tarafından ortaya atılmıştır. Zadeh belirsizliğe bu teoriyle farklı bir yaklaşım göstermiştir. Zadeh (1973)'de karmaşık bir sistemin bulanık kümeler ve yaklaşık çıkarımla modellenebileceğini savunmuştur. Bulanık kümeler, geleneksel ikili kümelerin genelleştirilmiş biçimi olarakta tarif edilebilir. Bu kümeye ait her değer $[0,1]$ arasında üyelik dereceleri adı verilen değerler alırlar. Bir A bulanık kümesi X evrensel uzayında aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$A = \{(x, M_X^A(x)) | x \in X\} \quad (4)$$

Burada M_X^A kümeye ait x ögesinin üyelik derecesini gösterir. Sonuç olarak, bir bulanık kümenin sınırları kesin değildir ve A 'dan A -değil durumuna geçiş, geleneksel kümenin aksine sert değil yumuşaktır (Klir ve Folger). Tüm bunlara ek olarak, bulanık kümeler örtüşebilirler ve bir öge her kümede farklı üyelik dereceleri alabilir.

Yapay sinir ağları (YSA) motif tanımlama ve bilgi işleme gücü olan bir hesaplama modelidir. Yapısal olarak biyolojik sinir sistemleri taklit edilerek geliştirilmiştir. Kendisine gelen verileri işleyerek bir çıktı üretir. YSA ların bir çok çeşidi vardır. Problemin türüne göre en uygun model seçilir. Ancak en çok kullanılan türlerinin başında tahmin modelleri olarak kullanılan ileri beslemeli ağlar gelir. Temel olarak YSA'lar giriş, gizli ve çıktı katmanları olarak üç katmandan oluşurlar. YSA'ların özellikle doğrusal olmayan ilişkileri modellemedeki gücü dikkat çekicidir.

Esnek hesaplama modelleri, bu üç yöntemin farklı bileşkeleriyle oluşturulur. Örneğin, bulanık mantığın dilsel işleme yeteneği ve yapay sinir ağlarının sahip olduğu öğrenme gücü birleştirilip sinir-bulanık modeller geliştirilir.

SOFT COMPUTING MODELS IN MODE CHOICE

SUMMARY

The aim of this study is to use soft computing methods for modeling the mode-choice in urban passenger transportation. For this purpose 16 soft-computing models were developed and compared with the conventional binary logit model by using the data collected in the Transportation Master Plan of Eskisehir (EUAP) in 2002.

Travel survey data were classified according to income level of the households: high, medium and low income. For each income group two types of mode-choice model were developed.

1. Conventional binary logit model.
2. Soft computing models such as artificial neural networks (ANNs), pure fuzzy logic (FL) and neuro-fuzzy logic (NFL).

Travel time and travel cost were used as the two main parameters in all models. Mode-choice were made between car and public transport. The study covered the following issues;

- Identifying the best common performance measures to compare the binary logit and soft computing mode-choice models.
- Calculation of performance measures.
- Evaluation of effects of threshold values on model performance
- Estimating the value of travel time by using artificial neural networks.

It has been shown that soft computing models, especially Sugeno type neuro-fuzzy models, give better estimates for predicting the mode-choice from the sample data. It has been also shown that R^2 could be sufficient measure to compare the performance of the conventional and soft computing mode-choice models. Finally, it has been shown that threshold values which are not equal to 0.50 could improve the performance of some mode-choice models.

Choice process has been a very old concept since prehistoric period. Production and demand processes are fundamental elements of economics. After industrial revolution, human beings started to supply their needs instead of self-agricultural production. In this dynamics, minor and major choices shaped demand and production phases. At the side of the goods or service providers (car company or a municipality which gives transportation service), prediction of choices or factors affecting these choices are

very important. The ability to accurately predict the future is fundamental to many decision processes in planning such as scheduling, purchasing, strategy formulation, policy making, and supply chain operations. Most firms seek to maximize their market share. For that, they need consumers that are on target, their behavior structure.

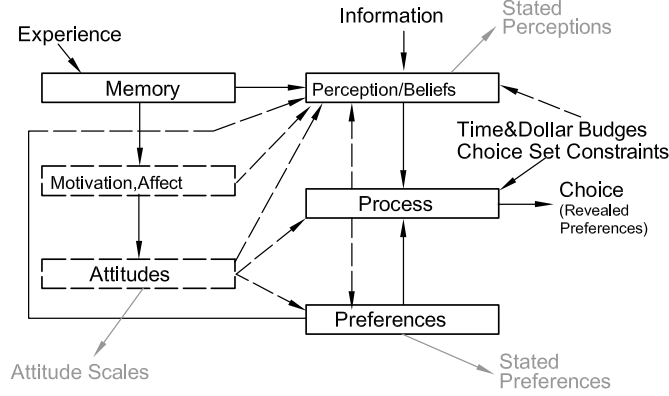


Figure 1: The choice process

Human behaviour in economy is a economic choice process. Economic choice process topology is summarized in Figure 1. Prediction of choice is a result of maturing of the hypothesis and tools for it after long multidisciplinary studies. Psychology splits decision process into several parts and tries to determine levels of the decision while making a choice. However, these are not enough for mathematical analyses because of it is a symbolic structure. Therefore, choice is a submember of human behavior which needs well-definition in order to model it in mathematical form.

Cyrene School which has been influenced from famous philosopher Socrates, has defended that human must stay away from everything which does not give satisfaction and pleasure himself to reach virtue and happiness. Economical choice models rely on this idea fundamentally. Last level of human behavior modelling is to define human beings as infinitive consumers who have to make choices to maximize their utility under budget constraints. A utility function at user level can be defined as a linear function;

$$V(i) = A_i X_i, \forall i \in I \quad (5)$$

This function is called deterministic choice model. $V(i)$ consists of characteristics of consumer and related alternative. X_i is a vector which denotes variables affecting choice and A_i is constant which shows intensity of each variables on the choice. Alternative having maximum $V(i)$ in the choice set is selected by the consumer. But deterministic choice model does not reflect the behavior of the consumer correctly. The most important reason of this is that life is dynamic, and environment and consumer's behaviour change from time to time.

Deterministic models assume that, all consumers always choice same alternative in the same conditions. But, uncontrolled conditions cause measurement errors , and

consumers does choice different alternative in same conditions. To deal with all of these model deficiencies, random utility is defined instead of deterministic utility. Random utility models are derived adding a random term $\varepsilon(i)$ to deterministic part in equation 6.

$$U(i) = V(i) + \varepsilon(i) \quad (6)$$

Error term $\varepsilon(i)$ in Equation 6 denotes unobservable and/or unknown variables which may affect the choice. Probability distribution of $\varepsilon(i)$ determines the model type. If it is extreme-value type-III, model becomes logit, if it is normal then it becomes probit. The most frequently used model is the logit. A logit model is defined as;

$$P_C(i) = \frac{e^{V_i}}{\sum_{k \in C} e^{V_k}} \quad (7)$$

Where, C is choice set to state the consumer, V is deterministic part of random model, $P_C(i)$ is probability of selecting i alternative considering other alternatives characteristics in the choice set. Logit model is very simple and easy to use. However, it comes with many assumptions. But this does not only belong to logit model, this is common property of all statistical models. All statistical models need priori knowledge. Prior knowledge should be determined by experts. For example, priori knowledge in logit model is starting from writing utility function to accepting error term distribution that is extreme value distribution. Each utility function form may not be linear, they may be different mathematical forms such as exponential, etc. This choice completely depends on expert. If expert vision is wrong, models will be wrong. Selected form is calibrated according to observed data and related parameters are estimated. In this way, the choice model is obtained.

The practical result of this addition is that now we do not know precisely which alternative the individual will choose, because we do not know precisely the values of utility he will place on alternatives. We must therefore talk about the '*probability*' that individual i will choose alternative mode. Several factors may contribute to this randomness:

1. There may be service attributes that are important to some consumers but have not been explicitly represented in our estimation of their utilities (for example, comfort, perception of security)
2. Consumers may not perceive all the alternatives open to them or may not have correct information on the attributes of the alternatives (for example, because of poor marketing, consumers are often not aware of route and schedule information that might influence their decisions).
3. There may be essentially random elements in the consumer's behavior, in that his preferences vary from day to day or are influenced by external events (for example, the weather or availability of the family car)

Models of individual behavior that include an explicit random element are often termed '*stochastic disaggregate models*' in the literature. Different assumptions about the form of the utility function and/or the nature of the random elements lead to different specific forms for the consumer behavior model.

Equation 7 defines a particular stochastic disaggregate model, '*multinomial logit model (MNL)*' where there are M alternatives.

Finally, it should be noted that alternative assumptions about the probabilistic choice structure lead to other types of stochastic disaggregate models. Logit models have been especially important in the early development of practical disaggregate models. Other important models are those that do not have the '*independence of irrelevant alternatives*' property, such as the multinomial probit and the generalized extreme value model (GEV).

When solving real-life problems, linguistic information is often encountered that is frequently hard to quantify using "classical" mathematical techniques. This linguistic information

represents subjective knowledge. Through the assumption made by the analyst when forming mathematical model, the linguistic information is often ignored. But it is also, in classical modeling techniques, we accept a '*prior*' information. For example, to generate logit model from Equation 6, we accept ε term as extreme value distribution. In fact, there is no reason to say, individuals error term fits to extreme value distribution. This is a prior information. To complete modeling process, we calibrate this prior models parameters according to observations.

In the last forty years, new methods have been developed except statistical models that is called soft computing. Soft computing concept consists of three main methods; fuzzy logic, neural networks, genetic algorithms. Today, many studies and succeeded applications exist in many fields

Fuzzy set theory was first introduced by Zadeh in 1965 as a general approach to express the different types of uncertainty inherent in human systems. Zadeh claims that our ability to make precise and yet significant statements about the behavior of a system diminishes, as the complexity of this system increases. He proposed the use of fuzzy sets and approximate reasoning methods to model such systems. Fuzzy set is a generalization of crisp set. Members belong to fuzzy sets with a degree of possibility or membership. The grade of membership takes values within the interval $[0,1]$, and represents the degree to which an element is similar or compatible to the concept represented by the fuzzy set. A fuzzy set A defined on a universe of discourse X can be represented by a set of ordered pairs as

$$A = \{(x, M_X^A(x)) | x \in X\} \quad (8)$$

where M_X^A denotes the membership of element x to the fuzzy set A . Hence, by definition fuzzy set boundaries are vague, and the transition from A to not- A is gradual rather than blade. Furthermore, fuzzy sets can overlap and therefore, an element can belong to a number of fuzzy sets with different degrees of membership.

Artificial neural networks (ANNs) are computing models for information processing

and pattern identification. They grew out of research interest in modeling biological neural systems, especially human brains. An ANN is a network of many simple computing units called neurons or cells, which are highly interconnected and organized in layers. Each neuron performs the simple task of information processing by converting received inputs into processed outputs. Through the linking arcs among these neurons, knowledge can be generated and stored regarding the strength of the relationship between different nodes. Although the ANN models used in all applications are much simpler than actual neural systems, they are able to perform a variety of tasks and achieve remarkable results. Over the last several decades, many types of ANN models have been developed, each aimed at solving different problems. But by far the most widely and successfully used for forecasting has been the feedforward type neural network. A common three-layer neural network architecture consists of neurons (circles) organized in three layers: input layer, hidden layer, and output layer. The recent upsurge in research activities into ANNs has proven that neural networks have powerful pattern classification and prediction capabilities. ANNs have been successfully used for a variety of tasks in many fields of business, industry, and science. Forecasting has a long history and the importance of this old subject is reflected by the diversity of its applications in different disciplines ranging from business to engineering. ANNs provide a promising alternative tool for forecasters. The inherently nonlinear structure of neural networks is particularly useful for capturing the complex underlying relationship in many real world problems. Neural networks are perhaps more versatile methods for forecasting applications in that not only can they find nonlinear structures in a problem, they can also model linear processes.

Soft computing models are developed with combining these three methods. For example, combining linguistic processing capacity of fuzzy logic with neural network calculation power provides neuro-fuzzy models.

1. DAVRANIŞ VE DAVRANIŞ MODELLERİ

1.1 Giriş

İnsan davranışı oldukça karmaşıktır. Davranışın çözümlenmesi, probleme bakış açısına göre değişir. Psikoloji açısından davranışın çözümlenmesi, davranışla ilgili sorunların çözümü için gereklidir. Bunun için sayılamayan ifadelerin (geçmişte ya da çocuklukta yaşanan olaylar gibi) ortaya çıkartılması ve bunların kaynağının bulunması gerekebilir. Sosyolojik davranış çözümlemesi, insanların birbirleriyle etkileşim içindeki toplu davranışlarını incelerken, soyut kavramlar yanında somut kavramları da (gözlemler, olaylar vb.) çözümlemeye dahil eder. Aslında birey ile toplumun hareketleri bir etkileşim içindedir ve bu etkileşim hem bireyin hem toplumun davranışlarını karşılıklı etkiler. Bu etkileşim ekonomik, sosyal ve siyasi sonuçlar doğurur. Peki bu sonuçları kısmen de olsa önceden tahmin etmek mümkün olabilir mi? İnsan uygarlığı, varoluşundan beri sürekli geleceği tahmin etmek ya da olayları önceden kestirmek istemiştir. Bu merak, birçok bilim dalının atası da olmuştur.

Bilgiyi ve düşünmeyi bir düzen (sistem) içine sokan antik çağ felsefesi sayesinde, doğa olayları bilimsel bir düzen içinde incelenmeye başlanmış, bu sayede doğayı anlamak ifade etmek için biçimsel bir dil olan matematik ve deneysel yöntemler içeren pozitif bilimler kullanılmaya başlanmıştır. Ancak olaylardan genelleme çıkartmak için (tümevarım) önce ele alınacak olayın gözlenmesi ve iyi tanımlanması gerekir.

Bu bölüm insan davranışı, ekonomi, temel ekonomik kavramlar ve birçok terimin tarifi üzerine odaklanmıştır.

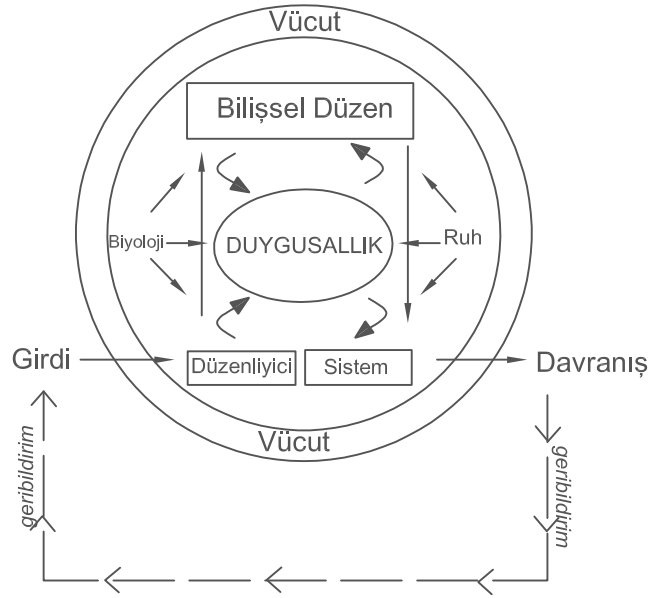
1.2 Temel Davranış Modeli

Davranış , insan hayatındaki gözlenebilen, kaydedilebilen ve ölçülebilen tüm etkinlikler olarak tanımlanır [1]. Temel davranış modeli Norman'a göre akıl ve duygusallığın birer fonksiyonudur. Norman insan davranışını dört ana ögeye ayırır. Bunlar;

- *Etkileşimli öge:* Bilgiyi işler ve kavrar. Daha sonra algılama ve düşünce üzerinde değişiklikleri gerçekleştirir

- *Bilişsel öge*: Algılama, bellek, işleme ve bilginin geri çağırılmasından sorumlu yer
- *Düzenleyici öge*: Girdi ve çıktı fonksiyonlarının yönetildiği yer
- *Davranışsal öge*: Davranışın gerçekleştirildiği yer, yani çıktı

Şekil 1.1 de bu ögeler arasındaki karşılıklı etkileşim gösterilmiştir.



Şekil 1.1: İnsanda davranış sistemi

Burada davranıştaki farkı oluşturan dört öge, her insanda farklılık göstereceğinden aynı girdi değişkenleri altında aynı davranışın oluşmayacağı açıktır. Bu nedenle insan davranışı çok keskin matematik modellerle açıklanamaz. Ancak davranışın girdilerdeki değişimle farklılığa uğrayabileceği, yani davranışın bir yere kadar kontrol edilebileceği de öngörülebilir. Ancak buradaki zorluk, oldukça değişken olan insan davranışının matematik olarak ifade edilmesi ve davranışın önceden kestirilmek istenmesi sırasında ortaya çıkar. Burada çevresel ve insanla ilgili belirsizlikler söz konusudur ve bu belirsizliklere Bölüm 4’te ayrıntılı olarak yer verilecektir. Belirsizlik ve modelleme konusunda Cacciabue [2] şu saptamayı yapar.

”Eğer mühendis ve matematikçiler, suyun kaynaması ya da ısının transferi gibi basit bir doğa olayını bile çözümsel (analitik) olarak ifade edememişler ise, insan gibi doğanın en karmaşık düzeneğinin (mekanizma) davranışını modellemek için yaklaşık sayısal çözümleri kullanmaktan neden çekinelim?”

Psikologların insanın bilişsel haritasını çıkartması, matematikçi ve mühendisler için modellemesi karmaşık olan davranışını daha anlaşılabilir ve çözümlenebilir yapıya kavuşturmuştur. Bu, modelleme için bazı varsayımlar ve önermeler (aksiyomlar) tanımlamayı kolaylaştırmıştır. Soruna bakış açısı izlenecek yolu da belirler. Örneğin; insan davranışını taklit edecek bir makine söz konusu olduğunda, insan davranışı insan-makina etkileşimi içinde incelenirken, ekonomik davranışın için ise insanın sistem-fayda ilişkisi incelenir. Ulaştırma hizmetleri kullanıcıya sunulan ekonomik bir değer olduğundan, yolcu davranışı ekonomik ilişki içinde incelenir.

1.3 Davranış Psikolojisi ve Ekonomi

1.3.1 Davranış ve Davranışsal Karar Teorisi

Ekonomi sosyal bir bilimdir. Sosyal bilimlerin ilgi alanı insan davranışdır. Herhangi bir insana ekonomi ile politik bilimler ya da sosyal bilimler arasındaki farkı sorduğunuzda, ekonomi tanımı içinde; faiz, para, kredi gibi sözler kullanırken, diğer grup için; oylama, politikacı, toplum ve seçimler gibi kelimeler kullanacaktır. Aslında bu tanımlamayı yapan birisi çok da yanılmaz. Ancak ekonomik olarak probleme yaklaşımda bir bütün oluşturan parçaların ekonomik bir unsur olarak algılanmaması, bu tanıma ait eksikliklerden birisidir. Klasik ekonomik analizde de durum farklı değildir. İnsan davranışı üzerine klasik yaklaşım yapan bir çözümlemeci, söz konusu olayı tüketici davranışı, faiz oranları, işsizlik ve enflasyon gibi parametrelerle incelerken, evlilik, aile, oylama gibi sosyal parametreleri dikkate almaz.

Ekonomi, tüketici davranışını ve güdülerini inceler. Mantıklı, tutarlı ve planlanabilir akılcı davranışların, ekonomik piyasaları yönlendirdiğine inanılır. Çünkü piyasa yapısı ve çıkar olgusu yanlış davranışı cezalandırır [3]. Ekonomik teorinin temelini atarak talep teorisini uygulanabilir biçime sokan Hicks ve Samuelson, *akılcılık (rasyonellik)* kavramına özel anlamlar yüklemişlerdir. Herb Simon¹'in günümüz çağdaş ekonomik analizlerinde kullanılan, akılcı tüketici ile ilgili tanımlaması şöyledir;

”Ekonominin gerçekçi insanı, en iyisinden biraz azına razı olmayacak bir enbüyükleyicidir.”

Davranışsal Karar Teorisi (DKT) kavramı, Neumann ve Morenster'nin 1974'de belirsizlik ve oyun teorisi üzerine yaptıkları çalışmalarla başlar. Bu çalışmaların, risk altındaki davranışın çözümlemesine ilişkin temel bir çerçeve çizmesinin dışında, çok önemli iki sonucu vardır. Bunlar; ekonomi ve psikolojide önermeli hesaplama biçimi ve yaratılan önermelerin geçerliğinin labaratuvar deneyleri ile kontrol edilebilme yöntemlerinin geliştirilmesidir. Neumann ve Morenster'nin çalışmaları daha çok şans

¹Herbert A. Simon karar verme teorileri ile yapay zeka konusunda çok önemli çığır açmıştır. Ekonomiye yaptığı katkılardan dolayı 1978 Nobel ödülü almıştır.

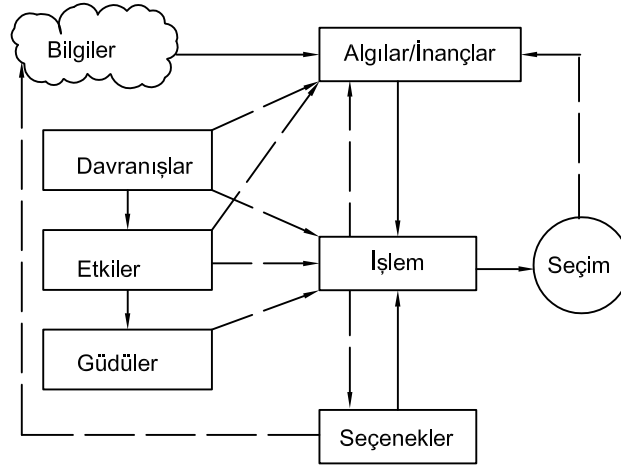
oyunları üzerinde yoğunlaşmıştır. Ancak ortaya attıkları fikirler karar verme araştırmaları içinde hızla kabul görmüştür. Sonraki 20 yıl Allais, Chipman, Marschack, Papandrea ve Simon'un çalışmaları sayesinde, davranış bilimleri ve bilişsel psikolojinin olgunluğa eriştiği yıllar olmuştur [3].

1.3.2 Ekonomik Akılcılık ve Standart Model

Ekonomide akılcılık; bir tüketicinin davranışının tamamen tüketicinin akılcı seçimleri sonucu oluştuğunu varsayar. Çünkü akılcı davranışları tahmin etmek, akılcı olmayan davranışları tahmin etmekten daha kolaydır.

Akılcı tüketici modeli, ekonomik hesaplama yöntemlerinin içindeki güçlü varsayımdır. Bu nedenle hiçbir ekonomist temel ekonomik kavramları ve piyasa güçlerini etkileyebilecek bir sorgulama yapmayı kolay kolay göze alamaz. Buna rağmen ekonomistler, akılcı davranış modeline karşı bir arayış içine de girmişlerdir [4].

Seçim, algılama ve bilgidен oluşan inançlar tarafından uyarılan etkiler, davranışlar, güdüler ve seçenekler tarafından etkilenen bir süreçtir. Bu sürecin tüm öğeleri ve etkileşimi Şekil 1.2'de gösterilmiştir.



Şekil 1.2: Karar verme ve yapısı

McFadden Şekil 1.2'deki öğeleri aşağıdaki gibi tanımlamıştır [3].

- *Algılar*: Duygular ve inanç kavramını içerir. Karar vericinin içinde bulunduğu çevreyi tanımlar.

- *Etki* : Karar vericinin duygusal konumunu ve karar bilişsel zekası üzerindeki etkisini gösterir.
- *Davranışlar*: Karar vericinin olaylar ve sonuçları karşısındaki tutarlı psikolojik durumunu yansıtır. Teknik açıdan, davranışları farklı sonuçları açıklayan eksik etkiler olarak tanımlar -Daha genel anlamda; anlamsal farklılıklar-.
- *Seçenekler*: Varlıklar arasındaki karşılaştırmalı yargıyı gösterir. Tamamlama ve geçiş (küme teorisi) özellikleri altında, seçenekler sayısal bir ölçeği ya da *yararı* gösterir.
- *Güdüler*: Algılanan amaçlara, karar vericiyi yönlendiren sürücüler olarak tanımlanır.
- *Bilişsel işlem*: Karar vericiye ait algılar, etkiler,davranışlar, seçenekler ve güdülerin çıktılarına göre, karar üreten bilişsel görev yapan duygusal düzenektir.

Neoklasik ekonomistlerin ve psikoloji biliminin, insan davranışına yaklaşımları derin farklar taşır. Bunlardan ilki, psikologlar deneyimlerle kararların nasıl düzeltildiği ve değerlerin nasıl belirlendiği sorularına cevaplar arayarak davranışı oluşturan öğelerin doğasını anlamaya çalışırlar. Ekonomistler ise girdileri seçime dönüştüren bir fonksiyon ararlar. Seçimler ve ya değerler bir ekonomik çözümlemenin en basit parçalarıdır ve karar süreci ekonomist için araştırılması gerekmeyen bir kara kutudur. Ekonomistler açısından bu durum bir cümleyle özetlenbilir;

”Ekonomistler her şeyin değerini değil ama fiyatını bilirler.”

Yukarıdaki cümle, iki bilim dalının aynı olaya farklı yaklaşımını kısaca özetler. İkinci farklılık, karar sürecine psikologların Şekil 1.1’de gösterilen öğelerin karmaşık ilişkilerini göz önüne alarak yaklaşmasıdır. Buna karşın ekonomi davranışı bir şablon (standart model) içinde inceler. Bu şablona göre davranışı gerçekleştiren tüketici akılcıdır ve tutarlıdır. Ayrıca bu tüketiciye sunulan seçenekler de sabit ve tutarlıdır. Bilişsel düzey sadece seçeneklerin varolan kısıtlar altında enbüyüklenecek yarara göre seçildiği matematiksel bir süreçtir (işlem akılcılığı, akılcı davranış).

Tüketici davranışları için kullanılan standart piyasa gözlemlerinin yetersiz kaldığı anlarda, ekonomistler ilgilerini anket ve deneylerle elde ettikleri standart dışı verilere yöneltirler. Standart ekonomik modellerdeki ekonomik akılcılığın aksine, tüketicilerin davranış özellikleri çok farklılık gösterebilir. Yine de tüketiciler standart ekonomik modellerin öngörebildiği belli bir davranış şekli oluşturabilirler. Ancak, tüketicilere inanç ve değerleriyle ilgili doğrudan sorulan sorularda değişkenlik o kadar artar ki, standart ekonomi teorisi için çanlar çalmaya başlar [3].

Akılcılık ekonomik ilkelerin temelini oluşturur. Akılcılık, önceden belirlenmiş amaçlara en iyi şekilde ulaşacak şekilde mevcut kaynakların kullanılmasıdır. Ancak akılcılık geniş bir kavramdır. Bu nedenle ekonomistler, akılcılık kavramını daraltma gereği duyarlar. Bunu yaparken iki ayrıntıya dikkat ederler. Bunlardan biri, *ekonomik ögelerin*² amaçlarının belirlenmesidir. Ekonomistler, insanın kararlarını ego tatminini enbüyük yapacak biçimde aldığını düşünürler (akılcılık) [5]. Mcfadden bu tür akılcılığı 'yararlı akılcılık' (*instrumental rationality*) olarak tanımlamış ve insanoğlunun akılcı davranışı biçimini hayatının her aşamasında uyguladığını belirtmiştir. Yararlı akılcılık ilkeleriyle ilgili hesaplama teknikleri, Chicago Üniversitesindeki ekonomistlerden geldiğinden (hepsinin erkek olmasından dolayı) bu şekilde davranan insan modelleri '*Chicago'lu adam*' (*Chicago man*)'olarak anılır. *Chicago'lu adam* modeli birçok ekonomik karar verme sürecini modellemek için kullanır. Ancak bugün bir çok ekonomist, bu modelin tüm olaylar için kullanılmasının ne kadar doğru olabileceğini sorgulamışlardır [3].

Gerçek yaşamdaki karar-verme süreçleri, akılcı davranış modelinden daha karmaşıktır. *Chicago'lu adam* modeli bu karmaşıkların bazılarını gözönüne alsa da Brzoska [5] *Chicago'lu adam* için hayatın bazen zorlaştığını hatta çekilmez bir hal aldığını söyleyerek, modelin zorluklarına dikkat çeker. Aynı zorluklardan McFadden'de bahsetmiştir [3].

Kararın modellemesinde iki konu öne çıkar. Bunlardan ilki karar verme sürecidir. Yukarıda bahsedildiği gibi bu süreç birçok aşamadan oluşur ve oldukça karmaşıktır. Matematiksel olarak bu süreçleri ifade etmek ve kullanmak için önce bir çok varsayım yapılması gerekir. (Chicago'lu adam gibi) ardından iyi tanımlanmış matematiksel ifadelerle (ekonometrik teknikler) sorun çözülür. Davranışın gerçekleştirilmesi, karar süreçleri içinde büyük miktarda verinin alınıp değerlendirilmesi ve net faydanın çok fazla ayrıntıya kaçmadan kestirilmesiyle oluşmaktadır. Bazen davranışlar, benzer olaylar için tüm bu süreçleri yaşamadan, bir önceki deneyimlere göre de ortaya çıkabilir.

Herbert Simon, insan aklının belli miktarda veriyi ve seçeneği aynı anda işleme ve karşılaştırma yetisini olduğunu söylemiş ve bunu '*sınırlanmış akılcılık*' (*bounded rationality*) olarak tarif etmiştir [6]. Bu Herbert Simon'a 1978'de ekonomi dalında Nobel ödülü getirmiştir. Düşünme ve karar verme olgusu çok karmaşık olduğundan bunu örnekleyerek bir model yaratmak oldukça zordur. Bu nedenle kararlar ilgili etkenleri sınırlamak gereği duyulur. Ekonomik davranışta bu karmaşık süreç üç bilinç düzeyine indirgenir ve kararların bu üç düzen arasındaki etkileşimle oluştuğu varsayılır. Bunlar, güdü (motivasyon), uyum (adaptasyon) ve bilişsel sistem olarak özetlenir [6].

İkinci konu ise; kararların birbirinden bağımsız olmaması ve her bireyin aldığı

²Ekonomik değerler üzerinde, tercih yapma ve alım gücü olan kimse,örneğin ulaştırmada yolcu

Tablo 1.1: Ödül Tablosu

	A	B
Tura	3	2
Yazı	2	3

kararların diğer bireylerin kararlarını etkilemesidir. Bu, davranışların sürekli bir etkileşim içinde olduğunu göstermektedir. Bu özellikle bir sonraki bölümlerde göreceğimiz, tür seçimi modellerinde seçimlerin ve seçeneklerin birbirinden bağımsız olması (SBB) varsayımına ters düşer. Brzoska [5] bir karar sürecinde, diğer seçimlerin dikkate alınarak bir strateji (yönlem) oluşturmanın ve kararları buna göre almanın daha akılcı olduğunu belirtmiştir. Bu tür bir yaklaşımın getireceği karmaşıklığa ise matematiksel olarak *oyun teorisi* ile yaklaşmak mümkündür. Schelling'in '*sözlü anlaşma*' (*talcid bargaining*) oyunu, bu tür karar süreçlerine örnek verilebilir. *A* ve *B* oyuncular arasında hiç bir iletişim olanağı yoktur. Bu oyunda, her iki oyuncuya da yazı ya da tura seçimleri konusunda iki seçenek sunulur. Tablo 1.1'de seçim sonuçlarına göre oyuncuların kazanabilecekleri ödüller verilmiştir. Oyuncular eğer farklı tercihler yaparlarsa, hiçbiri ödül alamayacaktır.

Böyle bir durumda, her bir oyuncu diğerinin tercihlerini gözeteceklerdir. Bu durumda kararlar için her oyuncu aşağıdaki kararlardan birini seçmek zorundadır.

1. Her iki oyuncu hızlı karar verirler ve farklı tercihler sonucunda hiç bir ödül alamaz.
2. Olasılıksal sonuçlara razı olarak , beklenen kazançlarını %50 şansla 1.25 yaparlar.
3. Her biri diğerinin daha hırslı olduğunu varsayar ve savunmada kalarak, farklı tercih yaparlar ve her iki oyuncu da hiç bir şey kazanamaz.
4. Oyunculardan biri savunmada kalıp diğeri kendisi için en iyi seçeği tercih eder ve oyuncu en iyi sonuca ulaşır.

Yukarıdaki gibi stratejik bir karar sürecine göre insan davranışının modellenmesi, karmaşıklık ve güvensizlik gibi etkileri de beraberinde getirir. Diğer davranışların birbirleri arasındaki etkileşimin ne düzeyde olduğunu kestirmek güçtür. Ancak bunun ulaştırma planlamasıyla olan bağlantısı ilginçtir. Örneğin, bir ulaştırma ağı üzerinde yol seçimi kararı alan kullanıcılar, bu kararlarını daha önceki deneyimlerine göre diğer kullanıcıların seçebilecekleri yolları karar değişkenleri arasına katarak, yoğunluğu daha az olabilecek diğer yollara yönelebilirler. Bu tür bir karar sürecinin göz önüne alan atama problemini oyun teorisiyle geliştirmek mümkün olabilir.

Üçüncü önemli konu, karar verme sürecinde insanın hedeflerini bağımlı olarak belirlemesidir. İnsan, davranışı sırasında bir amacı gerçekleştirirken, yaptığı davranışın sonuçlarının diğer amaçlara olan yan etkileri de düşünür. Örneğin, bir yolcunun otobüs türünü daha ucuz olduğu için tercih etmesi, onun zaman kazanma amacına yönelik kaybını göz ardı ettiği anlamına gelmez.

Dördüncü önemli konu, kararın sıklıkla tek başına alınmamasıdır. Yolculuk seçiminde, özel otomobilin günlük yolculuk aracı olarak seçimi bireye ait olmayıp, eş ya da ailenin diğer bireylerine bağlı olabilmektedir.

1.3.3 Neoklasik Ekonomi ve Akılcı Davranış Teorisine Eleştiriler

Ekonomide sorunlara daha genel yaklaşan yöntemler *marjinalist* ya da diğer adıyla *neoklasik* yaklaşımlar olarak anılırlar. Özet olarak neoklasik yaklaşım dört temel ilkeyle ifade edilir.

1. Ekonomide aktörler, dünya kaynaklarının paylaşımları üzerinde tercih hakları vardır. Bu tercihler, çalışmanın yapıldığı zaman kesiti içerisinde sabit kalır.
2. Fiziksel engeli, yaşı, sağlığı, siyasi ya da toplumsal yerine göre bu kaynakların paylaşımı kısıtlanabilir.
3. İkinci temel ilke altında, insanlar kendilerine en uygun tercihi yaparlar.
4. İnsanların paylaşımındaki değişiklikler, 2'deki nedenlerden kaynaklanan mevcut paylaşım sınırlarındaki değişimlerdir.

Neoklasik yaklaşım sayesinde, ekonomistler sayısal verileri, ekonometrik (istatistik) tekniklerle çözümleyerek davranış tahminleri yaparlar. Örnek olarak, bakkala giden ve burdan ne satın almalıyım sorusunu kendine soran bir birey verilebilir. Bakkal dükkanını içi, o kişinin sevdiği ve sevmediği birçok gıdayla doludur. Yukardaki (1) numaralı ilkeye göre, bu kişi için dükkanda tercihte bulunduğu mallara ait stok (yığma) durumu ve cebindeki para miktarı en az bir kaç ay boyunca değişmeyecektir. Kısıtlar (2) içinde alışveriş yapabilir. Dükkanda bulunandan fazla ya da cebinde bulunan paranın alabileceğinden daha fazla muz alması mümkün değildir. Dükkandaki stok ve cepteki paraya göre kişi en çok tercih ettiği şeyleri (3) sepetine koyacaktır. (4) numaralı ilkeye göre ise, kişi gelecek hafta farklı bir alışveriş listesiyle bakkala gelecektir. Çünkü bu hafta alacağı şeyin dükkanda olmayacağını bildiğinden geçen haftadan söz konusu malı almıştır. Cebinde çok daha az parası vardır ya da bunun tam tersi yaptığı az alışveriş nedeniyle çok daha fazla parası vardır. Yukarıdaki hikayeye iki adet itiraz yöneltir. Bunlardan ilki, tercihin neden sabit kalması gerektiğidir. Oysa

ki geçen hafta çikolatalı kurabiye almış bir kişi, bu hafta farklı kurabiyeler denemek isteyebilir. Bu duruma göre de üzerinde çalıştığımız zaman kesitinde tercihler sabit kalamaz. Ekonomistler bu sorunu iki şekilde çözmüşlerdir. İlki, bu durumu göz ardı etmektir. Bu en çok kullanılan yöntemdir, ancak en iyisi değildir. Eğer üzerinde çalışılan olayda tercihlerin değişmesi problemi doğrudan etkilemiyorsa, bu yöntem kabul edilebilir. Diğer zm ise, probleme bakış açısını biraz farklılaştırmaktır. Tercihleri zel mallar ya da hizmetler yerine, daha genelleştirilmiş bir şekilde toplulaştırmaktır. Bakkal rneğin de kişi daha önceki hafta aldığı tüm ihtiyaçlarını bu hafta almayacaktır dersek, tercihleri toplulaştırmış olacaktır. Böylelikle geçen hafta çikolatalı kurabiye almak tercihin toplulaştırılmış şeklini temsil edeceğinden, tercihin sabit kalması ilkeside sağlanmış olacaktır. Ulaştırma planlamasında tür seçimi modellerinde, -minibüs ve belediye otobüsü seçeneklerini toplu taşıma seçimi olarak tek bir sınıf altına toplanması gibi- aynı tip ulaştırma modellerini tek bir çatı altında toplayarak yapıyoruz.

Yukarıdaki paragrafta bahsedilen itirazlardan ikincisi, ilkinden daha baş ağrıtıcıdır. Dört ilke içerisinde dünya da neler olacağını hiç kimse tahmin edemeyeceğinden, dükkandaki kişi sadece kendi alacaklarını kendi kısıtları içinde eniyileyebilecektir. Gelecekte ne alması ve yaptığı alışverişin bu tür bir davranış modeli içinde ne kadar geçerli olacağı konusunda herhangi bir fikre sahip değildir.

Tercihin yapısında oynama yaparak bu itiraz da aşılabilir. rnek olarak iki varsayım yapılırsa; birincisinde bakkaldaki birey bir malı diğerine göre daha fazla tercih edecektir³ . İkincisinde ise, hem bütçeyi hem de dükkandaki tüm malların fiyatını ikiye katlarsak tercihte bir oynama olmayacaktır.

Ekonomik analizlerin en son adımı teorilerin sınanması ve gerekiyorsa bunların gözden geçirilmesi aşamasıdır. İnsanın bir mal ve hizmeti tercihi ile ilgili davranışını modellemek istersek, yukarıdaki adımların izlediğini kabul ederiz. Buna göre matematiksel modeller geliştirir ve modellerin nasıl davrandığına bakarız. Eğer teorimiz doğruysa, geliştirdiğimiz model de doğru davranış tahminleri yapacaktır. Eğer tahminlerde hata yapılıyorsa geriye dönüp, varsayımlarımızı, modelin matematiksel yapısını ve doğru değişkenler kabul edip etmediğimiz gibi bir çok ögeyi gözden geçirmemiz gerekir .

zet olarak ekonomi kavramı; bir ya da birden fazla kısıt altında yararını enbüyüklemek isteyen insan davranışını inceleyen sosyal bir bilim dalıdır [7].

Davranışın ilişkin teori ve varsayımlarından matematiksel boyuta geçiş, sonraki bölümlerde değinecek olduğumuz yolcu davranış modelinin temelini oluştıran bir kavramı içerir. Bu kavram, tüketicinin (dükkandaki birey, bundan sonra, tüketicisi olarak

³Alıřveriř listesi dışında, dükkanda olan bir malı listeye dahil edebilme esnekliği (monotonicity).

anılacaktır) *yararadır* . Tüm klasik davranış modelleri, kullanıcının yararı üzerinde inşaa edilmiştir. Ekonomik davranışın ortaya çıkması ancak talep olduğunda oluşacağından, ekonomi biliminde bu konu *talep teorileri* altında incelenir.

McFadden standart ekonomi modellerini temsil eden, '*Chicago'lu adam*' adını verdiği ve daha önce yukarıda bahsettiğimiz bir tüketici tipi tanımlar. Bu tüketici Şekil 1.2'de sürekli çizgilerle gösterilen sırada tek yönlü bir karar akış süreciyle hareket eder. McFadden Chicago'lu adam'ın temsil ettiği model üzerinde aşağıdaki dört gözlemi yapmıştır.

- *Kullanışlı:* Ek kabuller yardımıyla, fayda-maliyet hesapları ve deneysel talep çözümlemeleri için kolay ve el altında kolayca kullanılabilen bir yöntemdir. Bu nedenle ekonomi hesapları ve politikaları için önemli bir yeri vardır.
- *Başarılı:* Para piyasalarındaki kazanç fırsatlarına değer biçmekten, anlaşmalar için etkili planlar oluşturmaya kadar bir çok alandaki davranış örneklemeye yeteneğine sahiptir.
- *Gereksiz derecede güçlü:* Ekonomik hesaplamalara ait bir çok temel nesneyi, algılama-akılcılık kavramına yüzeysel yaklaşarak, seçim akılcılığı ve işlem akılcılığından ciddi sapmalara göz yumarak ele alır. Hem kullanıcı hem model tüm karar öğelerini gereksiz bir sınırlayıcı olarak görür. Örnek vermek gerekirse; seçimlerin değişmemesi, tüketicinin geçmişten etkilenmediğini ya da öğrenme kabiliyetinin olmadığını göstermez. Sadece tüketicinin seçeneklerinin akılcı bir şablona uyduğunu kabul eder.
- *Yanlı:* Her insan davranışı az da olsa akılcıdır. Ancak Chicago'lu adam seçim yaparken *gereğinden fazla akılcı* davranır.

McFadden bir ekonomist olarak davranış kavramını açıklamak için neden Chicago'lu adamı kullandıklarını sorgulamıştır. McFadden bu sorunun cevabının karışık olduğunu söylemiş, Chicago'lu adamı da sokak lambasına benzeterek, ekonomistleri bu sokak lambasının altında gerçeği arayan insanlar olarak tarif etmiştir. Ekonomide akılcılığın tarihine bakıldığında iki ayrı görüş göze çarpar. Bunlardan ilki, 19 yy. seçim teorisi olarak bilinen görüştür. Frank Taussig 1912'de bu görüşü şöyle özetlemiştir;

Bir nesnenin yararı olmadığı sürece bir değeri yoktur. Hiç kimse, kendisine tatmin (satisfaction) vermeyen bir şeye itibar etmez. Kaygısız insanlar bazen çocukların yaptığı gibi anlık düşlerle aptalca satın almalar yaparlar. Ancak bu sadece oana ait bir mutluluk denemesidir .

Ancak akılcı tüketici davranışının eksiksiz tanımı John Hicks ve Paul Samuelson tarafından yapılmıştır. Yukarıdaki akılcılığa bakış açısına itiraz etmek oldukça zordur. Ancak seçenekler sınırlandığı ve tüketicinin seçimlerini deneyimlerine göre

yönlendirdiği düşünüldüğünde, bahsedilen yaklaşımın tutarlılığı sorgulanabilir. Ekonomide her bireye ait seçeneğin değişken olmasına karşın topluma ait seçeneklerin dağılımının sabit kaldığı düşünülür. Bu rastgele akılcılık olarak anılır. Sosyal seçim teorisi sadece sonuçların dağılımıyla ilgilenir. Sonuçları üreten bireylerin isimleri ya da seçimleri düzeyinde bir yaklaşım söz konusu olmaz. İlk anda bu yaklaşım, ekonominin ana hedefleri için yeterli olsa da deneysel olarak Chicago’lu adam modeli kolaylıkla çürütülebilir. Bu nedenle McFadden rastgele akılcılık yaklaşımının ekonomik modeller için her derde deva bir ilaç olamayacağını belirtmiştir[3].

İkinci görüş ise Debreu tarafından 1959 yılında ortaya atılmıştır. Buna göre Debrau, tüketicinin bir resmini çizer. Debreu’ya göre;

Bir ekonomik değer zamansal, mekansal ve fiziksel olarak tanımlanabilen mal ve hizmetlerdir. Her bir ekonomik öge için tam olarak planlanmış bir eylem planı kendisine sunulan ya da kendisi için mümkün kıldığı miktardaki her bir malın ayrıntılarını içerir

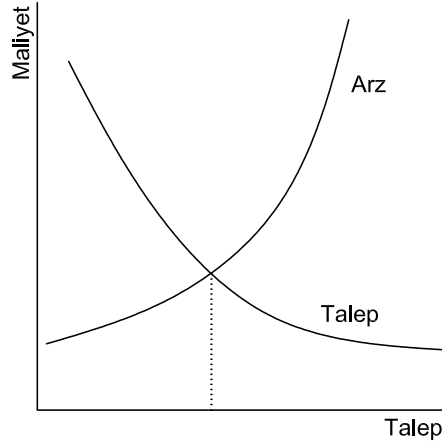
Debreu’nun tüketicisi, kendine en basit akılcı tercihleri enbüyükleyen bir eylem planı seçer. Debreu’nun bakış açısından tüketici davranışını genetik olarak kodlanmış gibi varsayılır. Debreu yukarıda bir yandan da yararın tanımını yapmıştır. Bu teori, tüketicinin tüm çevresel değişkenlerden haberi olduğu varsayarak, karmaşık deneyim ve öğrenme süreçlerinin kullanımına imkan sağlar. McFadden’e göre Debreu’nun teorisin en önemli özelliği, *belirsizlik* altında bir davranış modeli tanımlamasıdır[3].

Chicago’lu adam modelinin en çok kullanıldığı biçim, Debreu-Deaton-Muellbauer’ın yaklaşımıdır. Debreu-Deaton-Muellbauer akılcılık biçimi, tüketicinin tercihinin zaman içindeki değişimini sınırlayarak, ekonomik değerlerin sosyal ya da etnik etkilerden olduğudur. Chicago’lu adam modeline ait bazı katı varsayımları atmak, bu modeli daha kabul edilebilir bir model yapmakla beraber, daha kırılgan ve eleştiriye açık da yapar.

1.3.4 Ulaştırma Planlamasında Arz ve Talep

Arz-talep kavramı ekonomik teorinin temelini oluşturur. Her ekonomist kendi alanında bu kavramı uygular. Ancak, ulaştırma ekonomisinde arz talep kavramı yoğun bir şekilde kullanılsa da, ulaştırma arz-talep kavramına farklı bir açıdan bakmayı gerektirir. Özellikle arz-talep denge kavramı, ulaştırma söz konusu olduğunda diğer ekonomik çalışmalardan biraz farklı bir boyut kazanır. Yolculuk, diğer taleplerin aksine kendiliğinden türeyen değil *’türetilen’* bir taleptir. Ulaştırma talebi, farklı yerlerdeki farklı etkinliklere katılma arzusunun bir sonucudur. Şekil 1.3’de ekonomik arz-talep ilişkisi görülmektedir.

Ulaştırmada talepler, farklı düzeylerde oluşan yolculuk seçimlerinden oluşur. Bunların



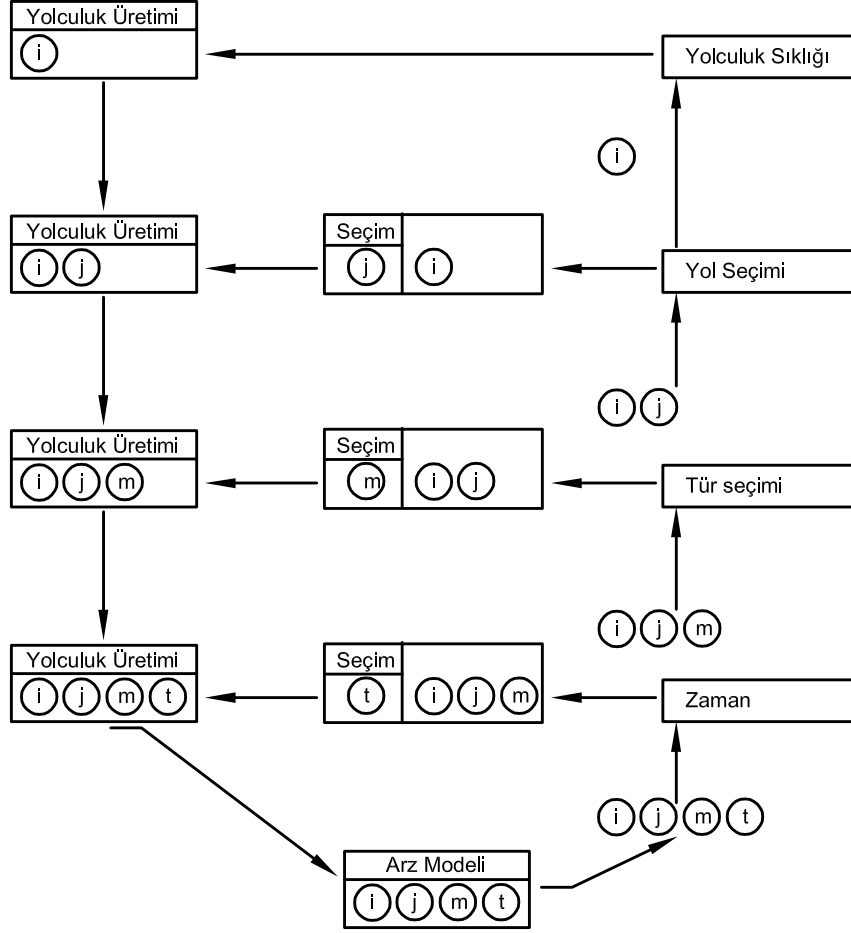
Şekil 1.3: Arz-talep dengesi

bir araya uygun bir biçimde getirilerek düzenlemesi gerekmektedir. Bunun için en çok tercih, probleme ayrık seçim teorisini kullanarak '*seçimleri basamaklama*' (*choice hierarchies*) yapma yaklaşımıdır. Bu şekilde, bir alt seçimin bir üst seçime bağlı olması sağlanır. Örneğin *tür seçimi* gidilecek olan hedefin seçimine bağlı olacaktır. Peki basamaklamada düzeyler nasıl belirlenir? Çapraz esneklikler basamaklama için kullanılabilir. Bu şekilde, maliyete karşı en duyarlı seçim basamağın en altında yer alır. Şekil 1.4'de, farklı seçimlerin bir araya getirildiği, basamaklamalı seçim modeli yapısı görülmektedir. Bu konuyla ilgili ayrıntı [8]'de verilmiştir.

Gerçekte ulaştırma açısından problemin kaynağı, mikroekonomik talep teorisinin ulaştırma taleplerinin modellemesinde doğrudan kullanılmasıdır. Standart tüketici teorisi, ekonomik değerlerin sonlu olarak bölünebildiği düşünür ve yarar fonksiyonuna ait değişkenlerin gene bu ekonomik değerlerin miktarları olduğu varsayımını yapar. Talep modeli çevresel etkiler ya da fiyatlardaki oynamalar nedeniyle, etki altında kalan tüketicinin bunlara karşı verdiği tepkiyi ve marjinal düzenlemeleri yansıtan eniyileme davranışından türetilen bir fonksiyon olarak tanımlanır. Ancak davranış ayrık olduğunda, (tür seçimi gibi) standart talep modeli çoğu zaman yetersiz olur. Standart talep modellerinde, ulaştırma türüne ait en ufak fiyat oynamaları tür seçimini etkilemeyebileceği gibi, seçimin tamamen diğer türlere kaymasına neden olabilmektedir.

Bu nedenle standart talep teorisi, ayrık seçeneklere sahip yolcunun davranışı karşısında bir çok sorunu da beraberinde getirir. Domencich ve McFadden standart bir talep modelini ulaştırma planlamasında kullanmanın getirdiği sorunları, kendi geliştirdikleri modellerin avantajlarını dört maddeyle listelemiştir [4]. Bunlar;

1. Yolcu talebine ait, önceki standart talep teorisi çalışmaları yapaydır ve yolcu kararlarını algılamaktan oldukça uzaktır. Bu nedenle yolcu davranışını bu



Şekil 1.4: Basamaklı talep modeli

şekliyle modellemek çok zordur. Domencich ve McFadden'in yaklaşımları, seçimlerin ayrık olduğu ve yolcu talebinin ayrık seçim teorisinden türetilmesi gerektiğini işaret etmektedir. Bu yaklaşım yolcu davranışıyla uyum içinde bir öngörüdür.

2. Domencich ve McFadden tarafından tanımlanan yarar fonksiyonu, ekonomik öğelerin miktarının değil, özelliklerinin bir fonksiyonudur. Bu yaklaşımın önemi planlamayla ilgili karar vericilere, türe ait özellikleri değiştirmeleri ya da farklı özelliklere sahip yeni bir türü sisteme eklemeleri durumunda, yolcuların buna verecekleri tepkileri tahmin etme imkanı verir. Bu daha önce planlamada kullanılan yarar fonksiyonlarının aksine davranışları gözlemede çok daha başarılı olmaktadır.
3. Domencich ve McFadden yolcu davranışının rasgele olduğunu, her bir yolcunun aynı şartlar altında dahi farklı seçimler yapabilecekleri varsayımını yapmışlardır. Bu sayede, başta *logit regresyon* olmak üzere birçok ekonometrik model yolcu davranışını modellemek için kullanılabilmektedir.

4. Domencich ve McFadden, hanehalkı düzeyinde toplanan bireysel gözlemleri kullanan yolcu davranış modelleri geliştirmişlerdir. Daha önceki planlama tekniklerinde, tür seçimi modelleri, trafik akışını temel alan, bölgeden bölgeye toplulaştırılmış yolcu davranış modellerini kullanmaktaydı. Bu yöntemler ortalamalarla çalıştığından, hassasiyet kayıpları ve taraflılık gibi sorunlara sahiplerdi [3].

2. ULAŞTIRMA TALEBİNİN ÖZELLİKLERİ

2.1 Giriş

Ulaştırma sistemine olan ihtiyaç sosyal ve ekonomik nedenlere dayanır. İnsanlar ekonomik bir amaç için ya da sosyal bir ihtiyaç nedeniyle yolculuk yaparlar. İnsanların yolculuk yapmaya iten nedenler, tek başına sosyal ve ekonomik ya da her ikisinin etkileşimiyle (sosyo- ekonomik hareketlilik) oluşabilir. Ekonomik değerler¹ (mallar) ise bir yerden bir yere üretim ve tüketim faaliyetlerinden doğan ihtiyaçlar nedeniyle taşınırlar.

Ulaşım ihtiyacı, farklı sosyo-ekonomik etkinlikler nedeniyle oluşur. Bu etkinliklerin uzamsal² dağılımı ve oluşan ulaştırma ihtiyacı arasındaki ilişkiyi tanımlamak için, biçimsel ve sistematik bir değerlendirme yöntemi gereklidir. *Ulaştırma talep çözümlemesinin* ana temasını da bu gereklilik oluşturur.

Ulaştırma talep çözümlemesi ulaştırma planlamasının en önemli parçasını oluşturur. Talep çözümlemesi, ulaşım olan ihtiyacın kestirilmesi ve ulaştırma sistemi üzerinde oluşabilecek hacimlerin tahmini için kullanılır. Bu tahminler, ulaştırma sisteminin tasarımı ve ekonomik yapılabilirlik hesaplamaları için gerekli ve önemlidir.

2.2 Ulaştırma ve Ekonomik Talep Teorisi

Tüketicinin akılcı davranış şekli Bölüm 1’de ayrıntılı olarak verilmişti. Tüketicici; ”Belli bir zaman kesitinde, tüketimine sunulan çeşitli malların miktarlarını bağımsız bir şekilde seçme özgürlüğüne sahip kişi” olarak tarif edilir.

Talep teorisi; seçim sürecini etkileyen, yönlendiren etkenler ile seçim arasındaki ilişkiyi inceler. Ancak Bölüm 1’de belirtildiği gibi insan davranışı son derece karmaşık olduğundan, bu davranışın modellenebilmesi için bazı varsayımlarla davranışın daha sade tanımını yapmak gerekir. Bu varsayımlar kısaca beş madde altında toplanabilir.

1. İnsanların seçenekleri ve bu seçeneklerine harcayabilecekleri bir bütçeleri vardır.

¹Bundan sonra ”mal” olarak anılacaktır. Hem nesnel tüketim (ekmek vb.) hem de tüketiciye sunulan bir hizmeti (toplu taşıma vb.) temsil etmektedir.

²uzam: Evren’de komum ve zaman olarak bir nesnenin tanımlanması

Örneğin, bir yolcu günlük bütçesi içinde toplu taşımayı kullanarak ulaştırma bütçesinden artanı yiyecek ya da giyim için kullanabilir.

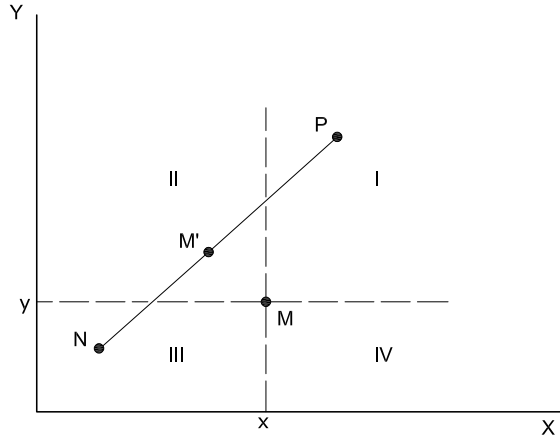
2. Tüketicinin seçimine sunulan her malın tüketici üzerinde yarar ya da tatmin sağlayan kendine has özellikleri vardır. Yarar her kullanıcı için farklıdır ve kullanılan mal ya da hizmetin özelliklerine bağlıdır. Örneğin ulaştırmada tür seçimi yapan yolcu, türlere ait maliyet ve yolculuk zamanı gibi özellikleri dikkate alır. Bu durum, Lancaster tarafından '*soyutlaştırılmış mallar*' olarak tarif edilir.
3. Tüketici kendisine sunulan bir çok malı, bunlara ait göreceli yararlarına göre sabit bir şablona bağlı kalarak seçer. Seçim, bu göreceli tüketim oranına göre *gruplaştırılmış mallar* veya '*yığınlaştırılmış mallar*' arasında yapılır. Eğer iki mal arasında gerçekten bir seçim yapılıyor ve biri diğerine tercih ediliyorsa bu tür mallara '*rekabetçi mallar*' denir. Ancak mallar arasında bir tercih yapılmıyorsa, bu tür mallara '*tümleyici mallar*' adı verilir. Örneğin; özel araç ile otobüs hizmeti bir birlerine karşı rekabetçi mallar iken, hava yolu servisi ve ulaşımı birbirlerini tümleyen mallardır. Seçimler tüketiciye sunulan, yığınlaştırılmış veya rekabetçi malların yararları üzerinden tanımlanır. Ancak bu tanımdan, sınırlı bir bütçesi olan ve fiyat değişikliğine karşı duyarlı olan bir tüketicinin en yüksek yararı sağlayan malı seçeceğini söylemek doğru değildir. Seçimlerin bir zaman kesitinde *tutarlı* ve *geçiş özelliğine*³(transitivity) sahip olduğu varsayılır. Tutarlılık, kullanıcıya ait özellikler değişmediği sürece, bir malın diğer mala tercihinin aynı kalmasıdır. Ulaştırmadan buna örnek verecek olursak; kullanıcının sosyo-ekonomik özellikleri (yaş ve gelir düzeyi gibi) ulaştırma türü tercihlerini belirleyici olur. Ancak herhangi bir sosyo-ekonomik gruba uzun süre ait olan bir bireyin, seçimine sunulan seçeneklere ait göreceli yararlar bu süreç içinde (yaşı ve geliri artmasına rağmen) aynı kalır ise seçimi de değişmez. Bu seçimin değişmesi için marjinal yararın bu süreç içinde değişmesi gerektiğini gösterir. Seçimlerdeki geçiş özelliğine bir örnek ise şudur; Bir kullanıcı eğer uçağı trene, treni otobüse tercih ediyorsa, bu kullanıcı uçakla otobüs arasında tercihini yapmak zorunda kaldığında uçağı tercih edecektir.
4. Mikroekonomik teoride tüketiciler asla aızıyla yetinmezler. Eğer iki seçenek varsa, her zaman daha fazla olanı tercih ettikleri varsayılır. Tüketicilerin bu sonsuz tüketme eğilimine sınırı bütçe ve zaman çizer. Yolcular, özellikle ulaştırma içinde bu tüketim eğiliminden (sonsuz yolculuk yapma isteginden) ulaştırmaya ayırdıkları bütçe ve zaman nedeniyle cayarlar.
5. Tüketiciler, belli bir bütçe içinde yararlarını enbüyükleyecek seçimler yaparlar.

³Geçiş özelliği: $A > B > C \implies A > C$

Bu Bölüm 1’de değinilen, akılcı tüketim modelidir. Tüm talep ilişkisi bu varsayımdan türetilir.

2.2.1 Seçimler ve Kayıtsızlık

Mikroekonomide tüketicinin seçiminin incelenmesi söz konusu olduğunda, tüketiciye sunulan seçeneklerin miktarlarının seçimle olan ilişkisini göz ardı etmek mümkün değildir. X ve Y gibi rekabetçi iki mal arasında seçim yapan bir kişi, birini diğerine tercih edebileceği gibi, kendisine sunulacak miktarlar karşısında kayıtsız/kararsız kalabilecektir. Örneğin, bir yolcu otobüsle 3 yolculuk (düşük maliyet) ile tamamlayacağı yolculuğu taksi ile tek yolculukla (yüksek maliyet) gerçekleştirme konusunda kararsız kalabilir. Miktarın herhangi bir birimle tanımlamanın önemi yoktur. Çünkü miktarlar birim fiyatla çarpılarak parasal olarak ifade edilir.



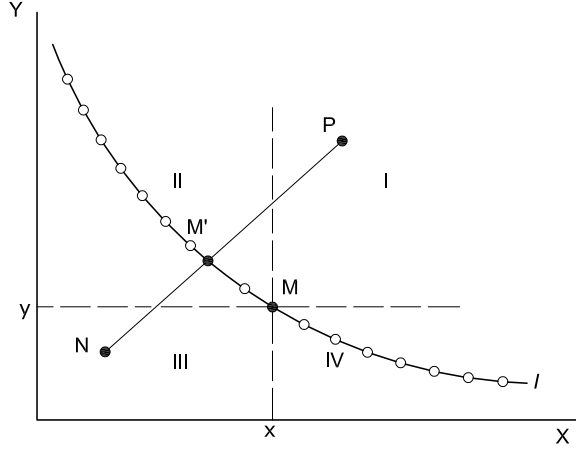
Şekil 2.1: Kayıtsızlığın oluştuğu iki noktanın belirlenmesi

Şekil 2.1’de yatay ve düşey eksenler arasında kalan alan *tüketim alanı* (*consumption field*) olarak adlandırılır. Bu alan X ve Y mallarının çeşitli bileşkelerle (kombinasyon) tüketimini gösterir. Bu alan içinde herhangi bir nokta alınırsa (M), bu nokta X ve Y mallarının miktarına ait tüketimden doğan tatmini gösteren *bileşke yararı* temsil eder. Bu nokta bulunduğu alanı dörde böler (Şekil 2.1). (I) numaralı alan içinde kalan her noktadaki tüketim teklifleri M noktasına ağır basar. Bunun nedeni, yukarıda bahsedilen tüketicinin sonsuz tüketim talebi (I) bölgesinde tüketiciye daha fazla tüketim ve yarar vaat eder. (I) bölgesindeki her teklif, M ’e tercih edilirken tam tersi olarak (III) bölgesindeki tercih edilmez. O halde tercih sırası Şekil 2.1’den;

$$P > M > N \quad (2.1)$$

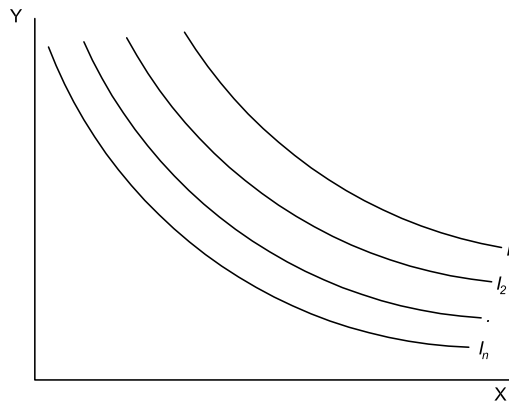
olarak yazabilir. Ancak N noktasından P noktasına bir doğru çizildiğinde ve bu doğru

üzerinde N den başlayarak yüründüğünde, M' noktasında, M ve M' ye ait yararlar eşit olduğundan, tüketici seçim konusunda kararsız/kayıtsız kalacaktır. Tüketicinin bu iki noktada üzerinde yaptıkları seçimler birbiriyle yer değiştirebilir niteliktedir. Bu şekilde kayıtsızlık noktaları sonsuz sayıda çoğaltılırsa, Şekil 2.2 *kayıtsızlık eğrisi* olarak anılan I eğrisi bulunur.



Şekil 2.2: Kayıtsızlık eğrisinin türetilmesi

I eğrisi, tüketicinin X ve Y mallarına ait kayıtsız kaldığı ve yararının eşit olduğu miktarların bileşimini temsil eder. Diğer bir bakış açısıyla, kayıtsızlık eğrileri iki malın miktarlarının bir fonksiyonu olan $U(x, y)$ yarar fonksiyonunun belli bir U değerindeki izdüşümüdür. Bu nedenle kayıtsızlık eğrileri *eşyarar eğrisi* olarak da anılır. Şekil 2.4'de üç boyutlu uzayda örnek bir yarar yüzeyi ve onun izdüşümü olan kayıtsızlık eğrileri görülmektedir.



Şekil 2.3: Bir tüketiciye ait farklı yarar seviyelerindeki kayıtsızlık eğrileri

Farklı yarar seviyelerinde, kayıtsızlık eğrilerinin izdüşümü alındığında Şekil 2.3'deki gibi farklı kayıtsızlık eğrisi elde edilir. Tüm bu eğriler, tüketicinin her zaman daha fazla en azdan iyidir mantığıyla hareket ettiği sürece merkez noktasına doğru içbükey

olacaktır. Üstte bulunan eğriler alttakilere nazaran daha yüksek yararı temsil eder. Tüketicinin tercihleriyle ilgili aşağıdaki ilişki yazabilir.

$$I_1 > I_2 \dots > I_3 \quad (2.2)$$

2.2'deki gösterim, *kayıtsızlık* veya *yarar haritası* olarak anılır. Bir kayıtsızlık (yarar) haritası, tüketicinin iki mal arasındaki karar yapısı ve malların birbirlerine olan ikâmelerini gösterir. Eğrilerin eğimi, X malının Y malına (dy/dx) ya da Y malının X malına (dx/dy) göre göreceli tercihlerini gösterir. Bu eğim aynı zamanda '*marjinal ikame oranı*' olarak adlandırılır. Bu değer, tüketicinin bir birim Y (veya X) malı almak için ne kadar X (veya Y) malından vazgeçebileceğini gösterir.

Şimdiye kadar anlatılanlar doğrultusunda, $U(x, y)$ yarar fonksiyonu kullanarak, sabit bir U_1 değerinde I_1 kayıtsızlık eğrisi yaratalım.

$$U(x, y) = U_1$$

Yukarıdaki eşitlikte U_1 sabit olduğundan yarar fonksiyonun türevi sıfıra eşit olur.

$$dU(x, y) = dU_1 = 0 \quad (2.3)$$

$$dU(x, y) = \frac{\partial U}{\partial x} dx + \frac{\partial U}{\partial y} dy = 0 \quad (2.4)$$

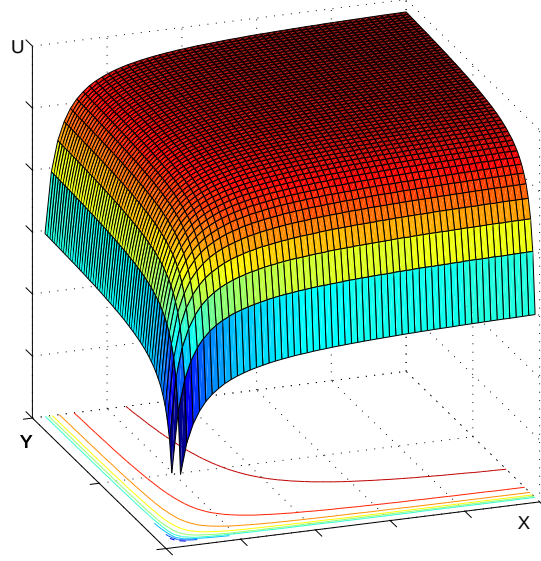
2.4'den;

$$\frac{\partial U / \partial x}{\partial U / \partial y} = - \frac{dx}{dy} \quad (2.5)$$

yazılır.

2.5 bize, iki malın arasındaki marjinal ikâme oranının, bu malların her birine ait *marjinal yararlarının* oranlarına eşit olduğunu gösterir. Bir malın marjinal yararı, tüketicinin tükettiği her birim mala karşılık yararındaki değişimi gösterir. Yukarıdaki eşitlikteki eksi işareti marjinal yarara ait değildir. Çünkü tüketime karşı doyumsuz olan tüketici

için marjinal yarar negatif olamaz. Ancak marjinal ikame oranı negatif olabilir. Çünkü tüketici bir mala karşı diğerinden vazgeçmektedir. Her ikisinden aynı anda vazgeçmesi ise söz konusu olamaz.



Şekil 2.4: 3B uzayda bir yarar (U) yüzeyi

Ancak tüketicinin seçenekleri her zaman iki adetle sınırlı olmayacaktır. Yukarıdaki eşitlikleri çok boyutlu olarak tekrar üretmek için çok boyutlu tüketimi gösteren $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ X vektörü tanımlanır. Bu vektörü oluşturan tüm malların tüketiminden doğan yararlar da $U(X)$ ile gösterilirse, $U(X) = U_0$ sabit yararında tanımlanacak kayıtsızlık n-boyutlu bir yüzey olur.

Yukarıdaki adımları, X vektörüne göre tekrar gerçekleştirirsek;

$$dU(X) = dU_0 = 0$$

$$= \sum_i \frac{\partial U}{\partial x_i} dx_i \quad (2.6)$$

x_n ve x_m haricinde tüm x_i leri sabit kabul edersek;

$$0 = \frac{\partial U}{\partial x_m} dx_m + \frac{\partial U}{\partial x_n} dx_n \quad (2.7)$$

eşitliği elde edilir ve bu eşitlik yukarıdaki 2.5 ile aynıdır. Buraya kadar olan kısmı

toparlayacak olursak;

- Bir yarar fonksiyonu sürekli bir fonksiyondur ve her noktada türevi alınabilir.
- Bir yarar fonksiyonun tanımladığı uzayda tüm i ler için; $\partial U / \partial x_i \geq 0$ sonucu geçerlidir.
- Bir yarar fonksiyonun tanımlandığı uzayda tüm i ve k lar için; $\frac{\partial^2 U}{\partial x_i \partial x_k}$ ikinci türevi tanımlıdır. Ancak ikinci türevin işareti artı (+) ya da eksi (-) olabilir. Genellikle bu işaret eksidir. Bunun anlamı malın tüketiminden doğan marjinal yararın düştüğüdür Bu Bölüm 1’de üzerinde durduğumuz *azalan marjinal yarar* kavramıyla örtüşür.

2.2.2 Bütçe Kısıtı Altında Seçim

Önceki bölümde de bahsedildiği gibi, tüketici tüketim karşısında zayıf ve doyumsuzdur. Her zaman daha fazlası, azalan marjinal yararına rağmen tüketiciyi harcamaya itecektir. Ancak tüketicinin bu eğilimi bazı etkenlerle sınırlanır. Mikroekonomik teoride bunlardan en çok kullanılanı, tüketicinin harçayabileceği paradır. Bu kısaca *bütçe kısıtı* olarak anılır. Tüketici tüm seçimlerini bu bütçe kısıtı altında yapmak zorundadır. Ancak mikroekonomik teorideki bütçe kısıtını doğrudan ulaştırma talepleri için uygulamak doğru değildir. Bunun nedeni, ulaştırma talepleri bütçe kısıtlarının yanında, ulaştırma sırasında harcanan zaman gibi diğer etkenlerden de etkilenir. Bu nedenle, ‘*zaman değeri*’ yardımıyla, zaman kısıtı bütçe kısıtı içine alınır.

P her malın birim fiyatını gösteren $(p_1, p_2, \dots, p_n)$ fiyat vektörü olursa, B toplam bütçesi altında bir tüketici aşağıdaki kısıtlar içinde tercihini yapar;

$$\sum_i x_i p_i \leq B \text{ veya } PX \leq B \quad (2.8)$$

n -boyutlu Ω uzayında, B bütçe kısıtı bu uzayı ikiye ayırır. Bütçe yüzeyi altında kalan bölgenin izdüşümü tüketici için uygun alanı temsil ederken, bunun dışındakiler uygun olamayan alanları temsil eder. Tüketici yararını enbüyükleyecek şekilde akılcı davrandığından, kendisi için olabilecek en yüksek yararı yaratacak tüketim vektörünü X^* seçtiğinde 2.8 aşağıdaki eşitliğe dönüşür.

$$\sum_i x_i^* p_i = B \quad (2.9)$$

Yararı temsil eden n-boyutlu yüzeyin şekline göre bazen birden fazla X^* vektörü bulunur. Ancak dışbükey bir yüzeyde tüketici için sabit p_i birim maliyetinde 2.9 eşitliğini sağlayan sadece bir tane en iyi tüketim vektörü bulunur.

Sonuç olarak, bir n-boyutlu yarar fonksiyonu $U(X)$ yi B bütçe kısıtı altında eniyileyecek X^* vektörünü bulmak için λ lagrangian çarpanını kullanarak aşağıdaki eşitlik yazılır.

$$L = U(x_1 + x_2, \dots, x_n) - \lambda \sum_i p_i x_i \quad (2.10)$$

Yukarıdaki eşitlikte, L nin türevi, X^* olduğu noktada sıfıra eşit olacaktır. Sonuç olarak;

$$\frac{\partial U}{\partial x_i} \Big|_{x_i=x_i^*} - \lambda p_i = 0 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.11)$$

yazılır. Eşitliği aşağıdaki şekilde yazabiliriz.

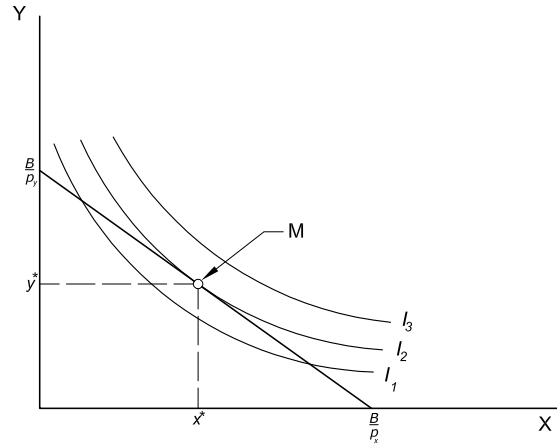
$$\frac{\partial U}{\partial x_i} = \lambda p_i \quad i = 1, 2, \dots, n \text{ ve } x_i > 0 \quad (2.12)$$

Eşitliğin son hali bize, bir tüketicinin bir malın tüketiminden elde ettiği marjinal yararın, o malın fiyatıyla doğrudan ilgili olduğunu söylemektedir. İki rekabetçi malın marjinal yararlarını birbirlerine bölelim.

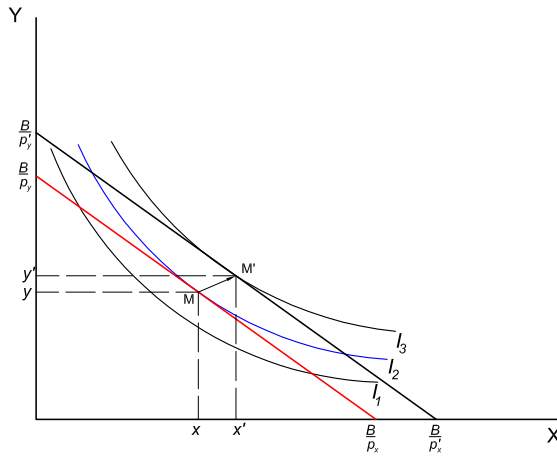
$$\frac{\partial U / \partial x_i}{\partial U / \partial x_k} = \frac{p_i}{p_k} \quad (2.13)$$

2.13 nin sol tarafı eşitlik 2.5 sol tarafına eşittir. Bunun anlamı ise; bir tüketici kendisi için öyle bir tüketim vektörü seçecektir ki, bu vektörün içinde her bir mal çiftine ait ikâme oranı bu iki malın fiyatının oranına eşit olacaktır.

Bütçe kısıtı altında seçim yapan tüketici her durumda $p_1 x_1 + p_2 x_2 = B$ eşitliğine uymak zorunda kalır. Şekil 2.5 bütçe kısıtını, Şekil 2.3 gösterilen kayıtsızlık eğrileri ile beraber gösterilmiştir. Bütçe kısıtını gösteren bütçe doğrusu, kayıtsızlık eğrilerinden bir tanesine teğet geçecektir. Ayrıca bütçe doğrusu tüketici için tüketim alanını ikiye ayırdığından tüketici sadece doğrunun altında kalan, kendine uygun alanda seçimler yapmak zorundadır ve en yüksek yararı sağlamak için doğrunun izin verdiği en son kayıtsızlık eğrisini (teğet geçtiği eğri) tüketim tercihinde kullanacaktır. Şekil 2.5'deki I_2 kayıtsızlık eğrisinin sadece bir noktası (M) uygun bölgesi içinde yer alır. M



Şekil 2.5: Bütçe kısıtı altında iki mal arasındaki eniyi tüketim bileşimi

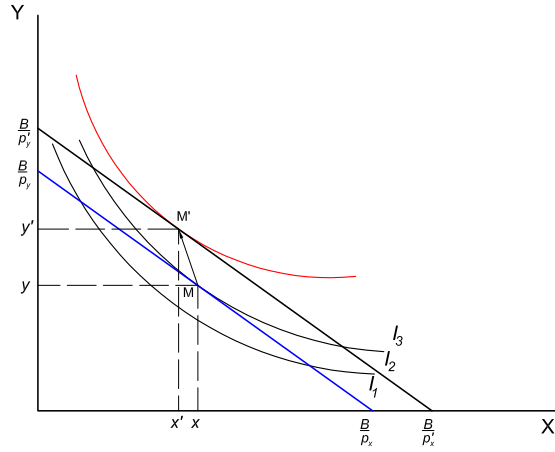


Şekil 2.6: Fiyatın sabit, gelirin artması durumundaki tüketici davranışı

noktası, tüketicinin B bütçe kısıtı nedeniyle sınırlandırılmış alan içinde, yararını enbüyükleyebileceği tek tüketim vektörü X^* in bulunduğu noktadan geçer.

2.2.3 Gelir ve Fiyat Değişimlerinin Talebe Etkisi

Malların fiyatlarının sabit kalması buna karşın gelirin artması durumunda (Şekil 2.6) tüketim biçiminde bir değişim gerçekleşecektir. Tüketici doymak bilmez yapısından dolayı, tüketim miktarını Şekil 2.6'daki M noktasından M' noktasına taşıyacaktı. Ancak burada malların arasındaki tüketim miktarlarının nasıl değişeceği ile ilgili kestirimde bulunmak için n -boyutlu uzaydaki U yarar yüzeyinin şekli önceden bilinmelidir. Bu yüzeyin izdüşümü kayıtsızlık eğrilerini belirlediğinden, gelirin etkisinin bilinmesi için yarar fonksiyonunun $U(X)$ önceden bilinmesi gerektiği açıkça görülür. Örneğin, Şekil 2.6'da gelir artışı tüketimi $M(x, y)$ 'den I_2 kayıtsızlık eğrisi üzerindeki $M(x', y')$ noktasına taşımıştır. Yüksek yarar, her iki malın tüketiminin artmasıyla elde edilmiştir.



Şekil 2.7: Farklı yarar eğrileri altında gelirin tüketime olan etkisi

$U(X)$ 'in yarattığı kayıtsızlık eğrileri, Şekil 2.6 gibi değilde Şekil 2.7 gibiyse tüketicinin gelir artışı karşısında, eniyi tüketim noktası M den M' kayar. Bunun sonucu, tüketici yararını enbüyüklemek için X malını daha az tüketirken Y malını daha fazla

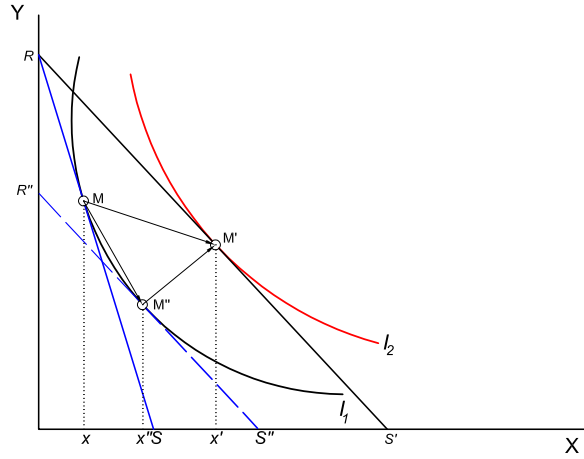
tüketecektir. Gelirin artması, Y malının tüketimini arttırmak pahasına X malından vazgeçmenin tüketici için daha fazla tatmin oluşturmaktadır. Bu durumdaki X gibi mallara *düşük mallar*, Y gibi mallara ise *normal mallar* adı verilir.

Bu durum ekonomide sıklıkla görülen bir olgudur. Tüketici geliri arttığında, daha önce alamadığı ya da ulaşmakta zorlandığı mallardan (normal mal) daha fazla tüketmek ister. Bu durum ulaştırmada da sıklıkla gözlenir. Örneğin, bir yolcu bütçesi elverdiğince toplu taşıma yolculuğu sayısı ve özel araç yolculuğu arasındaki dengeyi, gelir artışı karşısında özel araç lehine bozulacaktır. Yolcu daha fazla özel araç yolculuğu yaparken, daha az otobüs yolculuğu yapmak isteyecektir.

Tüketicinin bütçesinde bir değişiklik olmadan, tüketim mallarının fiyatları bütçe çizgisini daha öncekine paralel olacak şekilde aşağı ya da yukarı çekildiğinde ise, tüketicinin buna tepkisi yukarıda anlattığımız bütçe etkisi ile aynı olur.

Ancak, iki mal arasındaki fiyat değişimleri farklı oranda olduğunda, örneğin Şekil 2.8 deki gibi, X 'in fiyatı düştüğünde, bütçe çizgisi, RS 'den RS' ne kaydığında ne olur?

Şekil 2.8'da X malına ait fiyattaki düşüş, bütçe çizgisinin X si kestiği S noktasını S' ye taşır. Bu durum, tüketicinin yararını arttıracaktır. Bu yarardaki artış eniyilenmiş tüketim vektörünün M noktasından M' noktasına kaymasıyla oluşur. Ancak yarardaki bu artış, Y malına olan talebi düşürürken X malına olan talebi arttıracaktır. X malına olan talepteki bu artış nasıl açıklanır?. Bunu ortaya çıkarmak için RS den RS' ne olan değişimin iki parçaya ayrılması yeterlidir. Öncelikle X deki fiyat düşüşünün X e olan talep artışını Şekil 2.8'ı yazalım;



Şekil 2.8: Gelir ve ikâmenin talebe etkisi

$$FE = x' - x \quad (2.14)$$

İki parçalı incelemenin ilk parçası, I_1 kayıtsızlık eğrisi üzerinde kalarak RS doğrusunu RS' ne paralel olacak şekilde kaydırılm. Ortaya çıkan yeni $R'S''$ doğrusu, aynı kayıtsızlık eğrileri üzerinde olduğundan, tüketicinin yararında bir değişiklik olmadan iki mala olan talep değişir. Bu değişim ikâme etkisiyle olmuştur. Çünkü kullanıcı yararını korumak için, tüketim eğilimini M' den M'' ne taşımış, bunun karşılığında Y malından bir miktar vazgeçmiştir. İkâme etkisi nedeniyle X te oluşan talep ise,

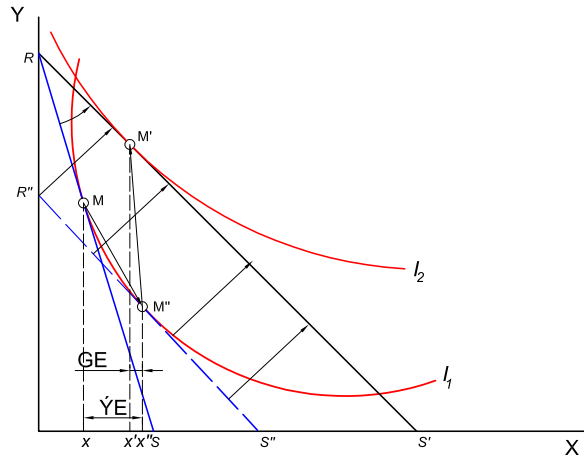
$$\dot{I}E = x'' - x \quad (2.15)$$

dir. İkinci parça ise, $R'S''$ bütçe çizgisini RS' ne taşımak olacaktır. Bu hareket *gelir etkisi* olarak anılır ve doğuracağı etki de doğal olarak gelir etkisiyle aynı olacaktır. Gelir etkisinin X üzerindeki talebi ise;

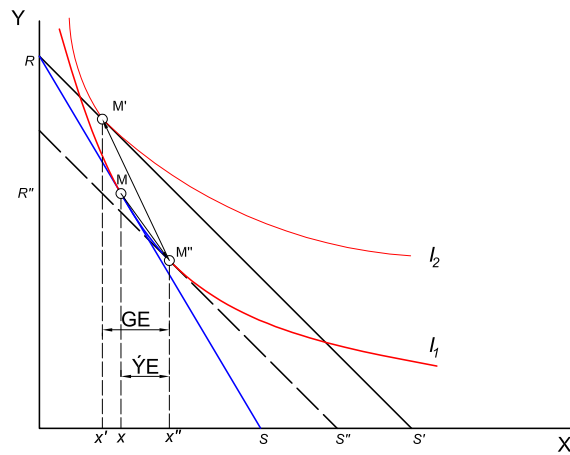
$$GE = x' - x'' \quad (2.16)$$

dir. Şekil 2.8'dan

$$FE = \dot{I}E + GE \quad (2.17)$$



Şekil 2.9: Düşük mal ve gelir etkisinin ikâme etkisinden düşük olması durumu



Şekil 2.10: Düşük mal ve gelir etkisinin ikâme etkisinden büyük olma durumu

yazılabilir. Eşitlik 2.17, bize fiyat değişimi etkisinin, ikâme ve gelir etkisinin toplamı olan bileşke bir etki olduğunu göstermektedir.

Fiyatın tüketim üzerindeki etkisi her zaman aynı olmaz. Şekil 2.9 de X 'in bir düşük mal olması durumunda, X 'teki fiyat düşüşü, X 'e karşı olan talebi arttırmaktadır. Ancak bu talep artışı, ikame etkisinin gelir etkisinden büyük olması nedeniyle gerçekleşmiştir. Şekil 2.9'de ikame etkisi (IE) artı iken, gelir etkisi (GE) eksi olmuştur. Sonuç olarak X 'teki fiyat düşüşü X 'e olan talebi arttırmıştır.

Şekil 2.10’de ise, $GE > IA$ durumu oluşmuştur. . Bu durum oldukça ilginçtir. Çünkü X teki fiyat düşüşüne rağmen, X in talebi azalmıştır. Bu durum *Giffen çıkmazı*⁴ olarak adlandırılır. Giffen çıkmazı, eğer bir malın rekabet içinde olduğu mala karşı olan düşük mal konumu ileri dereceyse oluşur. Bu durum daha sonra ilerde değineceğimiz gelir esnekliği ve fiyat esnekliği kavramlarıyla ilgilidir.

Giffen çıkmazı ile karşılaşılan durumlarda, düşük malın fiyatı düştükçe talebi de

⁴çıkamaz=paradoks

düşecek, fiyatı yükseldikçe talebi de artacaktır. Ulaştırma bu durum sıklıkla gözlenebilir. Toplu taşıma fiyatlarının aşağı çekilmesi, mevcut yolcuların toplu taşımaya ayırdıkları bütçenin özel araç yolculuklarına kaydırılmasına yol açar ve bu toplu taşıma yolculuklarının belli bir yolcu tipinde (özel aracı olmayan biri için bu tür bir geçiş olamaz) düşmesine neden olur. $GE < \dot{I}A$ durumuna örnek ise (Şekil 2.9) hava taşımacılığında verilebilir. Hava taşımacılığında farklı hizmet düzeyleri için farklı fiyatların olduğu yolculuk paketlerinde birinci durum gözlenebilir. Özellikle kısa mesafeli yolculuklarda gelir etkisi ikame etkisinden küçük olduğundan yolcu, fiyattaki düşümlere karşı talep artışı yaratabilir. Bu da ekonomik bir tüketim malı olarak kullanıcıya sunulan uçuş paketlerin arasındaki göreceli fiyatların, ayrıntılı bir talep analizinden sonra belirlenmesini gerektiğine işaret eder.

2.2.4 Tüketici Talep Fonksiyonu

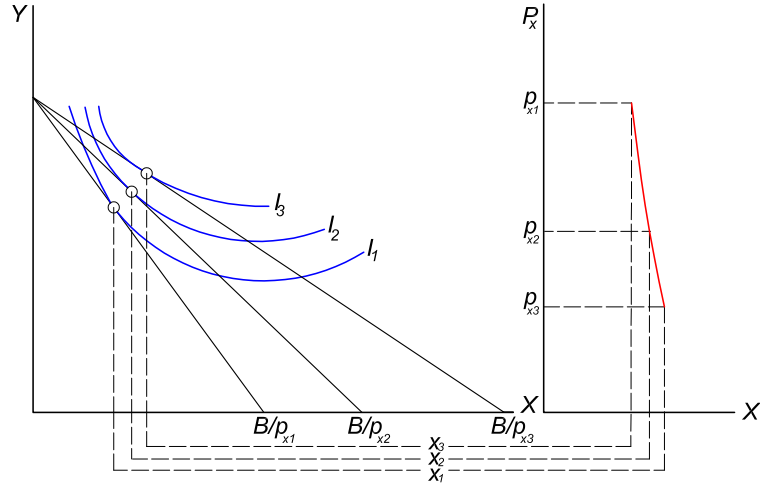
Şu ana kadar talebi etkileyen bir çok etkenin tanımı yapıldı. Şekil 2.8, 2.9 ve 2.10’de herhangi bir X malına talebin yani tüketim miktarının M noktasının bulunduğu yere bağlı olduğu görülür. Bu noktadaki değişim X malına olan talepteki değişimi de gösterir. Ancak M noktasındaki değişim sadece X malının kendisiyle değil, diğer rekabette olduğu mala, fiyatla bütçe çizgisi, $U(X)$ yarar fonksiyonu veya kayıtsızlık eğrilerinin şekline bağlıdır. Tüm bu etken değişkenleri içeren bir i malına ait x_i tüketim miktarını gösteren fonksiyon, i malının ‘talep fonksiyonunu’ gösterir. Eşitlik 2.12’den;

$$\lambda = \frac{\partial U / \partial x_1}{p_1} = \frac{\partial U / \partial x_2}{p_2} = \dots = \frac{\partial U / \partial x_n}{p_n} \quad (2.18)$$

yazabiliriz. Buradaki Lagrangian çarpanı λ , tüketim için harcanacak her bir fazladan parasal birimin (1 \$, 1 YTL) yaratacağı marjinal yararı temsil eder. Tüketicieye ait talep fonksiyonu ise;

$$x_i^* = d_i(p_1, p_2, \dots, p_n, I) \quad (2.19)$$

eşitliğiyle ifade edilir. 2.19’de en dikkat çekici nokta, bir malın talebinin, sadece o malın fiyatıyla değil diğer malların fiyatıyla ilişkili olmasıdır. Ulaştırma açısından bakıldığında da durum farklı değildir. Örneğin, havayolu ulaştırmasıyla ilgili talebi sadece havayolu maliyeti değil, diğer ulaştırma türlerine ait maliyetler de etkiler. Şekil 2.11’de kayıtsızlık eğrilerinden yola çıkarak iki normal mal arasında seçim yapan bir



Şekil 2.11: Talep eğrisinin, fiyat-talep arasındaki ilişkiden çizgesel çıkarımı

tüketicinin X malına ait talep eğrisinin çizge yöntemiyle çıkarımı görülmektedir. Y malına ait talep eğrisi ise gene aynı şekilde çıkartılır. Burada bilinmesi gereken en önemli veri, tüketicinin $U(X)$ yarar fonksiyonudur. Çünkü kayıtsızlık eğrilerinin şeklini belirleyen bu fonksiyon, tüketicinin malın fiyatına karşı duyarlılığını da belirlediğinden talep eğrisi üzerinde etkilidir. Ancak gerçek hayatta, talep fonksiyonu çizge (grafik) yardımıyla bulmak her zaman mümkün değildir. Bu nedenle talep fonksiyonları, istatistik yöntemler yardımıyla x, p ve diğer değişkenler kullanılarak deneysel olarak elde edilir.

2.2.5 Esneklik Kavramı ve Talep Fonksiyonun Özellikleri

Esneklik, genel olarak bir değişkenin diğer değişkene ait değişimlere karşı verdiği duyarlılık olarak tanımlanabilir. Ekonomide esneklik bu tanıma benzer olarak, talep x talebinin, herhangi bir v değişkenine karşı duyarlılığı olarak açıklanabilir ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$e_v = \frac{\frac{\partial x}{x}}{\frac{\partial v}{v}} = \frac{\frac{\text{talepteki değişim}}{\text{talep}}}{\frac{v \text{ değişkenindeki değişim}}{v \text{ değişkeni}}} \quad (2.20)$$

Esnekliğin en büyük üstünlüğü birimsiz olmasıdır. Bu, tüm değişkenlerin talep üzerindeki esnekliklerin birbirleriyle karşılaştırılmasını mümkün kılar. Esneklik, v değişkenin türüne göre isimlendirilir. Eğer v değişkeni fiyat ise talebin *fiyat esnekliği* veya *maliyet esnekliği* adını alır. Örneğin v değişkeni gelir (I) olursa, o zaman talebin *gelir esnekliği*;

$$e_I = \frac{\partial x_i / x_i}{\partial I / I} \quad (2.21)$$

bağıntısından bulunur. Esneklik yardımıyla, taleplerin değişkenlere verdikleri tepkinin şiddetini ölçmek mümkündür. Örneğin normal mallar için, fiyattaki %1 lik yükselmenin, e_p yüzdesi kadar mala olan talebi düşüreceğini söyleyebiliriz. Bir önceki bölümlerden (bkz sayfa 26 ve Şekil 2.9) normal malın fiyat esnekliğinin eksi, gelir esnekliğinin ise artı olduğunu, düşük mallar için ise tam tersi olarak gelir etkisinin bazen eksi olabileceğini söyleyebiliriz. Esneklik $-\infty$ ile $+\infty$ aralığında değişir. Esnekliğin mutlak değerinin birden küçük olması '*esnek olmayan*', büyük olması ise '*esnek*' durumlar olarak anılır.

Esneklik, sadece malın kendi fiyatıyla açıklanmak zorunda değildir. Bir malın talebindeki değişimin, rekabet halinde olduğu diğer malın değişkenlerine karşı gösterdiği tepkiyi ölçmek için de esneklik kullanılır. Bu tür esneklik *çapraz esneklik* (*cross-elasticity*) olarak anılır. Örneğin, bir x malının talebinin y malının fiyatındaki değişimle nasıl değişeceğini görmek için x in y nin fiyatına göre çapraz esnekliğini kullanırız. Çapraz esneklik

$$e_{xy} = \frac{\partial Q_x / Q_x}{\partial p_y / p_y} \quad (2.22)$$

ile hesaplanır. Q_x , x malının talebi, p_y , ise y malının fiyatıdır.

Çapraz esneklik ulaştırma türlerine olan talepler için oldukça yararlı ve önemli bir araçtır. Özel araç kullanımına olan talebin, raylı sistem seçeneği olan bir ortamda, raylı sistemin taşıma ücretleriyle değişimini görmek için çapraz esneklik kullanılır. Eğer iki mal arasında gerçek bir ikâme etkisi gözleniyorsa, çapraz esneklikler artı çıkmalıdır.

Bir bütçe kısıtı altında, yararın enbüyüklenmesiyle elde edilen talep fonksiyonu bazı özellikleri sağlamak zorundadır. İlk olarak bütçe kısıtı B , talep fonksiyonu cinsinden yazılmalıdır.

$$\sum_i p_i x_i(B, p_1, p_2, \dots, p_n) = B \quad (2.23)$$

2.23'nin B 'ye göre türevi alınır;

$$\sum_i p_i \frac{\partial x_i}{\partial B} = 1 \quad (2.24)$$

Yukarıdaki eşitliğin her iki tarafı da, $\frac{x_i B}{B x_i}$ ile çarpıldığında;

$$\sum_i \frac{p_i x_i}{B} \frac{B}{x_i} \frac{\partial x_i}{\partial B} = 1 \quad (2.25)$$

elde edilir. Yukarıdaki denklemde, $p_i x_i / B$ tüketicinin bütçe içinde i malına bütçeden (B) ayırdığı oranı (S_i) temsil ederken, kalan diğer kısım ise talebin bütçe esnekliğini (I_i) temsil eder. 2.25 eşitliğini sadeleştirmek için yeni gösterimleri yerlerine koyarsak;

$$\sum_i S_i I_i = 1 \quad (2.26)$$

olur. En son yazılan denklem, talep fonksiyonunun bir özelliğini gösterir. Bu özellik, harcama oranlarının tüketiciye seçenek olarak sunulan ilgili seçeneklerin (mallar) gelir esneklikleriyle çarpımlarının toplamının bire eşit olmasıdır. 2.23'nin bu p_i ye göre türevini alınırsa, talep fonksiyonunun bir diğer özelliği ortaya çıkar.

$$\sum_i e_{ij} S_i = -S_j \quad (2.27)$$

2.27'de e_{ij} , tüm malların, j malına göre fiyat cinsinden çapraz esnekliğini gösterir. Böylelikle bir talep fonksiyonunda, j malına göre fiyat çapraz esneklikleri, ağırlıklı harcamalarla çarpıldığında, j malına harcanan bütçedeki orana eşit olur.

Talep fonksiyonuna ait diğer önemli özellik; fiyat ve fiyat-çapraz esneklikleri ile gelir esnekliği eşit olan bir malların özelliğidir. Bu özelliği göstermek için talep fonksiyonunun tüm terimleri aynı derecede olan bağıdaşık (homojen) bir fonksiyon olmasından faydalanılır. Bir talep fonksiyonunun bağıdaşık özelliğinden yararlanarak;

$$X_i(B, p_1, p_2, \dots, p_n) = X_i(\lambda B, \lambda p_1, \lambda p_2, \dots, \lambda p_n) \quad (2.28)$$

şeklinde yazabiliriz. Burada λ bir sabit çarpandır. 2.28'nin λ ye göre türevini alır ve $\lambda = 1$ kabul edersek aşağıdaki denklemi elde ederiz.

$$B \frac{\partial x_i}{\partial B} + p_1 \frac{\partial x_i}{\partial p_1} + \dots + p_n \frac{\partial x_i}{\partial p_n} = 0 \quad (2.29)$$

2.28'nin her iki tarafında x_i ye bölersek;

$$I_i = \sum_{ij} e_{ij} \quad (2.30)$$

eşitliğine ulaşırız. Bu eşitlik, *Slutsky-Schultz ilişkisi* olarak bilinir. Bu ilişki, rekabet halinde olan iki mal için ele alındığında ilginç özellikler gösterir. Bunu görmek için eşitlik 2.27 ve 2.29 i ve j olmak üzere iki mal için birleştirilirse;

$$\begin{aligned} I_i &= e_i + \frac{x_j}{x_i}(I - e_j) \\ I_j &= e_j + \frac{x_i}{x_j}(I - e_i) \end{aligned} \quad (2.31)$$

denklemleri bulunabilir. Bu denklemler irdelendiğinde, örneğin i malının fiyat esnekliği birden büyük (ya da küçük) ise, j malının gelir esnekliği i malının fiyat esnekliğinden küçük (ya da büyük) tür. Kaba bir tanımla bu durum, bir tüketici rekabet halinde olan ihtiyaç ve gösterişli (lüks) mallar arasında seçim yaparken, ihtiyaç malına ait fiyat esnekliği birden küçük olurken, gösterişli malın fiyat esnekliği birden büyük olacaktır. Gene aynı şekilde, ihtiyaç malının gelir esnekliği fiyat esnekliğinden küçük olduğunda, gösterişli malın gelir esnekliği de fiyat esnekliğinden büyük olacaktır.

Yukarıdaki paragraftaki talep fonksiyonunun iki seçenek için gözlenen bu özelliği, ikiden fazla seçeneğin söz konusu olduğu ulaştırma ekonomisinde sık gözlenmez. Ancak bir fikir vermesi açısından örnek verilecek olursa; iletişim için iki seçenekten birini seçmek zorunda olan bir şirket örnek olarak verebilir. Bu şirketin iletişim seçenekleri (telefon,faks, vb.) ve hava ulaşımı seçenekleri olsun. Hava ulaşımı şirket için gösterişli mallar içinde değerlendirilsin. Bu durumda hava ulaşımının talebinin fiyat esnekliği (elastic) var iken, göreceli olarak iletişim seçeneğinin fiyatı esnekliği yoktur (inelastic). Ancak havayolu seçeneğinin gelir esnekliği fiyat esnekliğinden büyükken, iletişim seçeneğinin gelir esnekliği fiyat esnekliğinden küçük olacaktır. Şirketin gelirlerini, havayolu ulaşımın fiyatı oranında artarsa, havayolu trafiğinde bir artış gözlenirken, aynı artışı iletişim fiyatları oranında yaptığımızda iletişim trafiğinin azaldığı

Tablo 2.1: Deneysel talep fonksiyonları

Fonksiyon	Yapısı
Doğrusal	$T = \alpha_0 + \alpha_1 p + \alpha_2 I$
Çarpım	$T = \alpha_0 p^{\alpha_1} I^{\alpha_2}$
Eksponansiyel	$T = e^{\alpha_0 + \alpha_1 + \alpha_2 I}$

gözlenecektir. Bu daha önce bahsedilen gelir ve ikâme etkisini çağrıştırır. İkame etkisi burada, trafiğin iletişimden havayoluna kaymasına neden olur. Gelir, hem havayolu hem de iletişim fiyatlarıyla aynı oranda artarsa, trafik dengesinde de bir değişim gözlenmeyecektir. Bu durum, 2.28’de verilen ve bağdaşık olan talep fonksiyonundan kolayca görülebilir

Sonuç olarak talep fonksiyonu, yarar fonksiyonun bütçe kısıtı altında enbüyüklenmesi ile elde edilir. Ancak ulaştırma ekonomisinde, talep fonksiyonun türetilmesi göreceli olarak diğer ekonomilere göre daha zordur. Bu, yarar fonksiyonun belirlemedeki zorluktan kaynaklanır. Yarar, sıra ölçeği (ordinal scale) ile açıklandığından türev ve integral işlemleri yapılamaz. Bu sorunu aşmak için sıra ölçeği yerine sayı ölçeğiyle açıklanabilen yarar fonksiyonları türetilmesi için çeşitli psikometrik ölçüm yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler bir yarar fonksiyonu türetilmesinde yararlı olsalar da, yararın enbüyüklenerek talep fonksiyonun türetildiği yöntem sınırlı bir kullanıma sahiptir [9].

Bir talep fonksiyonunu türetmenin diğer yolu deneysel yöntemdir. Gözlemlerden yola çıkarak, öngörülen bir fonksiyona ait parametreler kestirilerek talep modelleri oluşturmak mümkündür. Bu öngörülü fonksiyonlar üç türe ayrılır (Tablo 2.1). Tablo 2.1’deki yapıların birbirlerine göre iyi ve kötü yanları vardır. Bunlarla ilgili ayrıntılı inceleme [10]’de verilmiştir.

2.2.6 Piyasa Talebi

Buraya kadar tanımlanan talep fonksiyonu sadece tek bir bireye ait talebi gösterir. Ancak ulaştırma ekonomisi dahil tüm ekonomiler, genel piyasa talebi üzerine ekonomik kararlarını alırlar. Ulaştırmada her bir yolcunun toplam talebi, trafik akışını oluşturur. Sonuç olarak planlama ve yatırım bu toplam akışı kendisine temel alır.

Piyasa talebini bulmanın en kolay yolu, tüm bireylerin taleplerinin toplanmasıdır. Ancak bu yöntem, piyasadaki tüm tüketicilerin aynı yarar fonksiyonuna sahip olması durumunda geçerli olur. Bağdaşık toplumun yarar ve talep fonksiyonu bu toplumdaki herhangi bir bireyle aynı olacağından doğrudan piyasa için talep tahmini yapmak da kolaylaşır

Diğer yandan, gerçekte piyasa bağdaşık olamayan yapıdadır. bu yüzden her tüketici farklı yarar fonksiyonlarına sahiptir. Toplulaştırma için her tüketici için ayrı talep fonksiyonu türetmek ve bunları toplulaştırılmak karmaşık hesaplamalar gerektirir. Bunu aşmanın yolu, piyasayı oluşturan tüketicileri gelir ve bütçe açısından mümkün olan en az sayıda bağdaşık parçalara ayırmaktır. Her parça içine düşen tüketicinin yarar fonksiyonu aynı olacağından, her bir parçaya ait talebin toplulaştırılması ile toplam piyasa talebi bulunur.

$$X_i(I, p_1, p_2, \dots, p_n) = \sum_k X_i^k(I^k, p_1, p_2, \dots, p_n) \quad (2.32)$$

X_i^k i malı için k piyasa parçasındaki talep, I toplam piyasa geliri, I^k k piyasa parçasının gelirini temsil etmektedir. Piyasadaki esnekliği bulmak için;

$$e_{ij} = \frac{\sum_k e_{ij}^k X_i^k}{\sum_k X_i^k} \quad (2.33)$$

eşitliği kullanılır. e_{ij} i ye ait piyasadaki fiyat esnekliği ve diğer mallarla olan fiyat-çapraz esnekliklerini göstermektedir. e_{ij}^k ise piyasanın k alt parçalarına ait esnekliklerdir. Eşitlik 2.33 bize, piyasa esnekliğinin, piyasanın k parçalarına ait esnekliklerin, her bir parçadaki tüketim miktarları cinsinden ağırlıklı ortalamasına eşit olduğunu gösterir.

Aynı ilişki gelir esneklikleri içinde geçerlidir. Eğer ele alınan piyasa, gelir açısından bağdaşık (homojen) bir yapıya sahipse, her bir alt piyasadaki gelirle toplam gelir arasında aşağıdaki bağıntı yazılır.

$$I^k = \alpha_k I \quad \sum_k \alpha_k = 1 \quad (2.34)$$

$\alpha_k = [0, 1]$ arasında, 2.33 eşitliği gelir esnekliği hesabı içinde geçerlidir. 2.34 geçerli olduğu pazarlarda, daha önce 2.24 ve 2.27'deki bireysel talep fonksiyonlarının tüm özellikleri piyasa talep fonksiyonları içinde geçerli olur.

Piyasanın parçası olan tüm tüketicilerin yararını temsil eden bir yarar fonksiyonu, *sosyal refah fonksiyonu* olarak anılır. Ancak pazarın eniyilemesi için kullanılacak ve pazarı tamamen temsil edebilen sürekli ve dışbükey bir pazar fonksiyonu tanımlanması güçtür. Pazar talepleri, eniyilenmiş bireysel yararların toplulaştırılmasıyla hesaplanır.

Deneyssel veya istatistik yöntemler kullanarak pazar taleplerini doğrudan kestirmek mümkündür.

2.2.7 Bireysel Talep Fonksiyonlarının Toplulaştırılması

Bireysel talep fonksiyonlarının toplulaştırılmasının en basit ve doğrudan yolu 2.32 denklemdir. Bu yöntemin genişletmek mümkündür. Bunun için piyasa talep fonksiyonu, bölünmüş alt piyasa talep fonksiyonuna ait değişkenlerin olasılık yoğunluk fonksiyonuna göre integrali alınır. Eğer her bir bölünmüş alt piyasadaki bireylerin talep fonksiyonları fiyat ve gelir değişkenleri ile açıklanabiliyorsa $X_i^k(I^k, p_1, p_2, \dots, p_n)$, ve gelir değişkenini tüm alt piyasalara $f(\eta)$ sıklık fonksiyonuna göre dağıldığını biliyorsak, bu durumda toplulaştırma fonksiyonunu aşağıdaki gibi yazarız.

$$X_i(p_1, p_2, \dots, p_n) = \int_i X_i(I, p_1, p_2, \dots, p_n) f(\eta) d\eta \quad (2.35)$$

Yukarıdaki eşitlik, alt piyasalara ait sıklık fonksiyonu bilinen herhangi bir değişken kullanılarak yapılabilir. Böylelikle tüm piyasa bir değişkene göre tabakalandırılmış olur. Bu yöntem '*tabakalandırma yaklaşımı*' (*stratification approaching*) olarak anılır. Oldukça uzun süredir ekonomik hesaplamalarda kullanılan bu yöntem neredeyse 1895 yıllarına Pareto zamanına kadar dayanır. Bu yöntem söz konusu değişkenin dağılımının gözlemlerden elde edilen veriler ve istatistiksel kestirim teknikleriyle ya da teorik bir öngörüyle belirlenmesidir. Örneğin Kanafani piyasadaki gelir dağılımının *gama yoğunluk fonksiyonuna* göre dağıldığı varsayılmış ve 2.35 daki toplulaştırma işlemini yolculuk talepleri için uyarlamıştır.

Piyasa talebini bulmak için en kestirme ve genel yol, her alt piyasadaki talep fonksiyonun ortalaması yerine, değişkenlerin alt piyasa ortalamalarının toplulaştırılmasıdır. Ancak bu yöntem, eğer talep fonksiyonu doğrusal ise işler. Bir çok talep fonksiyonu doğrusal yapıda olmadığından bu yöntem pek tercih edilmez [10].

Talep, Üretim ve Eşitlik

Talep fonksiyonun tek başına bilinmesi, ilgili ekonomik değerin tüketiminin miktarının kestirilmesi için yeterli olmaz. Sonuç olarak talep fonksiyonu, fiyat ile tüketim arasındaki ilişkiyi gösterir. Ekonomik etkinlik iki taraflı bir ilişkidir ve tüketim etkinliği ancak üretim olduğunda gerçekleşir. Her tüketicinin ve sonuç olarak toplumun kendisine göre bir tüketim stratejisi vardır. Ancak üreticinin de sınırları

vardır ve tüketiciye ekonomik değeri belli bir fiyat ve miktarda sunarken net gelirini de enbüyüklemek ister. Bu karşılıklı eylemler daha önceki bölümde kısaca bahsedilen oyun teorisine benzemektedir. Tüketici ve üretici sonuçta karşılıklı olarak kabul edecekleri bir noktada buluşurlar.

Bu nokta *denge durumu* olarak bilinen ve 19 yüzyıl ortalarından beri kullanılan yerdir. Bu nokta bir p fiyatında statik olarak belirleneceği gibi, bu noktaya dinamik bir süreçten sonra da ulaşabilir.

Talep gibi üretim miktarında bir fonksiyona sahiptir. Bu fonksiyonu $S(p)$ ile gösterelim. Daha önce tanımladığımız $X(p)$ talep fonksiyonu tüketici karakterinin toplulaştırılmış bir fonksiyonuyken, $S(p)$ de üretim yapısına bağlı olan ve üretim fonksiyonlarının toplulaştırılmış piyasa üretim fonksiyonu olarak tanımlanır. Denge durumu;

$$\begin{aligned} \text{Eğer } x = X(p) \text{ ve } s = S(p) \text{ ise} \\ s = x \end{aligned} \quad (2.36)$$

de gerçekleşir (Şekil 1.3) Bu durum statik bir denge durumudur. Bir p değerinde üretim ve tüketim miktarları birbirlerine eşit olur.

Ancak dinamik denge durumunda, üretim bir önceki zaman kesitindeki fiyata bağlı bir fonksiyondur. t anındaki fiyat $t - 1$ anına göre belirleneceğinden, t anındaki üretim talepten yüksek ya da az olabilir.

$$\begin{aligned} \text{Eğer } x_t = X(p_t) \text{ ve } s_t = S(p_{t-1}) \text{ ise} \\ p_t = p_{t-1} + \phi(x_{t-1} - s_{t-1}) \end{aligned} \quad (2.37)$$

Denge durumu yazılır. ϕ değişkeni t anındaki talep ve üretim arasındaki farklardan doğan farkı gösterir. Örneğin, t anında eğer talep üretimden fazla ise fiyat yükselecektir ve ϕ değeri artı olacaktır (ya da tam tersi).

$$x_t = s_t \quad (2.38)$$

2.38 gerçekleştiğinde, dinamik bir süreçten sonra, t anında dengeye ulaşılır. Bu durum *cobweb modeli* olarak anılır. Ancak uzun süreçler söz konusu olduğunda, yüksek fiyat dalgalanmaları pek sık yaşanmayacağından, normal ekonomilerde dinamik denge

süreci gözlenmez. Bu nedenle statik denge durumu ile piyasayı modellemek daha uygundur.

Mikroekonomik teorinin ulaşırmaya uygulanmasıyla ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Mikroekonomik teorilerin doğrudan ulaşırmaya uygulanmasıyla ilgili bazı sakıncalara Bölüm 1’de değinilmişti. Bu sakıncalar içinde en önemlisi daha önceden de birçok kez bahsettiğimiz, ulaştırma talebinin başka bir etkinliğin türevi olmasıdır. Bu da talep fonksiyonlarını türettiğimiz bir yarar fonksiyonun ulaştırma için aslında tam olarak var olmadığını gösterir. Kısaca ulaştırma kullanıcısı ulaştırma etkinliğinden bir yarar sağlamaz. Bu nedenle ulaştırma talep fonksiyonunu doğrudan türetmek mümkün değildir. Genellikle bunun yerine yararın yapılan yolculuk sayısı ve sosyo-ekonomik etkinliklerin bir fonksiyonu olduğu varsayılır. Bu şekilde ulaştırma sisteminin özellikleri (maliyeti) yarar fonksiyonuna artı ya da eksi olarak yansır. Böylelikle mikroekonomik talep teorisini yarar fonksiyonuna uygulamak için tüm engeller ortadan kalkar. Ancak şekil olarak ulaşırmada talep teorisinin türetilmesindeki engellerin ortadan kaldırılması, uygulama açısından çok da önemli değildir. Buna neden ulaştırma taleplerinin çoğunlukla teorik olarak değil, deneysel olarak kestirilmesi gösterilebilir.

Şu ana kadar terim olarak bahsettiğimiz ulaştırma talepleri, kendi içinde yolcu ve yük olmak üzere ikiye ayrılır. Talebe ilişkin açıklanan bir çok kavram yolcu talepleri ile ilgilidir. Yolcuların her birinin kendine özel özyapısından dolayı, piyasayı temsil eden yararın eniyilemesi bizi sonuca götürmez ve bunun yerine rastgele (stokastik) yöntemler tercih edilir. Yük ulaştırması ise üretim süreçlerinin bir ögesi varsayılmaktadır. Yük taşınması için eniyileme, yolculuklara göre uygulanabilir bir yöntemdir. Ancak bu çalışma yük talepleri ile ilgili olmadığından bu konu üzerinde fazla durulmayacaktır.

Ulaştırma ekonomisi açısından bir noktada stoktur. Mikroekonomik teoride, her ekonomik değer talepteki dalgalanmaları karşılayabilmek için stok yapar. Ama ulaştırma aynı şekilde bir yığınlamaya müsait değildir. Boş koltukları olduğu halde uçan uçaklar, kapasitesinin altında hizmet veren yollar bu duruma örnektir. Ulaştırma üretim açısından Bölüm 1 verilen bir takım kendine has özelliklere de sahiptir. Çok bilinen bir cümle olan *”ulaştırmanın stoklama özelliği yoktur”* cümlesi de tam olarak doğru değildir. Bir ulaştırma yatırımında, kullanılmayan kapasite gerçekten kullanılan ana kadar stok yapılmış kabul edilmelidir [10].

Mikroekonomik teori ile ulaştırma arasındaki diğer uygulama zorluğu gene insan kaynaklıdır. Ulaştırma seçimlerini yapan insan çeşitliliği ve karar süreçleri *belirsizlik* yaratır. Bu nedenle mikroekonomik teoriler, bu belirsizlik karşısında yetersiz kalırlar ve istatistik yöntemler kullanarak bu belirsizliği aşmaya çalışırlar. Ulaştırma planlaması içinde rastgele modellerin bu kadar ağırlıklı olmasının nedeni de budur.

Ulaştırma yatırımlarının uzun süreli oluşu nedeniyle yatırımı etkileyen değişkenler bu süreç içinde değişebilir. Yatırım sonrası, önceden kestirilen sonuçların kısmen ya da tamamen oluşmama olasılığı her zaman vardır.

Ulaştırma talep fonksiyonları deneysel yöntemlerle saptandığından, insanlarla yapılan deneysel çalışmalara özgü zorluklar oraya çıkar. Bu deneysel çalışmaların tam anlamıyla kontrol altına alınarak yapılması ve buradan saf bir davranış modelinin çıkartılması oldukça zordur. Çünkü bir davranış varsayımı için ölçümler, sadece ölçüm yapılan konuyla ilgili davranışı yansıtır. Kısaca davranış için bir genelleme yapmak ve bunu her olay için kullanmak mümkün olmaz. Örnek olarak, İstanbul'daki orta gelir grubu ile Bursa'daki orta gelir grubunun davranışları, bir çok etkenin değişmesi nedeniyle farklı olur.

3. RASTGELE YARAR MODELLERİ VE ULAŞTIRMA TÜRÜ SEÇİMİ

Bölüm 1’de insan davranışını modellemek için gösterilen çalışmalar, ekonomide tüketici davranışları ve ekonomik teoriler ve gelişimleri, Bölüm 2’de ise mikroekonomik talep teorisi ve ulaştırma talepleri arasındaki ilişkiler ele alındı. Aslında tüm bu kısma kadar olan bölümler, ulaştırma da tür seçimi modellerinin katettiği uzun soluklu bir sürecin sadece özet kısmını oluşturmaktadır. Tür seçimi modelleri, felsefe, psikoloji, matematik, ekonomi ve istatistik gibi bir çok disiplinden gelen çalışmaların bir sonucu olarak karşımıza çıkmıştır. Bu bölüm, bir tür seçimi modelinin temel yapısı, varsayımları, kestirim yöntemleri ile ilgili konuları içermektedir.

Seçim yolculuk kararlarının anahtar ögesidir. Daha önce genellikle tüketici olarak tanımlanan kişilik bundan sonra yolcu olarak tanımlanacaktır. Yolcuda tüketici gibi kendisine sunulan seçenekler arasından bir seçim yapmak zorundadır. Yolcu ulaştırma planlamasında, gideceği yol ve tür konusunda seçim yapan tüketicidir. Yolcunun ve daha genel ölçekte yolcuların kararlarının modellenmesi, trafik kestirimi için çok önemlidir. Ancak karar süreçlerinin çok karmaşık olması nedeniyle modellemeye, tıpkı ekonomik teorideki gibi bazı varsayımlar ve basitleştirmelerden sonra geçilebilmektedir.

Basitleştirme adımının ilk safhası, tüm yolcuların bir zaman kesiti boyunca karşılaştıkları seçeneklerin sayısı ve özelliklerinin sürekli aynı kaldığını varsaymaktır. Bu şekilde kullanıcı için seçimler de sabitlenmiş olacaktır. Bu yöntem *deterministik seçim modelidir*.

Bu yöntem, gelişiminin ilk otuz yıl boyunca yolcu taleplerinin belirlenmesinde temel alınmıştır. Yolculuk dağıtım modelleri, türel ayırım ve trafik atama problemlerinde deterministik yöntem kullanılır [10]. Deterministik yöntemin kullanılmasının bir nedeni de, yolcunun karar sürecinin mikroekonomik teorideki bireysel karar kurallarıyla uyumlu olmasını sağlar. Bu şekilde mikroekonomik talep teorisi ile uygun hale gelen seçim modeli bize, yolcunun talep ve seçimi arasındaki ilişkiyi, ekonomik teorideki üretim-talep ilişkisi çerçevesinde tanımlama imkanı verir.

Şu ana kadar tüketici modellerinin akılcılık ilkesinden türetildiğini söyledik ve insan karar verme sürecinin çok karmaşık olduğundan da bahsettik. Gerçekte bireyler, aynı şartlar altında farklı zamanlarda aynı seçimi yapmayabilirler. Bu, bireyin kişiliğindeki

akılcı olamayan davranış eğilimlerinden ya da bireyin karar aşamasında çevresel değişkenleri kendileri için en doğru kararı verecek şekilde algılamamış olmalarından kaynaklanabilir. Bu nedenle bu durumu matematiksel olarak yansıtabilecek bir yöntem ihtiyacı duyulmuştur. Bu amaçla rastgele modeller ortaya atılmıştır. Bu şekilde ölçülemeyen, gözden kaçan değişkenler, rastgelelik yardımıyla göz ardı edilebilir. Rastgele modeller, her ne kadar deterministik yöntemle göre daha karmaşık gözükse de, gerçekte bir çok gözlenemeyen ya da eksik değişkeni temsil etmesi açısından, davranış gibi karmaşık olayları modellemeyi mümkün kılar.

3.1 Bireysel Seçim Modellerinin Tarihsel Gelişimi

Klasik ekonomik teorisinin, "tüketicinin egosunu tatminini enbüyükleyen ekonomik değerleri seçer" varsayımını yaptığı Bölüm 1'de bahsetmiştik. Ancak bu kavram kullanılabilir aşamaya gelinceye kadar sürekli tekrar edilen bir sözden öteye gidememiştir. Bu nedenle çözümlemeli problemler için kullanılabilir aşamaya gelmesi zaman almış ve bir süre, sadece ekonomik politikaların belirlenmesi ve genel ölçekteki ekonomik problemlerde kullanılmasından öteye gidememiştir.

Daha sonraları, Hohn Hicks ve Paul Samuelson, akılcı tüketici davranış modelini kullanılabilir biçime sokmuşlardır. 1960 larda mikroekonomik düzeyde tüketici verilerinin sağlanabilirliği, ekonomistleri bireysel davranışları daha iyi çözümleme ve tahmin etmek için güdülemiştir. 1957 yılında Zvi Griliches, bir ekonomik ögenin amacı ve kısıtları altında oluşan rastgele öğelerin, ekonomik öge tarafından bilenen bir takım özelliklerden kaynaklanan rastgele bir dağılım oluşturacağından bahsetmiştir. McFadden 1962 yılında, bu düşünceye göre elektrik üretim fonksiyonlarıyla ilgili çalışma yapmaya başlamıştır [11].

Ulaştırma bireysel seçim modellerinin kullanımı, 1965 yılında, Berkeley'de lisans öğrencisi olan Phoebe Cottingham'ın gene aynı üniversitede öğretim üyesi McFadden'e tezi için Kaliforniya Karayolları Müdürlüğü'nden aldığı otoyoldaki yol seçimi verilerinin nasıl çözümleyebileceğini sormasıyla başlamıştır. McFadden konuya ilgi göstermiş ve otoyolda yol seçimlerinin mikroekonomik teorideki seçeneklerin oluşturduğu C sonlu kümesinden yapılan herhangi bir i seçimine ait $P_C(i)$ olasılıklarını andırdığını fark ederek Cottingham'a yardım etmeyi kabul etmiştir. McFadden'in psikometrik yöntemler üzerine yapılan çalışmalar üzerinde bilgi sahibi olması onu bu konuya ilgi göstermesinde etkisi olmuştur [11].

1927 yılında, psikometrik çözümleme uzmanı L.L.Thurstone, verdiği bir seminerde, 'Kıyaslamalı Yargının Yasası'(Law of Comparative Judgment) kavramını ortaya atmıştır. Thurstone i gibi bir seçeneğe ait V_i olarak gösterilen kesin bir uyarıcının (stimulus) $(V_i + \varepsilon_i)$ toplamıyla gösterilen $\varepsilon_i t$ gibi normal bir hatayla algılandığını öne

sürmüştür. Thurstone, algılama hatasının normal dağılıma uyduğunu varsayılmıştır . İkili bir karşılaştırmada bu varsayım seçim olasılıkları $P_{[1,2]} = \Phi(V_1 - V_2)$ olarak hesap edilen *probit modelden* başka bir şey değildir. Thurstone'nun uyarıcı olarak gösterdiği $V_i + \varepsilon_i$ yi ekonomide tüketicinin tatmini olarak gösterirsek Thurstone'nun modeli bireysel ekonomik seçim modellerine dönüşecektir.

1960 yılında Jacob Marscak, Thurstone'nun çalışmalarını ekonomiye uyarlamıştır. Marscak, seçim olasılıklarının bulunmasında *rastgele bir ögeyi* içeren bir teori öne sürmüştür. Bu teori gene adını sıkça duyduğumuz *rastgele yarar teorisidir*. Ancak seçim davranışı üzerinde somut çalışma 1959 yılı nda R.Luce Duncon'dan gelmiştir. Duncon'nun çalışmasının en can alıcı noktası, '*seçeneklerin birbirinden bağımsızlığı*' (SBB) önermesidir. Bu önermenin seçim modellerine getirdiği kolaylık, ikili seçim modellerinden yola çıkarak çoklu seçim modellerinin üretimi için gerekli olan verilerin toplanmasını basitleştirmesidir [11]. Seçeneklerin birbirinden bağımsız (SBB) olma durumu aşağıdaki önermeyi de beraberinde getirir.

Önerme 3.1. *i ve j gibi iki seçeneğin seçim olasılıklarının oranı, ait oldukları C seçenek kümesinden oluşturulacak tüm alt seçenekler kümesinde aynıdır.*

$$\frac{P_{(i,j)}^{C1}(i)}{P_{(i,j)}^{C1}(j)} = \frac{P_{(i,j)}^{C2}(i)}{P_{(i,j)}^{C2}(j)}$$

Luce ayrıca, SBB varsayımı altındaki w_i sabit yararlarına karşın;

$$P_C(i) = \frac{w_i}{\sum_{k \in C} w_k}$$

artı olasılıklarını tanımlamıştır. Marscak sonlu sayıda nesnelerden oluşan bir uzayda, SBB nin rastgele seçim modeli için geçerliliğini ispatlamıştır. McFadden, Luce'un bu modelini kendisine başvuran öğrencisi için uyarlamıştır.

McFadden sabit yararları, otoyol üzerinde gözlenen özelliklerin bir fonksiyonu olarak değerlendirmiştir. McFadden bu modeli ilk kullandığında yaptığı varsayımları tanımlamak için, 3.19'de gösterilen eşitliği daha basitleştirilmiş şekilde aşağıdaki gibi yazmıştır.

$$P_c(i) = \frac{e^{V_i}}{\sum_{k \in C} e^{V_k}}$$

McFadden yukarıdaki eşitlikte V_k yı; k seçeneğine ait maliyetler, güzergah uzunluğu, park yeri alanları ve aracın yüzeyde kapladığı alan gibi seçeneğe ait özelliklerin doğrusal birleşimini gösteren bir vektör olarak kabul etmiştir. McFadden bu doğrusal birleşimin katsayılarını gösteren katsayı vektörünün yolcunun bu özelliklerden aldığı tatminin seviyesini gösterdiğini söylemiştir [11].

McFadden bu modeli '*şartlı logit model*' (*conditional logit model*) olarak adlandırmıştır. McFadden bu adlandırmayı iki nedenden ötürü yapmıştır. İlki, iki seçenekten oluşan seçimlerde, modelin bio-istatistikte kullanılan logistik model eğrisinin şeklini alması; diğeri ise, birden fazla seçeneğe sahip seçim kümelerinin, SBB varsayımı ile ikili seçimler biçiminde gruplanarak iki seçenekli seçim kümelerine dönüştürülmesidir. Günümüzde bu model *çoklu logit model* (*ÇLM*) olarak çağrılmakta ve terminolojide de bu şekilde kullanılmaktadır. McFadden Cotingam'ın problemine uyguladığı Luce modelini kendi yaptığı bilgisayar programıyla enbüyük olabilirlik yöntemi (maximum likelihood) ile çözümlenmiştir. Ancak Cotingam bu çalışmayı tezine koyamamış, çalışmadan önce tezini tamamlamıştır.

McFadden, Luce'un modelindeki, seçeneklere ait özelliklerin, seçimi yapan kişi üzerindeki tatmin etkisinin, seçimi etkileyeceğini ulaştırma için kullandığı çözümleme de aynen kabul etmiştir [11]. McFadden, ÇLM geliştirirken, rastgele yarar modelinin (RYM), Luce'un modeli ile olan uyumunu gözden geçirmiş, ve gözlenemeyen değişken dağılımlarının *Tip-I aşırı değer dağılımına*¹ uyması durumunda bu uyumun varlığını da göstermiştir.

Ket Richer ve McFadden, 1970 yılında RYM'nin yeter ve gerekli şartları tanımlamışlardır [11]. McFadden ilk başlarda ÇLM'nin mikroekonomik içinde sık kullanılan bir yöntem olmasına karşın, istatistik bir yöntem olarak kabul görmediğini belirtmiştir. Ancak buna rağmen McFadden'nin geliştirdiği model, kendi dönemi içinde bağımsız olarak geliştirilen bir çok modelden çok daha fazla ilgi görmüştür. McFadden'e göre bunun nedeni, modelinin tüketici teorisi ve gözlenememiş bağdaşık olmayan tercihlerle, talep dağılımı arasında doğrudan bir bağ kurmasıdır [11].

1972 lerin başında McFadden Berkeley'de ulaştırma planlaması talep çözümleri için, mikroekonomik teorilere dayanan bireysel yolcu seçim modellerini geliştirmek amacıyla NSF² tarafından desteklenen büyük bir araştırma projesine yönetici olarak atanır. McFadden ve ekibi, katmanlı (nested) çoklu logit modeli (KÇLM) ve RYM yi daha duru hale getirerek bu modelleri BART³ projesinin etkilerini kestirmek amacıyla kullanmışlardır. Bu çalışmada BART'ın olası etkileri önceden tahmin edilmiş ve daha

¹Bazı kaynaklarda Gumbel dağılımı olarak da geçer. Aşırı değer teorisi E.J.Gumbel tarafından 1958'de ortaya atılmıştır. Üç tip aşırı değer dağılımı vardır. Bunlar; Tip-I (Gumbel), Tip-II (Frechet),Tip-III (Weibull) 'dur.

²National Science Foundation (Ulusal Bilim Vakfı)

³San Francisco Bay Area Rapid Transit

sonra BART'ın yapılmasından sonra modellerin başarımı karşılaştırılmıştır. McFadden ve ekibi türel dağılım taleplerini oldukça başarılı bir şekilde tahmin etmeyi başarmışlardır. BART projesinde yapılan tahminler birtakım hatalar içerse de, doğruluk bakımından özellikle 1973 yılındaki toplulaştırılmış çekim modeli kullanarak yapılan ve BART'ın payını %15 olarak kestiren modele göre son derece başarılı olmuştur.

Bireysel seçim modellerinin tarihsel gelişimi Şekil 3.1'da tarihsel sırayla verilmiştir.

3.2 Seçimin Ölçülmesi

Seçimin ölçülmesi için ilk hamle, kullanıcıya sunulan seçeneğin kaç defa seçildiğine bakmak olacaktır. Ancak seçeneklerin her birinin kaç defa seçildiği değil, seçim deneyimleri içinde hangi oranda seçildiği önemlidir. Zaten toplulaştırılmış sistem üzerinde çalışıldığından, seçeneğin bir piyasa seviyesinde seçim oranı, deterministik hesaplama yöntemleri açısından daha anlamlıdır. Bu şekilde, seçimi yapan insan sayısının önemi de kalmamaktadır. N sayılı bir toplumda, bir i seçeneği n_i kadar seçiliyorsa, bu oran aşağıdaki gibi gösterilir.

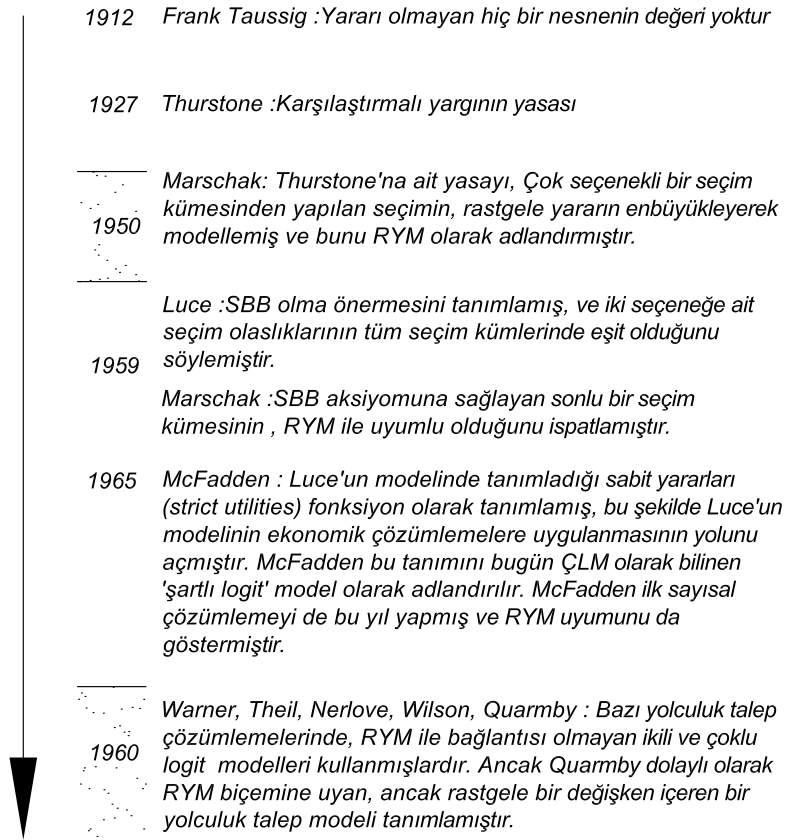
$$r_i = \frac{n_i}{N} \quad (3.1)$$

Diğer yandan rastgele modellemede oran, seçenek kümesi ve toplum (populasyon) üzerindeki seçim olasılıkları olarak tanımlanır.

Tanım 3.1. *Rastgele seçim olasılığı: Toplumdan rastgele seçilen bir bireyin, söz konusu olan seçeneği (i), diğer n elemanlı seçenekler kümesi (I) arasından seçme şansı (p_i) olarak tarif edilir. Örnekleme (S^t) seçimin yapıldığı zaman (t) kesitinde alınır.*

$$p_i^t = \frac{o_i^t}{S^t}, \forall i \in I, \sum_{i=1}^n p_i = 1 \quad (3.2)$$

Yukarıdaki tanım, resmin bütününe bakışı temsil eder. Peki aynı olasılık birey seviyesinde ne anlam taşır? Eğer j bireyi; sonlu sayıda N adet seçim yaparsa, bu seçimlerin ne kadarını (CN_i) i yi seçmek için kullanacağını ise p_i olasılığından bulabiliriz. Bireyin her seçimi bağımsız bir Bernoulli denemesidir ve seçimler arasında bir bağlantı yoktur.



Şekil 3.1: Bireysel seçim modellerinin gelişimi

Domencich,McFadden: Diamnon,Hall ve Mcfadden'e ait şartlı logit modeli kullanarak, çok-düzeyle bütçelerden ve ayrılabilir yararlarından oluşan bir yolcu talep sisteminin kestirimini yapmışlardır.	1970
Söz konusu sistem iş yolculuğu türel ayrımı, alışveriş etkinliği yaratımı, varışların ve türlerin çözümülenmesini içermekteydi.	
Ben-Akiva: Değişkenlerin katsayılarının kestirimi için log-toplam (log-sum) eşitliğini geliştirmiştir.	1972
McFadden,Williams,Daly ve Zachary, Ben-Akiva ve Lerman: I-ÇLM için bağımsız RYM çalışmaları yapmışlardır. McFadden'nin çözümlemeleri Genelleştirilmiş Aşırı Değer (GAD) (generalized extreme values) model ailesi ile sonuçlanmıştır.	1977
Williams-Daly-Zachary çözümlemesi, sosyal atık işlevinden, RYM uyumlu seçim modellerinin türetilmesi ilkelerini tanımlamıştır. Bu çözümleme, RYM tabanlı modeller ile razı olunanabilecek ödeme arasında bir ilişki kurmuştur.	
Ben-Akiva,McFadden: RYM çerçevesinde, sunulmuş tercihler (stated preferences) ve mevcut tercihler (revealed preferences) tekniklerini birleştiren, çoklu-göstergelere karşılık çoklu-sonuçlar (ÇGÇS) (multiple-indicator,multiple-casue) modelini geliştirmişlerdir.	
Morikawa:ÇGÇS modelini bir adım öne daha geliştirmiş, ve Hollanda'da şehirler arası yolculuk talebinin modellenmesinde kullanmıştır.	1984
1970 - Hensler, Loviere and others: Sunulmuş tercihler yöntemi ile veri toplanmasını daha da geliştirerek piyasa çözümlemeleri için kullanılan bir yöntem olarak kabul ettirmişlerdir.	
McFadden: Çoklu probit model ve diğer seçim modellerinin kolay çözümünebilmesi için benzeşim yöntemleri bulmuştur.	1989
RYM'ne uygun kapalı ve açık biçimdeki seçim modellerinin geliştirilip kullanıldığı yıllardır. Bunlar GADM, değişkenleri karıştırılmış ÇLM ve I-ÇLM dir.	1990
Ekonomistler ve psikologlar RYM'nin bilişsel temellerini ve RYM'ne seçenek oluşturan davranışsal başka modeller keşfetmişlerdir.	

Şekil 3.2: Bireysel Seçim modellerinin gelişimi (Devam)

$$CN_i = p_i N, \forall i \in I \quad (3.3)$$

3.2.1 Deterministik Seçim

Kullanıcı seviyesinde, deterministik bir seçim fonksiyonu;

$$V(i) = A_i X_i, \forall i \in I \quad (3.4)$$

doğrusal fonksiyonu ile tanımlanır (doğrusal olmak zorunda değildir). $V(i)$ fonksiyonu üretim ve talep değişkenlerini içerir. Eşitlik 3.4’de X_i seçimi etkileyen talep ve üretim değişkenleri vektörü, A_i ise her değişkenin seçim üzerindeki etki gücünü gösteren katsayı vektörünü temsil eder.

Burada, Bölüm 2’deki talep teorisine çağrışım yapıldığında, $V(\cdot)$ seçim fonksiyonunu da yarar fonksiyonu gibi kabul edersek, bireyin kendisine en yüksek V değerini veren seçeneği seçeceğini söyleyebiliriz. Sonuç olarak deterministik bir seçim modeli;

$$\text{Eğer } V(j) = \max_{i \in I} [V(i)] \text{ ise } j \text{ seçilir.} \quad (3.5)$$

olur. $V(\cdot)$ fonksiyonunu oluşturan A vektöründeki katsayıların işaretlerini belirlemek için en kolay yol sırayla, işareti incelenen değişkenler haricinde diğer değişkenleri sabit tutup yararı enbüyükleyecek işareti seçmektir. Örnek olarak; $V(\cdot)$ fonksiyonu, bir yolcunun yol seçimini belirlesin. Fonksiyondaki değişkenler maliyet, kapasite ve buna benzer ilgili değişkenlerin aynı olduğunda, iki yoldan birini seçen yolcu zaman değişkeni karşısında en kısa olanı seçer. Bu durumda zaman *yararı azaltan* bir etken olduğundan, işareti fonksiyonda eksi (-) olmalıdır. Ancak fonksiyon yolcu seviyesinde olduğundan her k yolcusu için A vektöründeki katsayılar farklı olur. Bu, aynı şartlarda insanların aynı değişkenleri farklı algılamalarından kaynaklanır. Bu nedenle her $i \in I$ için $V_k(\cdot)$ fonksiyonu tanımlanır. Bu fonksiyonlar daha sonra çeşitli yöntemlerle sistemdeki genel seçimi yansıtacak şekilde, bireysel talep fonksiyonları gibi toplulaştırılırlar (Bkz. Sf. 32).

Ancak, deterministik modeller yapılarındaki basitliğe rağmen, gerçek davranışı yansıtması fazla çaba isteyen bir yöntemdir. Bir toplumdaki her bireyin farklı davranacağını kabul etmek, toplumun mümkün hatta tamamının gözlenmesini gerektirir. Bireyler arasındaki değişkenliği her bireyi gözleyerek saptamak son derece

zor hatta büyük ölçekteki çalışmalarda imkansızdır.

”Denizin tuzlu olup olmadığını anlamak için tamamını ölçmeye gerek yoktur. Bir kaşık tümünü ölçmek için yeterlidir”

Yukarıdaki cümle, istatistikçilerin kendi alanlarını tanımlamak için kullandıkları bir örnektir. Bu nedenle, bir ulaştırma sistemi içinde yolcuların davranışını bulmak için tüm toplum yerine içinden rastgele seçeceğimiz sınırlı sayıda örnekle de aynı işi yapabiliriz. Bu nedenle, deterministik yerine rastgele modeller ulaştırma planlamasında kullanılır.

3.2.2 Rastgele Seçim Modeli

Kanafani [10] deterministik modellerin, gerçek hayata uygulanmasındaki zorlukları üç ana başlık altında listelemiştir.

1. Her birey kendine özgü bir mizaca sahiptir. Ayrıca bireyler sürekli olarak akılcı bir davranış süreci içinde değillerdir. Bu nedenle deterministik modeller bu iki belirsizlik nedeniyle doğru tahminler yapmaları güçtür.
2. $V(\cdot)$ fonksiyonuna davranışı etkileyen her değişkeni dahil etmek imkansızdır. Böyle bir fonksiyon yapılandırılrsa bile kullanışlı olmaz.
3. Bilgi ya da algılamadaki eksiklik; Ulaştırma türlerine ait özellikler ya da seçenekler, çoğu zaman kullanıcılar tarafından doğru algılanıp iyi değerlendirilemez. Gerçekte I seçenek kümesinde belirlenenden daha farklı bir seçenek kümesi kullanıcı tarafından algılanabilir.

Rastgele yaklaşımda ise, $V(\cdot)$ sayı ölçeği üreten bir fonksiyon yerine, değişkenlerin değerleri karşısında olasılık üreten rastgele bir fonksiyon kullanmak olur. Bu fonksiyon; $V(\cdot)$ nin değerlerine göre her kullanıcı için ilgili seçeneği seçme olasılığı üreten bir fonksiyondur. Tümünden gelirse, her kullanıcı için aynı şartlar altında $V(\cdot)$ fonksiyonun farklı olduğunu gösteren $U(\cdot)$ adında yeni bir fonksiyon tanımlarız. Bu yeni fonksiyon ‘*rastgele yarar fonksiyonu*’ olarak adlandırılır.

$$U(i) = V(i) + \varepsilon(i) \quad (3.6)$$

Yeni fonksiyonun $V(i)$ den farklı olarak barındırdığı $\varepsilon(i)$ terimi rastgeleliği temsil eder. Bu terimin istatistik bir dağılıma uyduğu varsayılarak seçim olasılıkları bulunur. Rastgele seçim süreçlerinin yapısını belirleyen de $\varepsilon(i)$ nin dağılımıdır. $\varepsilon(i)$ terimi bazen *hata terimi* olarak da anılır.

Eşitlik 3.7'deki $V(i)$ nin nasıl bir fonksiyon olacağı ve hangi değişkenleri içereceği davranış varsayımlarıyla ve gözlemlerle belirlenir. Geri kalan hata terimi $\varepsilon(i)$ nin gözlenerek belirlenmesi çok zor ve pahalı bir süreçtir. Bunun nedeni, $\varepsilon(i)$ nin belirlenmesi için aynı kullanıcının, aynı şartlardaki yeter sayıda seçimlerinin gözlenerek sapmaya ait dağılımının hesaplaması gereğidir. Ulaştırma planlamasında böyle bir gözlemin yapılması ise çok zordur. Bu nedenle $\varepsilon(i)$ nin olasılık dağılımının nasıl olacağına önceden karar verilir. Seçilen dağılım fonksiyonunun türü, yolcunun algılamasını nasıl varsaydığımızı da gösterir.

Rastgele süreçlerde, sayı ölçeği değil bir olasılık değerine ulaştığımızdan bahsetmiştik. Ancak eşitlik 3.7 bize böyle bir olasılık vermekten uzaktır. Bu olasılığı türetmek için aşağıdaki yolu izleriz.

Teorem 3.1. $U(\cdot)$ fonksiyonuna dayanan bir seçim modelinde, bir yolcunun i yi seçmesi, yolcunun algıladığı $U(i)$ değerinin I seçenek kümesindeki tüm $U(j \in I), j \neq i$ den büyük olmasına bağlıdır.

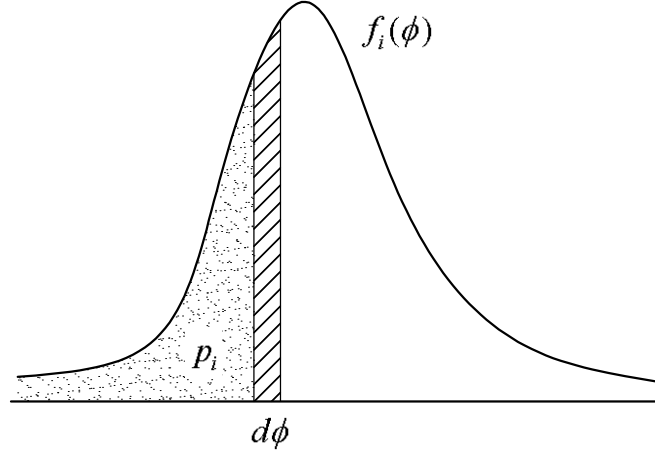
Yukarıdaki varsayıma göre, i seçeneğinin seçim olasılığı,

$$p(i) = p[U(i) > U(j) , \forall j \neq i] \quad (3.7)$$

şartı altında gerçekleşir .

$$\begin{aligned} p(i) &= [V(i) + e(i) > V(j) + e(j) , \forall j \neq i] \\ &= p[e(j) < V(i) - V(j) + e(i) , \forall j \neq i] \\ &= \int_{e(i)} F[V(i) - V(j) + e(i) , \forall j \neq i] f_i(\phi) d\phi \end{aligned} \quad (3.8)$$

Yukarıda $F(\cdot)$, $[e(i), e(j), \dots]$ tüm seçeneklere ait hatalarının dağılım fonksiyonu, $f_i(\phi)$, $e(i)$ ye ait marjinal yoğunluk fonksiyonunu gösterir (Şekil 3.3). Seçim modelinin basitliği ile karmaşıklığı bu fonksiyonların seçimine bağlıdır. Ulaştırma planlamasında bu fonksiyonlara bağlı olarak *logit* ve *probit* olarak adlandırılan iki model kullanılır. Bu modelleri tanımlamadan ve incelemeden önce, bir sonraki, bölümde *ekonometrik seçim modelleri* olarak anılan bu modeller ayrıntılı olarak incelenecektir.



Şekil 3.3: i 'nin seçim olasılığı

3.3 Ekonometrik Seçim Modelleri

Ulaştırma planlamacılarının temel sorunlarından birisi, yeni ulaşırma politikalarının ulaşırma talepleri üstündeki etkisini tahmin etmeye çalışmaktır. 1973 den öncesinde ulaşırma talepleri tahmininde doğrudan toplulaştırılmış modeller kullanılmaktaydı. 1973 yılında McFadden'in bireysel karar modellerini ulaşırmaya uyarlaması ulaşırma taleplerinin hesabı için bir devrim olmuştur. Bireysel karar modellerinde, tahminler birey düzeyinde yapılmakta ve elde edilen sonuçlar toplulaştırılarak ulaşırma talepleri kestirilmektedir. İnceleme ve deneysel çalışmalar bireysel karar modellerinin diğer geleneksel ulaşırma taleplerine olan üstünlüğü kanıtlanmıştır [12].

Kent içi ulaşırma talebi, kent içinde ulaşırma sistemlerini kullanan her bireyin kendine has özelliklerle ve ulaşırma sisteminin özelliklerine göre aldıkları bireysel kararların toplamından oluşur. Bireylerin karar süreçlerinin karmaşıklığından birçok defa bahsetmiştik . Ulaşırma açısından, yolcular aşağıda aldıkları kararlar sonucunda ulaşırma taleplerini belirler. Bunlar;

- Yolculuk amacı
- Sıklık (frekans)
- Zamanlama
- Varış noktası
- Ulaşım türü

Seçim modelleri Bölüm 2'de bahsettiğimiz talep modelleriyle büyük benzerlikler taşır. Piyasa taleplerinin hesabı için, piyasanın bağdaşık parçalara ayrılması, seçim

modelleri için de gerekli bir işlemdir. Seçim modellerinde, genel ulaştırma taleplerinin bulmak için yolcuların oluşturduğu toplum, bağdaşık parçalara ayrılır. Her bağdaşık parça, benzer sosyo-ekonomik özellikler taşıyan bireylerden oluşur.

Ulaştırma taleplerinin tahminine davranışsal yaklaşım, bağdaşık parçalardaki davranışın dağılımının yer ve zamandan bağımsız olduğunu varsayar [12]. Örneğin, orta gelir grubunu temsil eden bir bağdaşık parçaya üye bir birey, haftanın farklı günlerinde ve farklı bölgelerde davranışında bir sapma göstermez.

Teorem 3.2. *Ulaştırma talepleri tüm bağdaşık parçalardaki taleplerin toplamına eşittir.*

İki bölge arasında bir yolculuk talebi olduğunda, bu yolculuk talebinin türel dağılımını bulmak için, talebi oluşturan toplumu bağdaşık sonlu sayıda parçaya böleriz. Toplulaştırılmış bir türe ait ulaştırma talebi için aşağıdaki dilsel eşitlik yazılır.

$$\begin{aligned} \left[\begin{array}{c} \text{Türün} \\ \text{toplulaştırılmış sayısı} \end{array} \right] &= \left[\begin{array}{c} \text{Türün} \\ \text{ilk parçadaki oranı} \end{array} \right] \times \left[\begin{array}{c} \text{ilk parçaki} \\ \text{tüm türlerin sayısı} \end{array} \right] + \\ &\left[\begin{array}{c} \text{Türün} \\ \text{ikinci parçadaki oranı} \end{array} \right] \times \left[\begin{array}{c} \text{ikinci parçadaki} \\ \text{tüm türlerin sayısı} \end{array} \right] + \\ &\dots + \left[\begin{array}{c} \text{Türün} \\ \text{son parçadaki oranı} \end{array} \right] \times \left[\begin{array}{c} \text{son parçadaki} \\ \text{tüm türlerin sayısı} \end{array} \right] \end{aligned}$$

Yukarıdaki sözel denklemi matematiksel olarak aşağıdaki gibi yazarız.

$$Q(i) = \sum_{n=1}^N P(i|HD_n, SE_n) p(HD_n, SE_n) \quad (3.9)$$

HD_n :Herhangi bir n alt-parçadaki hizmet düzeyi değişkenleri

SE_n : n e ait sosyo-ekonomik değişkenleri

$p(HD_n, SE_n)$: n e ait nüfusun toplumun nüfusuna oranını

$P(i|HD_n, SE_n)$: n alt-parçasına ait i türünün talebi

3.9 nolu eşitliğe istatistik penceresinden bakarsak, $P(i|HD, SE)$; gözlenen HD ve SE değişken takımlarının dağılımına göre seçim olasılığını gösterir. 3.9'zu buna göre tekrar düzenlersek aşağıdaki denklem elde edilir.

$$Q = \sum_{i=1}^j \sum_{n=1}^N \delta(i) P(i|HD_n, SE_n) p(HD_n, SE_n) \quad (3.10)$$

$\delta(i)$: i türüne ait yolculuk talebi
 Q : toplulaştırılmış ulaştırma talebi

3.3.1 Bireysel Seçim Modellerinin Yapısı

Klasik ekonomi teorisi, bireylerin akılcı ilkelere göre karar aldıklarını ve kendilerine sunulan seçenekleri de bu ilkelere göre değerlendirdiğini kabul eder.

Ancak salt akılcı davranış ilkesiyle seçim modellerini kurgulamak yerine, öğrenme ve algılama hataları gibi psikolojik etkenlerin de modele dahil edilmesi, bireysel seçim modellerinin başarımını arttırmaktadır [12].

Türel ayırım olarak tanımladığımız model, insan davranışı ile ulaştırma arasındaki ilişkiye dayanır. Türel ayırım modelleri, yolcuyu klasik ekonomideki tüketici gibi düşünür. Her yolcunun bir yarar fonksiyonu vardır. Ancak ulaştırma talebinin başka bir talebin türevi olması, klasik ekonomik teorideki bütçe kısıtı kavramını tek başına türel ayırım modelleri için kullanılmasını engeller. Yolcunun farklı bölgelerdeki tüketim ve iş etkinlikleri ve ulaştırma sisteminin özelliklerini içeren kısıtların da hesaba dahil edilmesi gerekir.

McFadden [12] ekonomik yolcu modelini, Court-Griliches-Becher-Lancaster tüketim-etkinliği hanehalkı-üretim modeli kapsamında incelemiştir. Bu teoriye göre, bireyin istekleri bir seri halinde dizilmiştir. Söz gelişi, 'yemek', 'içmek' ve 'dinlenme' ihtiyaçları önem sıralarına göre yerlerine getirilir. Bireyin yararı, bu seri ihtiyaçların hangi düzeyde karşılandığıyla ölçülür.

Tanım 3.2. *Tüketicinin yaşam sürecini $v = 1, 2, \dots, H$ sayıdaki dönemlere ayıralım. w_v ise v dönemindeki tüketicinin tatminini gösteren sonlu elemanlı bir vektör ise, bireyin hayatı boyunca elde ettiği tatmin $w = (w_1, w_2, \dots, w_H)$ eşit olur.*

Yukarıdaki tanımda, bireyin tatmin etmek istediği ihtiyaçları daha önceden belirlenmiştir.

Tanım 3.3. *Eğer s , bireyin tatmini etkileyen sosyal ve çevresel değişkenler olarak varsayılırsa, bireysel yarar fonksiyonu $r = W(w, s)$ ile tanımlanır.*

Teorem 3.3. *Bir tüketim etkinliği, Ω uzayında tanımlanan sonlu bir vektördür. Eğer $a \in \Omega$ ile tanımlanan bir tüketim vektörü olursa, bunu kullanan bireyin tatmin seviyesi $w = Ma$ ile, sonlu özellikler vektörü ise $x = Na$ ile gösterilir. M ve N doğrusal dönüşümü göstermektedir. Eğer A , Ω uzayında etkinliklerinden oluşan bir kümeysse, bir tüketici aşağıdaki problemi kendi yararını enbüyüklemek için çözmek zorundadır.*

$$\max_{a \in A} W(Ma, s) \quad (3.11)$$

Oluşmuş ve gözlenmiş bir talep için, teorik x vektörü, $x^* = Na^*$ olur. Bu vektörde; a enbüyüklenmiştir, çünkü tüketici kendisi için eniyi seçeneği seçmiş ve kullanmıştır. Her x özellik vektörü, sadece bir etkinliği gösteren a vektörüyle tanımlanır. N doğrusal dönüşümü ise, determinantı sıfır olamayan (non-singular) yani tersi alınabilen bir matristir. Yolcuya sunulan tüm seçenekler, gözlenen a özellik vektörü cinsinden aşağıdaki gibi tanımlanır.

Yarar eşitliği yaklaşık olarak;

$$u = U(x, s) \equiv W(MN^{-1}x, s)$$

ile ifade edilir. Böylelikle 3.11 numaralı eşitliği, yukarıdaki tanıma göre tekrar yazarsak;

$$\max_{x \in B} U(x, s) \quad (3.13)$$

elde edilir. Ancak yukarıdaki eşitlik davranışı modellemek için yeterli değildir. Bu nedenle 3.13 numaralı eşitlikten, birden çok seçeneği kapsayan bir seçim modelini oluşturmak için yarar fonksiyonu ve bütçe kısıtlarının yapısal olarak daha tanımlanabilir şekle gelmesi gerekir.

Ulaştırma içinde bir yolcunun yararı, seçeneklerin hizmet düzeyleri cinsinden değişkenlerle ifade edilen bir fonksiyonla tarif edilir. Yarar aynı zamanda, yukarıda bahsettiğimiz gibi kişisel bir tatmin de olduğundan, yolcuların sosyo-ekonomik özellikleri ve özyapılarına da bağlıdır.

Bireylere ait tüm sosyo-ekonomik özellikleri gözlemek ve belirlemek ya çok zordur ya da imkansızdır. Örneğin gelir ve yolculuk zamanını belirlemek mümkünken, yolcunun aracın gürültüsünden ne kadar etkilendiğini ve bunu kararlarına nasıl yansıttığını belirlemek oldukça zordur.

3.3.2 Tür Seçimini Etkileyen Parametreler

Daha önce bahsettiğimiz gibi, bu değişkenler, bireyin sosyo-ekonomik yapısı ile ilgili ve ulaştırma türünün hizmet seviyesi ile ilgili olmak üzere iki ayrı grup halinde incelenir. Ayrıca değişkenlerin tür seçimi üzerinde farklı etki güçleri vardır (Tablo 3.1).

Tablo 3.1: Tür seçimini etkileyen değişkenler ve etki şiddetleri

Etki Şiddeti	Değişken
ÇOK YÜKSEK	Yolculuk maliyeti Araç içinde geçen süre Yürüyüş süresi Aktarma için bekleme süresi Toplu taşıma takip süresi Hane halkının araç sayısı Mümkün seçeneklerin belirginliği (işin özel araç gerektirmesi vb.) Ücret
YÜKSEK	Aktarma sayısı Aile hiyerarşisinde kullanıcının yeri İş yeri bölgesindeki iş yoğunluğu Konutun şehir dışı ya da şehirde bulunması Aile yapısı (çalışan, öğrenci, çekirdek vb.)
BELİRSİZ	Ailenin toplam geliri Kullanıcının yaşadığı konut bölgesinin nüfusu Yaşanan bölgeye ait merkezi iş bölgesinin konumu Evdeki çalışan sayısı Aile reisinin yaşı Ulaştırma türünün sağlanabilirliği Konforun, güvenilirliğin ve elverişliliğin algılanması
DÜŞÜK	Merkezi işyerinin konumu Kullanıcının cinsiyeti Kullanıcının yaşı Aile reisinin kariyeri Güvenirlilik, gecikme ve özel yaşamla ilgili genel özellikler

Kaynak: [13], [14]

3.3.3 Bağdaşık Alt-piyasaların Davranışı

Toplulaştırılmamış bireysel düzeydeki seçim modelleri, yararı etkileyen ancak gözlenemeyen değişkenlerin bir hata terimiyle gösterilmesi ve bu hata terimine ait olasılık dağılımının belirlenmesiyle oluşturulur [12]. Bu olasılık dağılımı, *seçim olasılıkları*, temsil ettiği grubun enbüyüklenmiş yararları altında kestirilmesi için kullanılır.

Bağdaşık alt-piyasalardaki tüm bireylerin yararlarının⁴ ortalaması, *ortalama yarar* olarak anılır. Bağdaşık bir piyasanın ortalama yararı, gözlenemeyen değişkenlerin değerlerine değil, gözlenemeyen değişkenlerin dağılımının belirlenmesine bağlıdır[12]. Bağdaşık alt-piyasada tanımlanan bir bireyin yararı, bu alt-piyasadaki ortalama yarar ile bireyin kendisine ve seçeneğe ait gözlenemeyen değişkenlerden kaynaklanan sapmanın toplamıyla ilişkilendirilir.

$$u_i(HD^i, UH^i, SE, USE) \quad (3.14)$$

HD^i :gözlenen hizmet düzeyi değişken vektörü

UH^i :gözlenemeyen hizmet düzeyi değişken vektörü

SE :gözlenen sosyo-ekonomik değişken vektörü

USE :gözlenemeyen sosyo-ekonomik değişken vektörü

Yukarıdaki eşitlikte; $i = 1, 2, \dots, J$ adet seçenek arasından, i seçeneğinin hizmet düzeyi ve sosyo ekonomik değişkenler cinsinden yarar fonksiyonunu simgeler. i seçeneğinin seçim olasılığı, i seçeneğinin gözlenemeyen değişkenlerinin diğer seçeneklerin gözlenemeyen değişkenlerinden yüksek görülme sıklığıdır (Bkz. sf. 47). Bu olasılık;

$$P(i|HD, SE) = Prob \{(UH^1, \dots, UH^J, USE)|U(HD^i, UH^i, SE, USE) > U(HD^j, UH^j, SE, USE) \quad , j = 1, \dots, J \text{ ve } j \neq i\} \quad (3.15)$$

olarak yazılır. $HD = (HD^1, HD^2, \dots, HD^J)$ ve $Prob$, gözlenemeyen değişkenlerin olasılık dağılımını gösterir. Eşitlik 3.14 'teki yarar fonksiyonu, belirsizliğin dahil olduğu haliyle şu şekle dönüşür.

$$U(HD^i, UH^i, SE, USE) = V(HD^i, SE) + \epsilon(UH^i, USE; HD^i, SE) \quad (3.16)$$

V , incelenen bağdaşık alt-piyasanın (HD, SE) gözlemleri altındaki ortalama yararını gösterirken, $\epsilon(UH^i, USE; HD^i, SE)$ ise UH^i ve USE 'nin ait olduğu olasılık dağılımına göre ortalama sapmasını temsil eder. 3.15 nolu eşitlik daha sade haliyle aşağıdaki şekilde yazılır.

⁴Yarar, sıra ölçeği ile belirlendiğinde, yararların farkları değil işaretleri önemli olur. bu şekilde ölçülen yarar için bir sıradan bir ortalama işlemi yapılamaz.

$$P(i|HD, SE) = \text{Prob}\{v_i + \epsilon_i > v_j + \epsilon_j \quad j = 1, \dots \text{ ve } j \neq i\} \quad (3.17)$$

$$v_i = V(HD^i, SE) \quad (3.18)$$

3.3.4 Bireysel Tür Seçimi Model Tipleri

Çoklu-Logit Model (ÇLM)

Bireysel seçim modeli temel yapısında, gözlenemeyen değişkenlerin dağılımının (daha önce hatalar olarak da söz edilmişti) seçimi, modelin türünü belirler. Bu nedenle dağılımın seçimi son derece önemlidir. Eğer dağılımı, basitlik adına düzgün (uniform) bir dağılım varsayarsak, elde edeceğimiz seçim olasılıkları hiç bir anlam ifade etmeyecektir. Çok daha karmaşık bir dağılım seçimi ise, kullanılması çok zor ve karmaşık eşitlikler yaratabileceği gibi modelin kalibrasyonunu son derecede zorlaştırabilir.

ÇLM dayanan seçim olasılığını veren eşitlik;

$$P(i|HD, SE) = \frac{e^{V(HD^i, SE)}}{\sum_{j=1}^J e^{V(HD^j, SE)}} \quad (3.19)$$

olarak yazılır. $i = 1, \dots, J$ dizini (indis) bireyin seçeneklerini gösterir. Eşitlikteki diğer ögeler;

HD^J : j seçeneğine ait gözlenen hizmet düzeyi değişkenleri

SE : bireyin gözlenen sosyo-ekonomik değişkenleri

HD : $(HD^1, \dots, HD^J)$

$V(HD^j, SE)$: j seçeneğine ait ortalama yarar

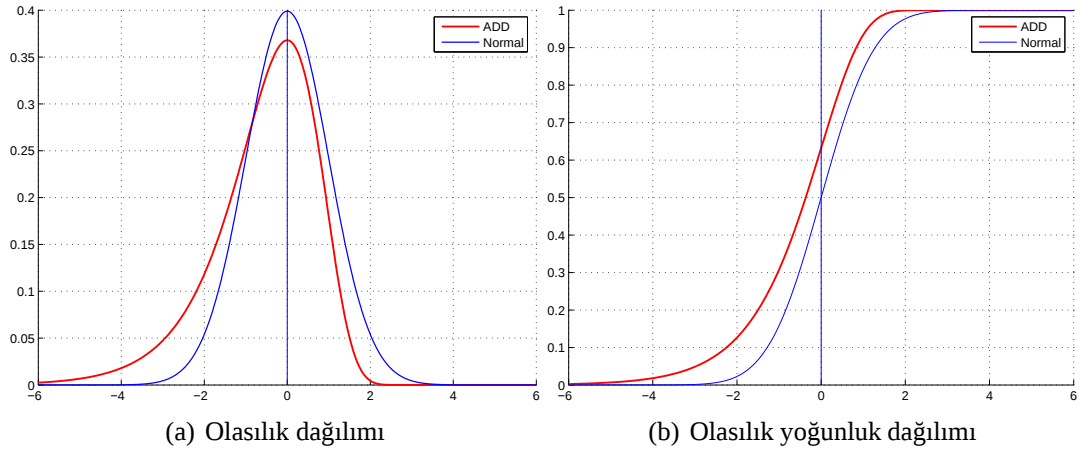
$P(i|HD, SE)$: i seçeneğine ait seçim olasılığı

ÇLM çıkarımına ulaşmak için dört ana varsayım yapılır [13].

1. Davranışın nedeni tam olarak gözlenemeyeceği için, bireylerin davranışı rastgele bir olaydır. Ancak bu rastgelelik, bireylere ait '*temsili yararlara*' U dayanan; istatistiksel kestirim modellerinden türler arası göreceli olasılıkların bulunmasıyla anlamlandırılır.
2. Gözlenen özellikleri benzer (SE) olan bireylerin oluşturduğu bir kümede, tatmin seviyesinde bir dalgalanma olmaz. (Başka bir deyişle, V ye ait değişken katsayıları aynı alt-piyasalar için sabit ve değişmezdir.)

3. U yarar fonksiyonunun hata değeri ya da gözlenemeyen değişkenleri temsil eden rastgele ögesi ε , tüm seçenekler için birbirinden bağımsızdır. Aynı kümedeki iki seçenekle ilgili bu değerin değişimleri arasında korelasyon yoktur.
4. Yarar fonksiyonunu oluşturan, deterministik parça ile rastgele parça arasında korelasyon yoktur.

Yukarıda sıralanan dört özellikten de anlaşılacağı gibi, ÇLM temel varsayımı seçeneklerin bağımsız olmasıdır (SBB). Kümedeki her bir seçenek tercih edilirken, diğer seçeneğin bu seçimi etkilemediği düşünülür.

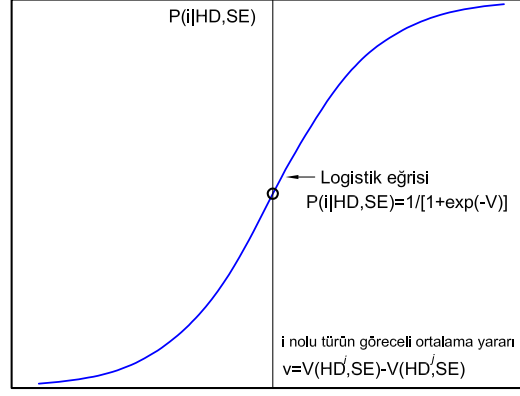


Şekil 3.4: Aşırı değer ve standart normal dağılımın karşılaştırılması

Sapmaların dağılımı ÇLM de *Tip-I aşırı değer dağılımıdır (ADD)*. Bu dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu S şeklindedir. Standart normal dağılımda (SND) olasılık yoğunluk fonksiyonu da S şeklindedir. Şekil 3.4 ikisi arasındaki farklar görülmektedir. ADD nin göze çarpan özelliği '0' değerine (ortalama) karşılık gelen olasılığın yüksek olmasıdır. Ayrıca ADD olasılık fonksiyonu, normal dağılıma göre çarpıktır ve sağ tarafın merkezden ikinci momenti soldan daha küçüktür [Şekil 3.4(a)].

ÇLM, sadece davranış problemi olan tür seçimin de kullanılan bir fonksiyon değildir. Şekil 3.5 da görülen ve adına *logistic eğrisi* denilen eğri, ulaşırmada sıklıkla toplulaştırılmış talepleri iki ulaştırma türü arasında dağıtmak için kullanılır. Örneğin, yolculuk dağıtımı için kullanılan tek kısıtlı toplulaştırılmış çekim modelini ele alalım.

$$N_{kj} = \frac{O_k A_j}{T_{kj}} \quad (3.20)$$



Şekil 3.5: Logistik eğri

N_{kj} : k bölgesinden j bölgesine yönelen yolculuk sayısı

A_j : j bölgesinin çekimi

T_{kj} : k ve j bölgesi arasındaki direnim

O_k : k bölgesinden kaynaklanan yolculukla, k bölgesinden dağıtılan yolculuğu eşitleme katsayısı

k bölgesinden herhangi bir i bölgesine yönelen yolculuğun türler arası dağılımı;

$$P(i|T_{k1}, ..., T_{kj}, A_j) = \frac{A_i/T_{ki}}{\sum_{j=1}^J A_j/T_{kj}} \quad (3.21)$$

ile bulunur. Yukarıdaki eşitlik, ortalama yararın ($V(HD^i, SE) = \log A_i - h \log T_{ki}$) olarak alındığı ÇLM 'yi(3.19) andırmaktadır. ÇLM bu açıdan; ulaştırma planlamacısının yakından tanıdığı, toplulaştırılmış yolculukların paylaşımını hesaplamak için kullandıkları, yolculuk yaratım ve dağıtım modelleridir [12].

Ancak gene de 3.21 daki gibi geleneksel modellere karşın, bireysel ayrık seçim kavramı içinde, ÇLM denklemini türetirken iki önemli fark gözetilir. Bunlar;

1. 3.19'daki $V(HD^i, SE)$ ile gösterilen ortalama yarar fonksiyonunun yapısı, bireyin ekonomik ve psikolojik değişkenlerini içerir. Yaratım, tarifelendirme, dağıtım ve tür-ayırımı gibi farklı ulaştırma seçimlerinde de yararın bu yapısı benzer şekilde korunur.
2. ÇLM'de kalibrasyon süreçleri, her bir bağdaşık alt-piyasa için tekil (toplulaştırılmamış) düzeyde yapılır.

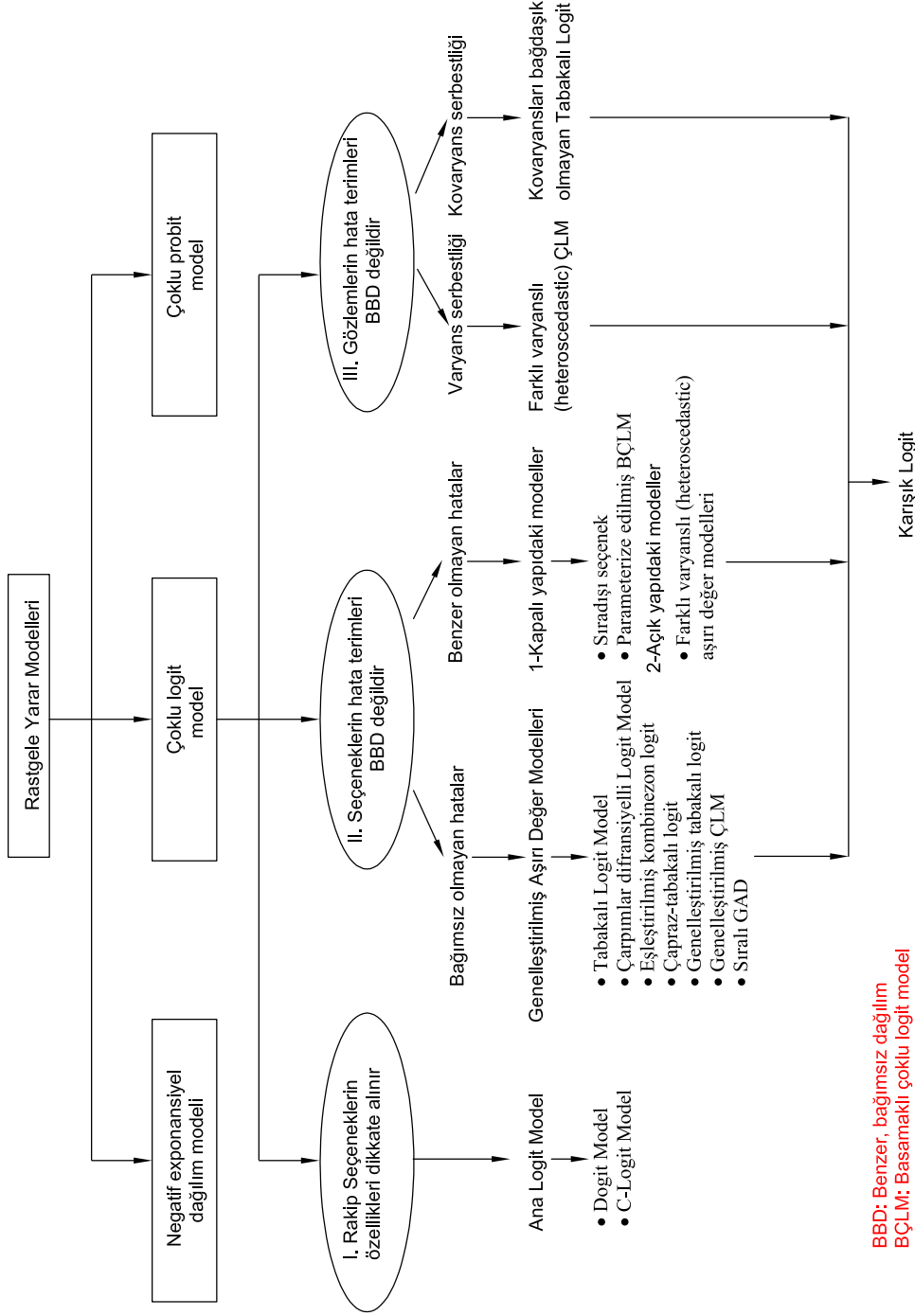
ÇLM'nin yapısındaki basitlik ve hesaplama kolaylıkları nedeniyle, deneysel tekil yolculuk talepleri çalışmalarında oldukça gözde olmuştur.

3.4 Diğer Bireysel Seçim Modelleri: SBB Varsayımı Yapılmamış Modeller

ÇLM nin başarımı bir çok deneysel çalışmayla kanıtlanmışsa da, seçimlerin birbirinden bağımsız olması (SBB) varsayımının beraberinde getirdiği bir takım olumsuzluklar vardır. SBB varsayımı, olayların gerçek bir şekilde modele yansıtılmasında bazı kısıtlamalar getirir. Yukarıda sürekli bahsedilen SBB özelliği, birbirine benzer seçeneklerin farklı seçenekler gibi değerlendirilmesine neden olmaktadır. Gerçekte seçim kümesinde bazı seçenekler arasında ortak yönler olabileceğinden, bunların karar verici tarafından göz ardı edilmesi oldukça zordur. Örneğin, Chipman ve Debreu ÇLM'nin ulaştırma uygulamalarında başarısız olduğu duruma örnek olarak, "kırmızı-otobüs" ve "mavi-otobüs" örneğini vermişlerdir. Kırmızı-otobüs mavi-otobüs durumu logit modelin zayıf noktasını anlatmak için kullanılan en çarpıcı örnektir. Buna göre eğer bir özel araç ve kırmızı otobüsten oluşan seçenekler arasından seçim yapan bir kullanıcının kırmızı-otobüsü seçme olasılığı 50% olduğunda, bu seçim kümesine rengi haricinde her şeyiyle eşit özellikte mavi bir otobüs eklersek, seçim olasılıkları nasıl değişir sorusuna logit modelin verdiği cevap, sözünü ettiğimiz kısıtlamayı açıklayacaktır. Mantıksal olarak, böyle benzer bir özelliğin seçeneklere eklenmesi, özel aracın seçim olasılığını değiştirmeyecektir. Ancak logit modele göre yeni seçim olasılıkları özel araç, kırmızı-otobüs, mavi otobüs için %33 olacaktır. Bu sonuç mantıksal bir hataya işaret etmektedir. SBB varsayımı nedeniyle, benzer seçeneklerin diğerlerinden bağımsız gibi düşünülmesi birbirinin aynı olan seçeneklerin yeni bir seçenek gibi değerlendirilmesine neden olur.

SBB kabulünün bu tür yanlış hesaplamalara yol açması, ya da ÇLM tahmin ve kestirimler açısından yetersiz kaldığı durumlar için farklı bireysel seçim modelleri geliştirilmiştir. ÇLM karşı geliştirilen ilk model katlı logit model (KLM) olmuştur. ÇLM'in temel önermesi olan SBB nin yarattığı kısıtlamayı aşmaya çalışan başka modeller de geliştirilmiştir. McFadden 1978 yılında Genelleştirilmiş Aşırı Değer Modelleri (GADM)⁵ ailesini tanımlamıştır.

GADM ailesi, SBB varsayımı ile KLM ve ÇLM lere ait çapraz esnekliklerin hesaplanmasının yarattığı kısıtlamaları, yararını enbüyükleyen akılcı tüketici tanımı içinde kalarak ortadan kaldırır. Bazı GADM lerin özellikle ulaştırma taleplerinin kestiriminde, ÇLM ve KLM lere göre istatistiksel üstünlükleri gözlenmiştir [15]. ÇLM'in, birbiri ile rekabet eden seçenekleri SBB özelliğinden dolayı göz önüne almaması, evrensel logit modeller yardımıyla aşılar. [16]'de RYM'nin kaynakları Şekil 3.6'deki gibi gösterilmiştir. Şekil 3.6'den de anlaşılacağı gibi modelleri geliştirilmesi



Şekil 3.6: Rastgele yarar modelleri

yapılan varsayımlara bağlıdır.

Eğer seçeneklere ait yarar fonksiyonlarını matris şekline getirirsek aşağıdaki ifade elde edilir;

$$\begin{bmatrix} U_{1n} \\ \cdot \\ \cdot \\ U_{jn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{1n} \\ \cdot \\ \cdot \\ V_{jn} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{1n} \\ \cdot \\ \cdot \\ \varepsilon_{jn} \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

Gene bu ifade kısaca aşağıdaki şekilde gösterilebilir.

$$U_n = V_n + \varepsilon_n$$

j , n seçim kümesindeki seçenek sayısı, ε_n rastgele değişkenleri temsil eden hata vektörüdür. Yukarıda bahsettiğimiz varsayımlar bu vektör üzerinden yapılır ve değişik davranış modelleri de buna göre geliştirilir.

3.4.1 Çoklu Probit Model

$\varepsilon_n \sim N(0, \Sigma)$ varsayımından türetilen seçim modeli probit model olarak adlandırılır. 3.22'deki biçim probit model için;

$$\begin{pmatrix} U_{1n} \\ \cdot \\ \cdot \\ U_{jn} \end{pmatrix} \sim \left[\begin{pmatrix} V_{1n} \\ \cdot \\ \cdot \\ V_{jn} \end{pmatrix} ; \begin{pmatrix} \sigma_{1n}^2 & \sigma_{12n} & \cdot & \sigma_{1jn} \\ \sigma_{12n} & \sigma_{2n}^2 & & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \sigma_{1jn} & \cdot & \cdot & \sigma_{jn}^2 \end{pmatrix} \right] \quad (3.23)$$

olur. σ terimlerinden oluşan matris, varyans-kovaryans matrisidir. Bu biçim bize, hata terimi vektörü ε_n nin ortalaması sıfır ve sonlu varyans-kovaryans matrisli, çoklu boyutlu normal dağılıma uyduğu varsayımını gösterir.

Ancak probit modelin uygulanması, logit model kadar kolay değildir. Çünkü logit modelin aksine genel bir kapalı biçimi yoktur ya da kullanılmayacak kadar karışıktır ve her durum için çok katlı integral çözümleri gerektirir. Çözümlemenin integral yerine nümerik çözümlemelerle yapılması ise her zaman uygun bir çözüm yöntemi olmaz.

⁵(Generalized Extreme Value, (GEV)

3.4.2 Genelleştirilmiş Aşırı Değer Modelleri (GADM)

McFadden[17] ayrık seçim modellerinden oluşan bir fonksiyon tanımlamıştır. Bu fonksiyondan farklı yapıda birçok ayrık seçim modeli türetmek mümkündür. Kabaca bu;

$$G : \mathbb{R}^J \rightarrow \mathbb{R}$$

dönüşümünü yapan bir fonksiyondur. G fonksiyonu ile aşağıdaki işlemler yapılabilir.

- ε_n 'ne ait yoğunluk dağılım fonksiyonu
- Olasılık modeli
- Beklenen enbüyük yarar

McFadden böyle bir fonksiyonun varlığı için fonksiyona ait gereklilikler tanımlamıştır. Bunlar;

1. G ,derecesi $\mu > 0$ olan bağdaşık bir fonksiyondur.

$$G(\alpha x) = \alpha^\mu G(x)$$

2. Her bir $i = 1, \dots, J$ için,

$$\lim_{x_i \rightarrow +\infty} G(x_1, \dots, x_i, \dots, x_J) = +\infty$$

3. G fonksiyonu, x_i nin k nıncı parçalı türevi alındığında, eğer k tek sayı ise pozitif, çift sayı ise negatif olur. Yani; tüm $i_1, \dots, i_k \in \{1, \dots, J\}$ için

$$(-1)^k \frac{\partial^k G}{\partial x_{i_1} \dots \partial x_{i_k}}(x) \leq 0, \forall x \in \mathbb{R}_+^J$$

Bu özellikler altında G fonksiyonu ile aşağıdaki üç işlem gerçekleştirilir;

- Yoğunluk fonksiyonu;

$$F(\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_J) = e^{-G(e^{-\varepsilon_1}, \dots, e^{-\varepsilon_J})} \quad (3.24)$$

- Olasılık modeli: C seçim kümesinden bir i seçeneğinin seçilme olasılığına ait kapalı biçim;

$$P(i|C) = \frac{\partial V_C}{\partial V_i} \quad (3.25)$$

$$P(i|C) = \frac{e^{V_i + \ln G_i(e^{V_1}, \dots, e^{V_J})}}{\sum_{j \in C} e^{V_j + \ln G_j(e^{V_1}, \dots, e^{V_J})}} \quad (3.26)$$

$$G_i = \frac{\partial G}{\partial x_i} \quad (3.27)$$

- Beklenen en büyük yarar;

$$V_c = \frac{\ln G(\dots) + \gamma}{\mu} \quad (3.28)$$

γ :Euler sabiti

olarak yazılır.

McFadden GADM modellerini yaratmasındaki neden, ayrık seçim modellerinin tek bir fonksiyondan türetmektir. Örneğin yukarı da geniş olarak anlattığımız ÇLM’de aslında GADM model ailesinin bir üyesidir ve yukarıdaki önermelerden türetililebilir.

GAD Modelinden ÇLM türetilmesi

$$\begin{aligned} G(e^{V_1}, \dots, e^{V_J}) &= \sum_{i=1}^J e^{\mu V_i} \\ P(i) &= \frac{e^{V_i + \ln G_i(e^{V_1}, \dots, e^{V_J})}}{\sum_{j \in C} e^{V_j + \ln G_j(e^{V_1}, \dots, e^{V_J})}}, G_i(x) = \mu x_i^{\mu-1} \\ e^{V_i + \ln G_i(e^{V_1}, \dots, e^{V_J})} &= e^{V_i + \ln \mu + (\mu-1) \ln e^{V_i}} \\ &= e^{\ln \mu + \mu V_i} \\ P(i) &= \frac{e^{\ln \mu + \mu V_i}}{\sum_{j \in C} e^{\ln \mu + \mu V_j}} \\ P(i) &= \frac{e^{\mu V_i}}{\sum_{j \in C} e^{\mu V_j}} \end{aligned} \quad (3.29)$$

3.29 olarak bulunan eşitlik eğer $\mu = 1$ olursa, 3.19 de gösterilen ÇLM eşit olacaktır.

GAD Modelinden Tabakalı Logit Model Türetilmesi (TLM)

Tabakalı logit model, ÇLM'in aksine, benzer özellikteki seçenekler arasındaki ortak özelliği korelasyon ilişkisini göz önüne alır ve seçimde bu korelasyonun temsil ettiği benzerlik etkisini hesaba katar. Ancak bu model de aynı tabakada bulunan eşleştirilmiş seçenekler arasındaki çapraz-esnekliklerin, ÇLM'deki gibi aynı alması ele alınan problemin türüne göre gerçekçi olmayan sonuçlar üretebilir [18]. Bu nedenle, çapraz-esnekliklerin farklı alındığı modeller geliştirilmiştir (Şekil 3.6) .

$$G(y) = \sum_{m=1}^M \left(\sum_{i=1}^{J_m} y_i^{\mu_m} \right)^{\frac{\mu}{\mu_m}} \quad (3.30)$$

1.

$$G(\alpha y) = \sum_{m=1}^M \left(\sum_{i=1}^{J_m} (\alpha y_i)^{\mu_m} \right)^{\frac{\mu}{\mu_m}} = \alpha^\mu \sum_{m=1}^M \left(\sum_{i=1}^{J_m} y_i^{\mu_m} \right)^{\frac{\mu}{\mu_m}}$$

2.

$$\lim G(y) = +\infty, \quad i = 1, \dots, J$$

GAD Modelinden Çapraz Tabakalı Logit Modelin Türetilmesi (ÇTLM)

ÇTLM'lerin bir çok tipte olabilirler. ÇLM, Probit Model ya da TLM'nin aksine birden fazla kapalı biçimde ÇTLM vardır. Bunlar ;

- Small'ın Sıralı GAD Modeli (1987) : Ayrılış zamanlarını modellemek için türetilmiştir. Özelliği tabakalama için her seçeneneğe önceliğini gösteren bir sıra atamasıdır.

$$G(y_1, \dots, y_j) = \sum_{m=1}^{J+M} \left(\sum_{j \in B_m} w_{m-j} y_j^{1/\rho_m} \right)^{\rho_m} \quad (3.31)$$

$$\sum w_m = 1 \quad 0 < \rho_r \leq 1 \quad w_m \geq 0$$

$$B_m = \{j \in \{1, \dots, J\} | m - M \leq j \leq m\}$$

- Vovsha modeli (1997) : Tür seçimi için türetilmiştir.

$$G(y_1, \dots, y_j) = \sum_m \left(\sum_{j \in C} \alpha_{jm} y_j \right)^\mu \quad (3.32)$$

$$\sum_m \alpha_{im}^\mu = 1 \forall i \quad 0 \leq \alpha_{jm} \leq 1 \forall i, m$$

$$\sum_m \alpha_{jm} > 0 \forall j$$

- Vovsha ve Bekhor Modeli (1999) : Yol seçimi için türetilmiştir.

$$G(y_1, \dots, y_j) = \sum_m \left(\sum_{j \in C} \alpha_{jm}^{1/\mu} y_j^{1/\mu} \right)^\mu \quad (3.33)$$

$$\sum_m \alpha_{im} = 1 \forall i$$

$$0 \leq \alpha_{jm} \leq 1 \forall j, m$$

- Ben-Akiva ve Bierlaire Modeli (1999) :

$$G(y_1, \dots, y_j) = \sum_m \left(\sum_{j \in C} \alpha_{jm} y_j^{\mu_m} \right)^{\frac{\mu}{\mu_m}} \quad (3.34)$$

▲ Bierlaire (2001) :

$$\alpha_{jm} \geq 0 \forall j, m \quad \sum \alpha_{jm} > 0 \forall j$$

- Papola Modeli (2000) :

$$G(y_1, \dots, y_j) = \sum_m \left(\sum_{j \in C} \alpha_{jm}^{\frac{\theta_0}{\theta_m}} y_j^{\frac{1}{\theta_m}} \right)^{\frac{\theta_m}{\theta_0}} \quad (3.35)$$

$$\sum_m \alpha_{im} = 1 \forall i$$

Çapraz tabakalı logit modeller içinde, en çok kullanılanı, 3.34 ve 3.35 eşitliklerindeki Ben-Akiva- Bierlaire ile Papola'nın modelleridir.

4. BELİRSİZLİĞİN KAYNAĞI VE MODELLENMESİ

Bütün fikirler ve düşünceler diğerlerinden türemiş ve varolmuştur. Bernard Russell'ın klasik mantığa eleştirileri [19], Heisenberj'in yeni kuantum mekaniği bilimsel anlamda matematiği ve bilimi tekrar değerlendirmeye neden olmuş, gri dünyayı siyah-beyaz araçlarla tanımlamanın bilimsel maliyetini ortaya koymuştur.

Aristo;

"Her şey mutlak vardır ya da yoktur, bugün de ya da gelecekte de böyledir."

diyerek hayatı, düşünceyi maddeyi kesin sınırlara ayırmıştır. İnsanoğlunun düşünce yapısında etkili olan Yunan felsefesi ve Aristonun düşünceleri, bilimi ve uygarlığı uzun süre etkisi altına almış ve almaktadır. Düşünmeyi, deneyimleri, önermelere döken ve sistematik hale getiren Yunan felsefesi insan uygarlığının gelişmesi için büyük katkılar yapmıştır. Düşünme sistemi kazanan insanoğlunun problem çözme yeteneği gelişmiş, problemleri bir düzen içinde çözmeye başlamıştır. Yunan uygarlığından önce de problem çözme yeteneği olan insanoğlu, Antik Yunan felsefesiyle düşünmenin de bir sistematığının olduğunu farkına varmıştır. Bunun sonuçları ise bilimsel çalışma teknikleri ve bilimin gelişmesi olmuştur. Örneğin, eski Mısır'da, Mısırlılar Nil'in taşmasına karşı deneysel olarak elde ettikleri bilgileri, taşmaya karşı kanal hesaplarında kullanmışlar ve oldukça ileri sayılabilecek bir geometri geliştirmişlerdir. Ancak Mısırlılar bu bilgilere sistematik bir bütünlük içinde sahip olamamışlardır. Öklid (Eukleides) Mısırlıların sadece teknik ve pratik açıdan edindikleri bu bilgiyi, kuramlar ve önermeler tanımlayarak geometri bilimi haline getirmiştir. Yunan felsefesi düşün tarihinde diğerlerinden ayıran diğer önemli özellik, felsefeyi sadece din ve pratik amaçlar için değil doğruluğu ve gerçeği arayan bir araç olarak görmeleridir.

Tüm bu gelişmeler içinde, doğayı anlamaya çalışan insan, gene onun bize sunduğu verilerle sonuçlara varmak (tümevarım) ya da kuramlarını gene bu verilerle sınamak (tümdengelim) zorunda(ydı/dır). Bu aşamada bu verilerin değerlendirilmesi algılanması ve yorumlanması başlı başına düşünürleri meşgul etmeye başlamıştır. Çünkü gerçekte (gözlemler) düşünme sistematığı arasında uyumsuzluklar başlamıştır. Bunlar çoğu zaman verilerden kaynaklandığı gibi, düşünce sistematığı ya da her ikisi arasındaki uyumsuzluktan da oluşmaktadır. Belirsizlik olarak adlandırabileceğimiz bu durumun çözümlenmesi için yeni mantık ve yöntemler geliştirilmeye çalışılmıştır. Ancak günümüze kadar belirsizliğin nasıl düşünülmesi, bilimsel olarak nasıl temsil

edilmesi gerektiği zaman içinde sorgulanmış, bazı cevaplar çok ilgi görse de bazıları matematiksel olarak ifade edilmeyişinden dolayı iki-değerli Aristo mantığı altında ezilmekten kurtulamamışlardır. Bundan dolayı, tüm bilimsel yöntemler iki-değerli mantığa dayanan klasik küme teorisine uygunluğu sorgulanmak ve uygun olmak zorundadır. Bu, yukarıda bahsettiğimiz bilimsel örgünün (sistematğin) gereğidir. Bu nedenle farklı bir mantıksal düşünceye sahip bir düşüncenin kendi önermelerini tanımlamadan bilimsel olarak kullanılması ve ayakta kalması mümkün olmayacaktır(r).

Hayatın kesin sınırlara ayrılması ile bilginin kesin sınırlara sahip bir düzende incelenmesi farklı sonuçlar yaratması açısından ilginçtir. İnsan yaşamı boyunca, algılamasını , düşünmesini, davranışlarını yaklaşık bir biçimde sürdürür. Örneğin bir tabak yemeğin miktarında değişiklik yapmak istediğinizde *biraz* ya da *az* olsun demek, siz ile yemeği verecek kişi arasında iletişim için yeterli olacaktır. İnsan sevgisini de *çok* ya da *az* yaşayacak, ya da yardım istediğinde *çabuk* olunmasını arzu edebilecektir. Tüm insanlar felsefi bir düşünce mantığına (örneğin iki-değerli mantık) göre düşünmek zorunda değildir. Çok bilinen ve bir Rodoslunun ağzından çıkan;

”Bütün Rodoslular yalancıdır”

çıkmasını (paradoks) ele alalım. Aristo düşüncesine göre bu cümle; eğer sözün sahibi Rodoslu ise kabullenemez bir durumdur ve bu sözü söyleyen kişinin yalancı ya da doğru söyleyen kişi olması gerekir. Ancak, sözün sahibini bu iki kümeden birine atadığımızda, ne yalancıyı ne de doğruculuğu konusunda bir sonuca varmak mümkün olur. Ancak süregelen hayatta herhangi bir insan için bu sözün üzerinde durulması gereksiz olur. Çünkü çoğu insan, bazen bir yalancının bile arada sırada doğruyu söyleyebileceğini ya da tam tersini düşünerek bu insanı ne yalancılar kümesine ne de doğrucular kümesine atar. Buddha;

”Dünyanın ebedi sonsuz ya da sonlu olduğunu açıklamadım.

Dünyanın sonlu ya da sonsuz olduğunu da açıklamadım.”

demekle, bir şeyin ait olma durumuna yaklaşımına farklı yaklaşmıştır. Bu durumda eğer Rodos’lu adam yalancı değilse doğrucu da değildir. *A* veya *A değil*in yaratıcısı Aristoyla, *A* ve *A değil*’i ima eden Buddha matematik bilim ve mühendisliğin belli seviyelerinde yüzleşmişlerdir.

Yukarıda felsefenin gerçeği aradığından bahsetmiştik. Tüm bilimlerin kaynağının felsefe olduğunu söylersek, doğal olarak ulaştırma planlaması da gerçeği arar. Bizler bu gerçeği ararken bunu nasıl değerlendirdiğimiz öne çıkar. Önümüze çıkan rakamların ne derece gerçeği yansıttığı, sapmaların bizi ne derece gerçekten uzaklaştırdığını aramak yöntemlerimizi belirler. Bu nedenle bir sonraki bölümde gerçek kavramı üzerinde durulacaktır.

4.1 Gerçek Nedir?

4.1.1 Mantıksal Gerçek ve Fiziki Olaylara Dayanan Gerçek

Mantıksal doğru, "A veya A değil" veya " $1 + 1 = 2$ " gibi mantıksal ve matematiksel ilişkileri tanımlayan tüm ifadeler için kabul edilir. " $1 = 2$ " ifadesi mantıksal türde bir ifadedir, fakat bir mantık yalanı ve çelişkidir. Mantıksal doğru sembollerden ve bunların aralarındaki resmi ilişkiden oluşur. Mantıksal doğru dünyanın nasıl olduğuna ya da olmadığına bağlı değildir [20].

Fiziki olaylara dayalı doğru ise, uzay-zaman sürekliliği içerisinde muhtemel olayların bir alt kümesini tanımlayan ifadeler olarak kabul edilir. Bunlar bilim ve bilimsel romanlardır. "*Bugün yağmur yağı*" ve "*İnsanlık 2400 yıllarında hastalıkları yenecektir*" gibi cümleler fiziki olaylara dayanan doğrulardır.

Fakat "*yağmur yağmurdur*" bir gerçek değildir. "*Yağmur yağmurdur*" mantıksal bir doğrudur ve gereksiz tekrarlanan bir ifadedir. Bir ifade tüm durumlarda doğrudur. Burada gerçek, sadece kendisi ile ilintili olan kelimeler için geçerlidir ama hangi dünya için geçerli olduğu tanımlanmaz.

Birçok felsefeci, Aristoyu izlemekle olaylara dayalı doğrunun, bazı durumlarda gerçek bazen de yanlış olduğunu savunurlar. "*Yağmur yağıyor*" cümlesinde olduğu gibi bu söyleyiş içinde geçtiği yazıya göre doğrudur. Aristo bu durumu *olaylara dayalı gerçek ihtimali* ve *mantıksal gerçek gerekliliği* olarak adlandırmıştır. Mantıksal gerçek tüm durumlar için geçerlidir. Mantıksal yanlışlarda, tüm durumlar için hatalıdır.

İhtimal gerçeği (contegent), mantıksal yanlışlar ve doğrulardan oluşan ifadelerin karışımıdır. Felsefeciler çok sık olarak mantıksal doğru ve gerçek doğruyu tanımlamak için olası dünyaları kullanırlar. Olası bir dünyadan kasıt, olası uzay-zaman sürekliliğinde molekül ve atomların dizilişi ve bunları ifade eden bir sembolik ve biçimsel bir dünya yani matematiktir.

Uzay-zaman sürekliliğinde tüm bilğimiz uzay ve zamandır ve bir olası dünyayı tanımlar. O da yaşadığımız dünyadır. O zaman mantıksal olarak doğru olan ifadeler, tüm muhtemel dünyalar içinde doğrudur. Ancak gerçek doğrular ise bazı olası dünyalar için geçerli bir doğrudur. Bu dünya için bu bakış açısından yapacağımız her türlü çarpma, ekleme yapılan sayılar tüm dünyalarda geçerli olacaktır. Çünkü mantık ve matematik yasaları tüm dünyalar için geçerlidir. Ancak gözden kaçan bir şey vardır. Radyo ve TV sinyallerinin olmadığı dünyalar olduğu ve bu dünyalarda bildiğimiz fizik ve elektromanyetik yasaların hiç birinin geçerli olmadığıdır. Bu durumda bizim için gerçek olanın, evrenin diğer bir köşesinde geçerli olamayacağıdır [20]. Asla şüphe edilmeyen Newton yasalarının her madde için geçerli olmadığı ve bunun yerine kuantum fiziğin kullanılması bu duruma bir örnektir.

4.1.2 Tutarlılık ve Uyuşma

Mantıksal gerçek ile öz gerçek arasındaki ayırım, iki tane doğruluk varsayımı ile tanımlanır; *tutarlılık* ve *uyuşma*. Mantıksal gerçekler, gerçeğin tutarlılık teorisi içinde yer alır. " $1 + 1 = 2$ " ifadesi doğrudur. Çünkü bu matematik kuralları içinde tutarlılıkla uygulanır. "Bir Peri Masalı", "Küçük Deniz Kızı" gibi masallar da bir anlamda doğrudur. Çünkü bu masallar tutarlı ve kendi içinde karardır (istikrarlıdır). Sadece gerçeğe uyuşmamaktadır.

Matematiğin kendisi doğru ya da yanlış değildir. Biz sadece matematiği pratik çözümler için ret ya da kabul ederiz. Mantıksal nedenlerden dolayı bunu yapmayız. Bir sistemin içindeki söylemler, sistem hakkındaki söyleyişlerden farklı olabilir. Mesela sayılar gerçekten var mıdır? Sayılar mevcuttur söyleyişi matematik sistemi içinde doğrudur. Ancak bunun dışında bir anlamı var mıdır? Elimizde üç adet kaya parçası tutuyorsak, üç sayısını ezberlemenin, eğer kayaya sahip olmak yetiyorsa bir önemi var mıdır? . Biz bir sistemi tüm özellikleriyle birlikte bir bütün olarak alırız. Örneğin, otomobili aldığımız gibi; sadece tekerlekleri almak, arabayı kullanmak için yeterli değildir. Sonuç olarak matematik biçimsel bir dünyadan ibarettir. Gerçek matematiğin kendisi değil gerçeği aramak için yarattığımız kavramsal bir dünya, bir araçtır.

Matematik semboller kendi aralarında ilişkilendirilir. Matematik, bilgisayara benzer yapıda belli söz dizimlerine sahiptir. Bilgisayar bir varsayımın doğruluğunu bize gösterebilir fakat ne anlama geldiğini bilmez. Tüm biçimsel sistemler bu şekilde çalışır. Bunları uygulamak için çıkarım ya da yorum yapmak zorunluluğu yoktur. Ancak matematik gibi biçimsel bir dildeki ifadelerin doğru olması, kendi içindeki tüm kurallara uymasıyla mümkündür. Ancak bu da tek başına yeterli değildir. Çünkü bu kuralların da *tutarlı* olması gerekir.

Uyuşma teorisi bir ifade eğer gerçeklere uyuyorsa doğrudur der. "*Dünya dönüyor*" söylemi, dünya hâla dönüyorsa doğrudur. Ancak dünya dönmüyorsa doğru değildir. Doğru ifadeler, uzay-zaman sürekliliğiyle uyuşmalıdır. İfadeler, uzay-zamanın bir bölgesini veya yığını tanımlamalıdır. Farklı bir ifadeyle; doğru zamanda ve yerde doğru yığını tanımlamalıdır.

Polonyalı mantıkçı Alfred Tarski (1920 lerde başlarında , uyuşma teorisini kendisine ait ve çok ünlü olan, doğrunun ifade formülü ile açıklamıştır.

"İFADE" yalnız ve yalnız eğer İFADEYSE doğrudur"

Çift tırnak içindeki kelime varlığı kesinlikle kabul edilen bir tanımlamadır. Tırnak içinde olmayan kelime ise bir gerçeği tanımlar. Örneğin, "*Çimen yeşildir*" söyleyişi ancak ve ancak çimen yeşilse doğrudur. Çimen nesnesine atanan sözcüğün kendisinin

bir önemi yoktur. İfadenin farklı bir dilde farklı şekilde söylenmesi gerçeği değiştirmez.

Tutarlılık ve uyuma matematik ve bilim, mantık ve gerçek, gereklilik ve olabilirlik, söz dizimi ve anlambilimini yansıtır. Felsefeciler dil ve bilgisayar bilimciler mantık/gerçek ayrımı üzerine binlerce kitap ve makale yazmışlardır.

Her gerçeğe dayalı doğru ifadesi, gelecek bir deneyimde, hatalı bir tanımlama ve/veya sezgi nedeni ile yanlış çıkabilecek bir hipotezdir. Tanımdaki hata kelimesi, büyük oranda "ifadenin" doğru olmasına rağmen, yüzde yüz doğru olmaması nedeniyle, ifadenin kocaman bir yanlış çıkmasına yol açar. İşte burada, bilimsel metotlarda hatanın yaklaşık alınması gerçeği iki-değerli mantığın ciddi anlamda sorgulanmasına neden olur. Kosko[20] bulanık mantığa açılan kapının bu sorgulamadan geçtiğini söylemiştir.

Kosko [20], bulanık mantığın gerçeği doğruluk olarak gördüğünü, doğruluğun ise bir derece olduğunu, buna karşın; iki-değerli mantığa dayanan matematiğin tanımladığı yapay ifadelerin, %100 doğru ya da % 0 doğru olduğunu söylemiştir.

Ancak gerçek çoğu zaman çıplak bir biçimde ortaya çıkmaz. Gerçek bazen bir kısmını gösterir, bazen de belli aralıklarla tekrar eder. Ya da biz gerçeğin sadece bir kısmını görebilir ya da algılayabiliriz. Bu nedenle gerçek çoğu zaman belirsizlik içinde aranmak zorunda kalınır.

4.2 Belirsizlik ve Kesinsizlik

4.2.1 Kavram ve Tanımlar: Etmen ve Gerçek Uzay

Kesinsizlik ve belirsizlik, bir etmene sunulan/sunulmuş bilgi(lerden), etmenin¹ muhtemel uzaylar içinden gerçek uzayı saptaması ile ilgili iki kavramdır. Burada etmenden kasıt bir insan, bilgisayar programı ya da robot gibi bir varlıktır ve bu varlık, mükemmel olmayan veriler karşında çıkarım veya eylem yapar. Ancak bu yazıda, etmen yerine "biz" kelimesi tercih edilecektir. Yani, mükemmel olmayan veriler karşısında çıkarım yapacak varlık insan olacaktır.

Mevcut uzay, ω_0 ile gösterilen, tam tanımlanmış mevcut şartları simgeleyen, fakat bizim tarafımızdan bilinmeyen bir uzaydır. Bu uzay, *şartları, doğal durumu, değişken değerlerini* temsil eder.

'∠' kendi kendini tekrar eden sonlu sayıda önermelerden ve bu önermelerin yalanlamasıyla oluşan bir dildir. Sonsuz sayıda önermelerden oluşan bir dilde

¹etmen (ing. agent): Bir bilgi ya da etkiye göre/karşı bir eylemde bulunan varlık, insan, bilgisayar programı vb..

mümkündür ancak kullanımı oldukça zordur. Ω da çıkarımı $\angle$ 'ye benzeyen alt uzaylardan oluşmuş evrensel kümedir. Ω aynı zamanda sezginin veya bilişsel çıkarımın sınırlarını çizer. $\angle$ 'ya ait hiçbir önerme çifti, Ω i içindeki aynı uzayı işaret etmez. $\angle$ içindeki bir önerme, Ω içinde tanımlı olan sadece bir alt uzayda doğrudur ve diğerlerinde yanlıştır. Ω içinde tanımlı olan bir alt uzay bizim için çok özeldir. Çünkü bu alt uzay bizim gerçek uzayımız ω_0 benzemektedir. Bize sunulan bilgi mükemmel olmadığından, muhtemel uzaylar içinde hangisinin gerçek uzay olduğunu bilmemiz mümkün değildir. Bu nedenle gerçek uzayın hangisi olduğu konusunda sadece *düşüncemizi* belirtebiliriz.

Gerçek uzay tek ve mükemmel şekilde tanımlanmış varlık/kavram dır. Ancak bu uzay ait bilgimiz tam ve eksiksiz olmaz. Kesinliksiz ve/veya belirsizliğin gerçeğin bir özelliği olması, felsefi açıdan tartışmaya açıktır. Antik Yunan'dan beri bu konu çok tartışılmış, Aristo başta olmak üzere bazı felsefeciler bilginin mükemmel şekilde daha doğarken var olduğunu (idealarımız) bizim onları sonradan keşfettiğimizi söylerken, diğer görüşler bilgiyi zaman içinde kazandığımızı ve deneyimlerimizin bilgilerden oluştuğunu öne sürmüşlerdir. Cevap ne olursa olsun, elde ettiğimiz fakat asla mükemmel olmayan bilgiyle dünyamızı şekillendirmekteyiz. Elde ettiğimiz verilerde bu şekilde olacak ve asla mükemmel olmayacaktır. Tüm hesaplarımız ve çözümlemelerimizi mükemmel olmayan bilgiyle yapmak ve gerçeğe yaklaşmak zorundayız. Yazının bu bölümünde *veri* kavramını, *bilgi* ve *söyleyişleri (ifadeleri)* kapsayacak şekilde kullanılacaktır.

4.2.2 Kesinliksiz ve Belirsizlik

Eğer veriler kesin ve belirli ise bu veriler hakkında mükemmel sıfatını kullanmak mümkündür. Böylelikle bu verilerin, gerçek dünyayı doğru biçimde temsil ettiğini söyleyebiliriz. Ancak normal şartlar altında bu mükemmellikte veriyle karşılaşmak çok zor hatta imkansızdır. Bu veriler kesinliksiz ve/veya belirsiz özelliktedir.

Ancak belirsizlik ve kesinliksiz farklı özelliklerdir.

(1) "Ahmet'in *en az* iki otomobili var, ama pek emin değilim."

(2) "Ahmet'in üç otomobili var, ama pek emin değilim."

Bir numaralı cümlede, arabaların sayısı *kesin değildir* ancak *belirgin*dir. İkinci cümlede ise, otomobillerin sayısı *kesindir* ancak *belirsizdir*. Kesinlik/kesinsizlik ve belirginlik/belirsizlik aynı anda bir arada bulunabilir. İki sıfatın anlamları aynı değildir. Kesinliksizlik fazla ise belirginlik fazla ya da tam tersi durumlara sıklıkla karşılaşılr.

Gerçekten gelen belirginlik ile kesinlik dikkatli şekilde ayrılmalıdır. Eğer gerçek uzay ω_o hakkında sahip olduğumuz düşünce yanlış bile olsa, bu sahip olduğumuz bilginin kesin ve belirgin olmamasını gerektirmez. Örneğin eğer yukarıdaki cümleleri;

”Kesin olarak söyleyebilirim ki, Ahmet’in üç otomobili var”

şekline getirmemiz gerçekte Ahmet’in otomobili üç tane olmamasına rağmen kesin ve belirgin bir bilginin varlığını işaret eder ve bu bilgiyi söylememize engel oluşturmaz. ω_o uzayı içinde p gibi bir önermenin doğru olduğunu düşünüyorsak, bunu ”*ben p nin doğru olduğunu biliyorum*” yerine ”*ben p nin doğru olduğuna inanıyorum*” biçiminde söylemek daha doğru olacaktır. Bunun nedeni p nin ω_o uzayında doğru olduğuna inanmanın, p nin gerçekten bu uzaydaki doğru olduğu anlamına gelmez. Çünkü yanlış bir şeye inanıyor da olabiliriz. Bu *inanç* ile *bilgi* arasındaki farktır. Belirsizliğin kaynağı inançtır ve bilgiden kaynaklanmaz. *Belirsizlik bilgiyle ilişkili bir kavram değildir* [21].

Asıl aranan, yani problem Ω evrensel uzayında tanımlanan tüm alt uzaylardan hangisinin aradığımız gerçek uzay ω_o olduğunu bulmaktır. Bu alt uzaylardan hangisi elimizdeki verilerle uyum sağlamaktadır. En uygun (ideal) durum sadece ve sadece bir alt uzayın bu verilerle bir uyum sağlamasıdır. Ancak bu durum gerçekten çok özeldir ve elimizdeki verilerin mükemmel (belirgin ve kesin) olması durumunda, buna ek olarak alt uzaylardan hangisinin ω_o olduğu biliyorsak mümkün olur. Eğer elimizdeki uzay, verilerimizle uyumuyorsa bu uzay aradığımız uzay olamaz. Eğer verilerimiz kendini doğrulayacak bir uzay bulamayacaksa sadece kendi içinde tutarlı olan mantıksal ve sembolik anlamların ötesine geçemez. Yani tutarlılığı tartışılmasa (inanç) bile uyumunu (gerçek) tartışmaya açıktır. Buna örnek olarak, bir bölge için nüfus ve özel araç sayısının o bölgede yarattığı yolculukları temsil eden bir regresyon denklemi bulduğumuzu varsayalım. Eldeki verilerden kestirilen değişkenlere ait nüfus katsayısının (-) çıkması, regresyon ve istatistik sistemi içinde tutarlıdır. Çünkü bu istatistik sistemi içinde olağan bir durumdur. Ancak gerçekte, nüfusun yolculuk üretimine etkisi (-) olamaz. Bu nedenle bulduğumuz denklem tutarlı ancak gerçek dünyayla uyumsuzdur. Peki diğer yandan veriler aynı anda farklı uzaylarla uyuma içinde olabilir mi?

Söz konusu verilerin birden fazla uzayla uyumlu olması bu verileri *kesinliksiz* yapar. Bu kesinliksiz üzerine, bizler bu verilerin hangi uzaylarla uyduğu üzerine kendi düşüncemizi yansıtan ağırlıklandırmalar ve farklardan oluşan sayılar üretebiliriz. Bu eylem *belirsizliği* yansıtır. Belirsizlik bizim düşüncelerimizden kaynaklanır ve bu belirsizliği açıklamak için *inanç*, *olasılık* ve *olabilirlik* gibi kavramları kullanırız.

Kesinsizlik verinin kendisiyle ilişkili özellikken, belirsizlik bize bağlı bir özelliktir.

4.2.3 Kesinsizlik

En uygun durumda $\angle$ içindeki her bir p önermesi için bir verinin varlığı olmalıdır. Böylelikle, p önermesinin doğru ya da yanlış mı olduğu konusunda bir sonuca varmak mümkün olacaktır. Ancak en uygun durum dışında, $\angle$ içinde birden fazla p önermesinin aynı veriyle uyuşması söz konusu olabilir. Bu durumda veriler için *kesinliksiz* tanımı kullanılır.

Kesinliksiz kavramı, bulunduğu kullanıldığı çevreye olduğu gibi, mevcut problemin talep ettiği ayrıntı seviyesine de bağlıdır. Eğer Ayşe'nin yaşını öğrenmek istiyorsak; "Ayşe 1972'de doğmuştur" bilgisi bizim için yeterli ayrıntıya sahiptir. Ancak Ayşe'ye sürpriz doğumgünü partisi yapmak istersek yukarıdaki ayrıntı yetersiz kalacaktır. Kısaca taleplerimiz ayrıntı üzerinde belirliycidir. Ulaştırma çözümlemesi için kullanılan yöntem ve amaçlar toplamamız gereken bilginin ayrıntı seviyesini belirler. Örneğin bir bölge hakkında sosyo-ekonomik değişkenlerdeki kesinlik, yapacağımız çözümlemenin gerektirdiği veriler ve onların detaylarına göre toplanır.

Kesinliksizliğin en kısa yoldan gösterimi klasik küme teorisidir, ancak en kolay yol değildir. Bulanık kümenin tanımladığı kesinliksiz özelliği, klasik kümeyle benzerdir. Ancak yöntem açısından bulanık kümenin tanımının çok daha sade ve kolay olması nedeniyle klasik kümeye göre üstünlükleri vardır. Bu üstünlük kesinliksiz parçaların bir araya getirilmesiyle daha iyi anlaşılır. Bundan aynı uzayla ilgili iki farklı belirsiz veri parçasının kesişimi anlatılmaktadır. Örnek olarak;

"Ahmet'in yaşı 41 ile 49 arasındaymış"

"Ahmet'in yaşı 45 ile 52 arasındaymış"

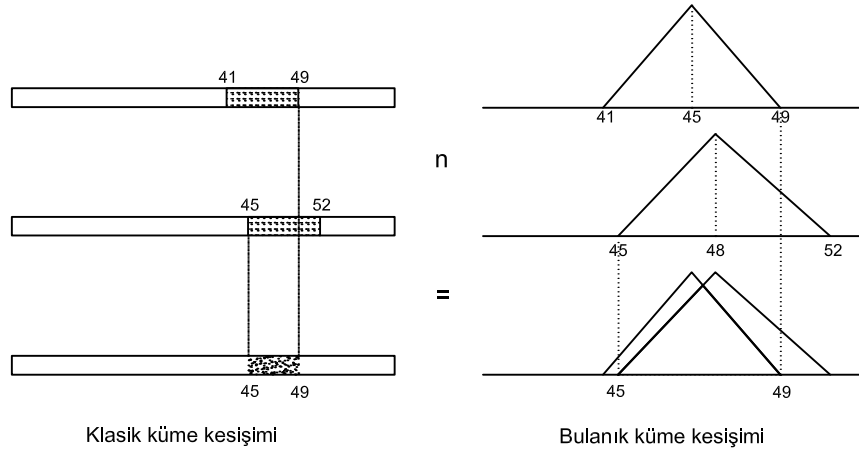
biçiminde Ahmet'in yaşı hakkında iki farklı kaynaktan kesinliksiz bilgi alırsak, klasik kümeye göre Ahmet'in yaşının 45 ile 49 arasında olması gerektiğini söyleriz. Klasik küme yerine bulanık küme kullandığımızda, iki veri parçasının kesişimi gene aynı sonucu verecektir (Şekil 4.1) Ancak aradaki fark, verilerin daha esnek ve dilsel olarak elde edilebilmesidir. Örneğin aynı kesinsiz veri aşağıdaki tümcelerden de elde edilebilir.

"Ahmet'in yaşı 45 civarındadır"

"Ahmet çok yaşlı birisi değildir"

Bulanık küme aslında klasik kümenin genişletilmiş biçimidir. Klasik küme ortayı dışlarken, bulanık küme ortayı dışlamaz. Ancak klasik kümenin bu yeni biçimi sıra dışı bir araca dönüşür. Antik Yunan'dan beri iki değerli mantık üzerine yapılan eleştiriler, çıkmazlar (paradokslar), çok-değerli mantık arayışlarının çözümünün gene iki-değerli mantık temelinde yatması çok ilginçtir. Ancak bir fark vardır, iki-değerli mantık tam çıkarım (exact reasoning), bulanık mantık yaklaşık çıkarım (approximate

reasoning) kullanır.



Şekil 4.1: Kesinliksiz veri parçalarının klasik ve bulanık küme kesişimi

İster ω_0 uzayını, klasik A kümesinde ister bulanık A kümesine atayalım, bu atamalar kesinliksizliği yansıtacak ancak belirsizliği yansıtmayacaktır. Atamanın yapıldığı kümenin bulanık olması, muhtemel alt uzayların sıralamasının, ω_0 gerçek uzayı ile ilgili bir yere kadar belirsizlikten kaynaklanabilir. Ancak bu sıralamanın tam olarak belirsizliği yansıttığını söylemek doğru olmaz. Bu belirsizliği, kesinliksizliğe göre etkisi ikinci derecededir [21].

Kesinliksiz ile belirsizlik arasındaki farkı daha iyi anlamanın en basit yolu, A bulanık kümesini belirgin hale getirmek yani klasik kümeye çevirmektir. Bu $\omega_0 \in A$ sadece kesinliksizliği yansıtır. Ancak bunun yerine "muhtemelen $\omega_0 \in .B$ " ve "zayıf ihtimalle $\omega_0 \in .C$ " gibi muhtemel önermeler, kesinliksizliğe eklenmiş belirsizliği yansıtır.

"Kesinliksiz belirsizlik değildir, ve daima belirsizlikten önce oluşur. Kesinliksiz, bize belirsizliği kurguladığımız bir küme sağlar [21]."

Müphemlik ve Bulanıklık

Müphemlik ve bulanıklık, kesinliksizliğin iki farklı biçimidir ve sıklıkla karıştırılır [21]. Zadeh müphemliği müphem/muğlak vague/ambiguous), bulanıklığı ise kesin sınırların yokluğu ile ilişkilendirmiştir. Örnek vermek gerekirse;

"Trenin kalkış saati 16:00 veya 17:00 olmalı"

cümlesi müphem/muğlak, ama bulanık değildir.

"Trenin kalkış saati 16:00 dolayları (civarı)"

cümlesi ise bulanık fakat müphem/muğlak değildir.

”Tren bu ara gelecek”

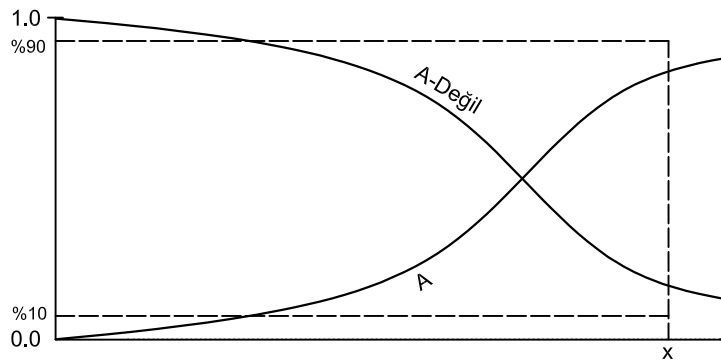
cümlesi ise hem müphem/muğlak hem de bulanıktır.

Müphem/muğlak üzerine ilk bilimsel yazıyı kuantum fizikçisi Max Black yazmıştır. Black 1941 yılında yayınladığı çalışmada [22] müphemlik kavramı üzerinde durmuştur. Black’in çalışmasının ilginç tarafı, iki-değerli mantık arayışının dışına çıkmaya çalışması ve belirsizliği mantıksal biçimi üzerinde durmasıdır.

Black’in [22] çalışmasında iki ana fikir geliştirmiştir. İlki; müphemliğin gözlenebilir doğası üzerine, ikincisi ise mantık için müphemliğin varlığının sorgulanması üzerinedir. Black bugün bulanık küme olarak bahsettiğimiz kümeleri, ”müphem küme” olarak tanımlamıştır. Black’in tanımlaması kendi dönemi içinde oldukça büyük etki yaratsaydı, bugün *bulanık küme* yerine *müphem kümeden* bahsediyor olabilirdik. Black’in çalışması, üyelik fonksiyonu kavramına değinen ve biçimsel olarak gösterildiği ilk bilim yazısı (makale) olmuştur. Black tanımladığı kümeyi üyelik fonksiyonuyla açıklayan ve matematiksel teoriler üreten ilk kişidir. Black [22] bilimsel yazısında müphemlik için şu tanımlamayı yapmıştır.

”Müphemliği anlam olarak oturtacağımız yer, tüm diğer kelimeler gibi kullanıldığı uygulamanın içeriğine göre kazandığı özyapısal anlamdır. ‘Aradurumlar’, ‘şüpheli şeyler’ ve buna benzer tüm durumlar çok sık karşımıza çıkabilen, bir sınıflama uygulanılabileceğini veya uygulanamayacağını söyleyemeyeceğimiz olaylardır.”

Black’in üyelik fonksiyonu Şekil 4.2 ’deki gibi bir eğri şeklindedir . Black, eğri üzerindeki bir noktanın, bir A müphem (bulanık) kümesine aitliği (A) veya ait olmama (A değil) değerini gösterdiğini söylemiştir.



Şekil 4.2: Max Black'in müphem kümesi

Black'in tanımladığı bu küme bugünkü bulanık mantığın özünü oluşturur. Black her şeyin bir dereceden oluştuğunu fark etmiştir [20]. Black bugünkü bulanık kümelerin aksine, tanımladığı eğrileri 0 ve 1 değerlerine yaklaştırmış, ancak 0 ve 1 uç değerleri

almaları gerektiğini göz ardı etmiştir. Buna rağmen, Black'in getirdiği en köklü yaklaşım, öz olarak 0 ve 1 değerleri arasındaki geçişin, ikili mantıkta olduğu gibi ani sıçramalı değil tekdüze (monoton) oluşudur. Black'in 'bulanık' kelimesi yerine 'müphemli' kullanmasının nedenini Kosko [20], kendinden önceki Bertrand Russell, Charles Pierce ve diğer mantıkçıların belirsizliğin tanımı için müphemliği tercih etmesi olarak göstermiştir. Ancak Black, makalesinin o dönemde fazla ilgi çekmemesi üzerine bu konu üzerinde fazla durmamıştır. Max Black 1989 yılında öldüğünde, Japon televizyonlarında bulanık mantıkla çalışan ilk akıllı çamaşır makinasının reklam bandı dönmeye başlamıştır [20].

4.2.4 Belirsizlik

Belirsizlik ihmal (savsama) sonucu oluşur [21]. İngilizce anlamı "uncertainty" olan belirsizliğin kökenbilimi (etimoloji) olarak kaynağı bilinmemektedir. Ancak Smets[21], Bonisone ve Tong [23], Clarke ve diğerleri [24], Krause ve Clark [25], Lopez [26], Smithson [27]'a bilim yazılarına dayanarak, belirsizliğin bilim felsefesi (epistemic) açısından *eksik bilgidен* kaynaklandığı tanımını yapmıştır. Belirsizlik iki farklı türde oluşur. Nesnel ve öznel belirsizlik.

Nesnel Belirsizlik

Bazı uzmanlar şans ya da rastgelelik ile olan belirsizliğin nesnel bir belirsizlik olduğunu ileri sürerek, "*olası*" kelimesinin bir olayın gerçekleşmesinin "*olasılı*" durumunu tanımladığını söylerler. Yani olayın gerçekleşmesi, bize bağlı olan bir süreç değildir ve biz olay hakkında ne düşünersek düşünelim olay gerçekleşecek ya da gerçekleşmeyecektir. Pencereye bir serçenin gelmesinin, bunu arzu etmemizle bir ilgisi ya da bağlantısı yoktur. Serçe pencereye biz istesek de istemesek de konacaktır². Bu nedenle olabilirlik belirsizliğin *nesnel bir özelliğidir*.

Sadece gerçekleşmesi olası olan olaylar meydana gelir. Bu nedenle bazı olayların eğilimi hakkında bir yargıya varmadan önce, olayın özyapısı (karakteri) belirlenebilmelidir. Yani, "*olabilir*" kelimesinin bu olayın karakterini doğru biçimde tanımlayıp tanımlamadığı göz ardı edilmemelidir [21]. "*Olabilir*", olayın gerçekleşebilme yetisini tanımlarken, '*olasılık*' tanımı olayın gerçekleşebilme eğilimini tanımlamaktadır. O nedenle bu iki kelime arasındaki ayrıma dikkat etmek gerekir. Şen [28] bu ayrımı şu şekilde tanımlamıştır;

²Pencereye serçeyi çekmek için yem koyulursa, olayın temel yapısını etki etmiş olunur. Çünkü pencereye konan kuş için soyutlandırılmış şartları bozmuş olur. Bu durumda yem konulduğunda, pencereye konan kuşun gelip gelmeyeceği olayının yeniden tanımlanması gerekir. Bu durum olasılıkla çalışılan tüm modeller için geçerlidir. Bu nedenle olayları gözlerken tarafsızlığı bozacak etkenler uzaklaştırılmalıdır.

”.....İncelenen olayın sonucunda istenilen karar değişkeni için belirlenen olabilirlikler toplamı içeren topluluğa *küme* adı verilir. Basit olarak olay, bir paranın atılarak yazı ve tura gelmesini tahmin etmekse, kesinlikle bilinen bu olayın iki sonuçlu olduğudur. Yani yazı gelmesi, o da olmazsa mutlaka tura geleceğidir. Böylece incelenen olayın olabilirliklerini içeren küme (*yazı*) ve (*tura*) kelimelerini içeren bir topluluktur. Belirsizlik ise bir sonraki para atışında hangi olabilirliğin ortaya çıkacağını önceden bilinmemesidir. Benzer olarak, tarımla uğraşan için de havanın yağışlı veya yağışsız olabilirliklerinin önceden bilinmemesidir.....”

Yukarıda verdiğimiz serçe örneğine dönersek, serçenin penceremize gelmesi bir olabilirliktir. Bu tür bir olayla karşılaşacağımızı ve olayın oluşma yetisini biliyoruzdur. Ancak serçenin, bir zaman dilimi içinde kaç defa bizi ziyaret edeceği belirsizdir. Penceremize anka kuşunun³ konması ise imkansız bir olaydır ve olabilirlik yetisi yoktur. Diğer yandan, olasılık iki değerli bir sonuca işaret eder. Yani ya olur ya da olmaz; serçe pencereye ya konar ya da konmaz. Buna karşın olabilirlik dereceli bir yapıya sahiptir. Anka kuşunun gelmesi sıfır olabilirliğe sahipken, serçeye yüksek bir olabilirlik atayabiliriz. Dünyamız olabilirliğin kendisidir. Yaşadığımız çevrede, ”kartal” gibi yırtıcı bir kuşun yaşama şansı zayıfsa, penceremize konması çok zayıf bir olabilirliğe sahiptir. Ancak bir sıralama yaparsak, serçe ile anka kuşunun olabilirliği arasında bir yerde olur. Buradan olabilirliklerin sıralanabilir özelliğe sahip olduğu çıkartılır. Dikkat edilmesi gereken nokta, sıralamanın olasılık gibi nesnel değil öznel yapıda olmasıdır. Özetle, olasılık için ’sıklık’ ve olabilirlik için ise ’derece’ ölçüm uzayları kullanılır.

Öznel Belirsizlik

Belirsizliğe ait öznellik, ω_o ile ilgili bize sunulmuş bilgilerden, kendi düşüncelerimizle türettiğimiz bir özelliktir. Ama Bruno De Finetti [29] nesnel olasılıkların var olmadığını, tüm olasılıkların öznel olduğunu öne sürmüştür. Bu öznel görüş, olasılığın farklı yapılarda gösterilmesini sağlamıştır. Bu yapılardan en bilineni, öznel belirsizliğin olasılık fonksiyonu ile gösterilmesidir. Olasılık fonksiyonları haricinde, öznel

belirsizliği göstermek için inanç ve olabilirlik fonksiyonları da geliştirilmiştir.

Kesinliksizlik genellikle belirsizliğe destek olur. Kesinliksizlik için bu nedenle, belirsizliğin özel bir hali olup olmadığı sıkça sorgulanır. Diyelim ki, ω_o uzayı ile ilgili bildiğimiz tek şey $\omega_o \subset A$ bilgisidir. A aynı zamanda evrensel Ω uzayının bir alt kümesidir. Bu şartlar altında, belirsizliğin bozulmuş bir biçimiyle karşı karşıya kaldığımız öne sürebilir. Ama belirsizliğin bu düzeyde olması, belirsizliği olasılık teorisiyle açıklamamıza engel olmaz. Ancak, kesinliksizliğin olasılık teorisi için

³(TDK sözlüğünde) Masallarda adı geçen ve gerçekte var olmayan büyük bir kuş, Zümrüdüanka.

dikkatli şekilde ayıklanmaması, kesinliksizliği belirsizliğin özel bir biçimi gibi algılanmasına neden olur [21].

4.2.5 Belirsizliğin Modellenmesi

Bir an belirsizliğin kaynağını yukarıda söylediklerimizin aksine hem veriden hem de bizden kaynaklandığını varsayalım. p önermesinin ne zaman olursa olsun doğruluğu konusunda p nin gerçek ω_o uzayında doğru ya da yanlış olduğunu bilmediğimiz sürece kuşku içinde kalırız. Bu kuşkulu durumumuzu yani belirsiz durumu sınıflayabilir ya da derecelendirebiliriz. Böylelikle, belirsizliğin modellenmesinde kullanılan matematik modelleri 'sembolik-nitel' (*symbolic-qualitative*) ve 'nümerik-nicel' (*numeric-quantitative*) olmak üzere ikiye ayırabiliriz.

Sembolik model yaklaşımı tekdüze olmayan (non-monotonik) mantık alanı içinde incelenir. Mantıkçılar, doğru öncülerden doğru sonuçlara giden bir tündengelim sistemi geliştirmeye çalışırlar. Bununla birlikte, mantıkçıların geliştirmeye çalıştığı bu sistem, genel uygulamada başarısız olur. Bunun nedeni, bu yöntemlerin en basit düzeydeki 'genellikle', 'normal olarak', 'tipik olarak' vb. ayrıklı (istisnai) durumlar ve bunları tanımlayan sıfatları işlemekte yetersiz kalmasıdır (Dilsel biçimi işlemekteki yetersizlik).

Belirsizliğe nümerik yaklaşımlar iki sınıfta incelenirler.

1. Standart olmayan olasılık modelleri
2. Olasılık-dışı modeller

Standart olamayan olasılık modelleri, olasılık fonksiyonlarının genişletilmiş halidir. Olasılık dışı modeller, olasılık fonksiyonlarını temel almayan, bunun yerine inanç veya olabilirlik fonksiyonlarını kullanan modellerdir. Şekil 4.3'de iki model sınıfı ve bunlara ait modeller görülmektedir.

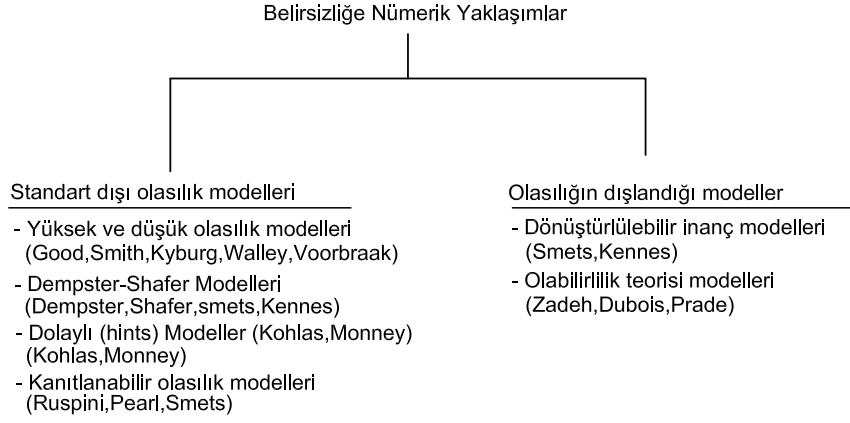
Her model, Ω evrensel uzayı alt kümelerini $[0,1]$ aralığına eşleme (mapping) yapan ölçüm sistemine dayanır. Bu ölçümler tekdüzedir ve her biri için aşağıdaki özellik yazılabilir.

1. Olasılık Ölçümleri: $P : 2^\Omega \rightarrow [0, 1]$

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) \quad \forall A, B \subseteq \Omega$$

2. Olabilirlik Ölçümleri: $\Pi : 2^\Omega \rightarrow [0, 1]$

$$\Pi(A \vee B) = \max(\Pi(A), \Pi(B)) \quad \forall A, B \subseteq \Omega$$



Şekil 4.3: Belirsizliği modellemek için kullanılan yaklaşımlar

3. İnanç Ölçümleri: $in : 2^\Omega \rightarrow [0, 1]$

$$in(A \cup B) \geq in(A) + in(B) - in(A \cap B) \quad \forall A, B \subseteq \Omega$$

Bir F çift ölçüm çifti, F 'lerden birisinin değeri verildiğinde, diğeri verilen değerin tamamlayıcısı olursa bu ölçüm *Çift* F olarak anılır. Olasılık teorisinde, çift durum;

$$\text{Çift}P(A) = 1 - P(\bar{A})$$

biçiminde yazılabilir. Sonuç olarak $\text{Çift}P = P$ olur ve bir olasılık fonksiyonu kendiliğinden çift (auto dual) özelliği taşır. Bu durum diğer ölçüm uzayları için geçerli değildir. Olabilirlik ve inanç fonksiyonları için çift ölçümü sırasıyla gereklilik ve akla yakın fonksiyonlarıyla temsil edilir.

- Gereklilik Ölçümleri: $\Pi : 2^\Omega \rightarrow [0, 1]$

$$N(A) = 1 - \Pi(\bar{A}) \quad \forall A \subseteq \Omega$$

- Akla yakınlık (ay) Ölçümleri: $inanç : 2^\Omega \rightarrow [0, 1]$

$$ay(A) = in(\Omega) - in(\bar{A}) \quad \forall A \subseteq \Omega$$

4.2.6 Olabilirlik ve Gereklik Ölçümleri

Olabilirlik Ölçümü

Bir an aşağıdaki gibi kesinliksiz bir bilgi aldığımızı varsayalım.

”Bu yolda ortalama hız 50 km/sa üstünde”

Bu bilgi bize hızın 50 km/sa üzerinde olmasının mümkün olduğunu, ancak buna eşit ya da altında olmasının imkansız olduğunu söyler. Bu durumda hızın $[0, 50)$ km/sa aralığına ait olabilirliği 0 dır. Böylelikle ≤ 50 km/sa bölgesi için olabilirlik ölçümünü yapmış olduk. Geriye kalan ≥ 50 km/sa bölgenin olabilirlik ölçümü ise 1 eşit olacaktır.

Eğer bu bilgi ”Bu yoldaki ortalama hız yüksektir” gibi müphem olursa, olabilirliği derecelerle ifade edebiliriz. Yüksek dereceler daha yüksek olabilirlikleri göstermiş olur. Olabilirlik, aynı zamanda bulanıklıkla ilgilidir. Ω üzerinde tanımlanmış bir A bulanık kümesi, ve bize gerçek uzayın hangisi olabileceği hakkında bir arka plan bilgisi (AB) düşünelim. $\omega_o \in \Omega$ önermesinin olabilirliği aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$\Pi(\omega_o \in \Omega | AB) = \max_{\omega \in \Omega} \min(A(\omega), \pi(\omega | AB))$$

$$\begin{aligned} \pi(\cdot | AB) &= AB \text{ den türetilen olabilirlik dağılımı} \\ \pi(x) &= \Pi(\{x\}) \end{aligned}$$

Bu gösterimi bir örnekle açıklayalım. ”Bu yolda ortalama araç hızları yüksektir” olabilirliğini, ”ortalama yüksek hız 50 km/sa ’tır” bilgisiyle (bu bilgi gözlenmemiştir, ancak elimizde daha önceden mevcuttur) aşağıdaki şekilde gösterebiliriz.

$$\Pi(ort.hızlar(aracılar) \in yüksek | 50) = \max_{H \in [0, 250]} \min(yüksek(h), \pi(h | 50))$$

$$\begin{aligned} ort.hızlar(aracılar) &= \text{araçların ortalama hızları} \\ yüksek &= \text{yüksek hızı temsil eden küme} \\ [0, 300] &= \text{hız aralığını tanımlayan evrensel uzay} \\ yüksek(h) &= h \text{ hızının, yüksek kümesindeki üyelik derecesi} \\ \pi(x | 50) &= h = x \text{ olduğunda } h \text{ nin } 50 \text{ km/sa ait olabilirliği} \end{aligned}$$

Eğer hem AB hem de A kümesi belirgin ise, Π ’nin temsil ettiği bölge $[0,1]$ aralığından $\{0,1\}$ ayrık değerlerine indirgenir.

Bu ifade, daha önce bahsettiğimiz bulanık kümenin belirgin kümenin genişletilmiş

olmasının bir sonucudur.

Diğer bir önemli nokta, olabilirlik ve bulanık küme teorisindeki, 'max' ve 'min' işleçleri, ilgili ölçümlerin hassasiyeti çok önemli değilse kullanılmalıdır. Ölçümün en önemli ögesi yarattığı sıralamadır. Olabilirlik ölçümlerinin yarattığı sıralama, dönüşüm ve/veya ölçeklendirme her uzayda aynı olur. Bu nedenle, olabilirlik teorisi yerine sıralama teorisi (ordinal) isimlendirmesi de kullanılmaktadır. Bu güçlü özellik ne olasılık ne de inanç fonksiyonlarında bulunmaz.

Bulanıklık ve Olabilirlik Arasındaki İlişki

Zadeh hem bulanık kümenin [30] hem de olabilirlik ölçümü [31] kavramlarını tanımlamıştır. Üyelik dereceleri, herkesçe bilinen uzayın iyi tanımlanmamış bir kümeye ait olma gücünü açıklarken, olabilirlik derecesi, gerçek uzayın iyi tanımlanmamış kümeye ait olmasıyla ilgili öznel düşüncenin düzeyini gösterir. Örneğin, $yüksek(h)$, hızı h olan bir aracın yüksek bulanık kümesine üyelik derecesini gösterir. $\pi(h|yüksek)$ ise, h hızındaki bir aracın, yüksek kümesine ait olmasıyla ilgili bizim fikrimizi temsil eden olabilirlik derecesini gösterir. Zadeh'in olabilirlik ilkesi aşağıdaki eşitliği şart koşar.

$$\text{Eğer } yüksek|(h) = x \text{ İSE } \pi(h|yüksek) = x \quad \forall h \in [0, 250]$$

Ancak aynı eşitliği aşağıdaki biçimde yazmak da mümkündür.

$$yüksek|(h) = \pi(h|yüksek) \quad \forall h \in H$$

İlk eşitlik, olabilirlik ile bulanıklık kavramlarının birbirine karışmaması için tercih edilmez. Bu eşitliklerde, olabilirlik derecesi ve üyelik dereceleri aynı ölçeği kullanırlar, ancak aynı kavramları göstermezler.

4.2.7 Olasılık Teorisi

Olasılık teorisinin 17. yy. da ilk kullanılmasından bu yana, olasılık için dört farklı tanımlama yapılmıştır. Bunlar;

1. Klasik teori
2. Göreceli sıklık teorisi

Tablo 4.1: Sonlu sayıda yazı tura deneyi [32]

Deneyi Yapan	Deneme sayısı	Tura sayısı	Turanın göreceli sıklığı
Buffon	4040	2048	0.5069
K.Pearson	12000	6019	0.5016
K.Pearson	24000	12012	0.5005

3. Öznel (Bayesian,kişisel) olasılık

4. Mantıksal olasılık

Ancak bunların içinden bizi için önemli olduğuna inandığımız göreceli sıklık ve öznel olasılığa kısaca değinilecektir.

Göreceli Sıklık Teorisi

Olasılık, sürekli tekrar edilen bağımsız olayların bir göreceli sıklığa yakınsaması olarak da tarif edilebilir. Olasılığın, oran kavramıyla çok güçlü ilişkisi vardır. Göreceli sıklık tanımı, olasılıkla ilgili en çok kabul gören tanımlardan biridir. Ancak yakınsamanın sınırı gözlenemez ve bu varsayım; bugün olan ve tekrar eden olayların, gelecekte de bu aynı biçimde tekrar edeceğini şart koşar. Göreceli sıklık teorisi tek bir gözlenen olay için kullanılamaz. Göreceli sıklık teorisinin eleştirilecek yanı, uygun bir zaman aralığı belirlemedeki sıkıntıdır. Bu teori yakınsamanın hangi zaman sınırında bitirilmesi gerektiğini açıklayamaz. Örneğin, yazı tura attığımızda sonsuz sayıda deneme sonucu yazı ve tura sayıları eşit miktarda gözlenecektir. Ancak sonsuz sayıdan önce belli bir sonlu sayıda da aynı orana ulaşılacaktır. Tablo 4.1’de sonlu sayıda yapılmış deneyler görülmektedir. Beklediğimiz olasılık 0.5, 4040 denemede ulaşılmıştır. Diğer yandan 24000 deneme sonunda da bu sayıya ulaşılmaktadır. Deney sayısı arttıkça beklenen değer daha fazla yaklaştığımız tablodan da görülmektedir. Ancak burada sorulan asıl soru şudur. Eğer tura gelme olasılığının 0.5 olduğunu baştan bilmiyorsak, ne kadar deney yapmalıyız? Bir doğa olayını gözlüyorsak, ne kadar süre ya da tekrar gözlememiz gerekir? Bir ulaştırma anketi için en ideal örnekleme sayısı ne olmalıdır?

Bu sorulara rağmen göreceli sıklık işe yaramaktadır ve bu yararlı (pragmatik) durum göreceli sıklık teorisinin gözde olmasını açıklamaya yetmektedir [21].

Öznel (Bayesian, kişisel) Olasılık

Bayesian olasılığına göre, olasılık bir olayın meydana gelmesine olan inancımızı ölçer. Bayesian olasılığı öznel ve kişisel bir ölçüm olarak tarif eder. Bayesian göre bizler

bir kumarbaza karşı oyuna giren birer oyuncuyuzdur. Bir A olayı üzerine bahse girer, eğer A gerçekleşirse \$1 gerçekleşmez ise \$0 alırız. Bayesian olasılıkları A olanın gerçekleşme olasılığını $P(A)$ olarak tarif eder ve Bayesian istatistikçileri bunu A'nın olasılığını doğruya biçilen bir p fiyatı olarak betimlerler.

Bayesian teoremi istatistikte önemli bir yer tutar. Bu teorem yardımıyla rastgele olayların olasılıkları için varsayılan ilk değerler gözlem sonuçlarıyla bir araya getirilerek düzeltilebilir. Dağılımların parametrelerini değeri bilinmeyen sabitler gibi düşünmek yerine bunla rastgele değişken olarak ele alınıp değerleri yukarıdakine benzer bir yaklaşımla tahmin edilebilir [33]

4.2.8 Üst ve Alt Olasılık Modelleri

Smith, Good, Whaley inançların kişisel derecelerinin, tek bir sayıyla değil sınırlara sahip aralıklarla gösterilebileceğini söylemişlerdir [21]. Söz konusu aralıklar, üst ve alt olasılıkları olan sınırlara sahiptir. Bu aralıkları tanımlamak için, önerilen yöntem ise şöyledir. Y_1 ve Y_2 olmak üzere iki bireyden, Y_1 olanı Ω evrensel uzayı içindeki bazı olayların olasılıklarını, $\forall A \subseteq \Omega$ olmak üzere, sadece bir aralıkta yer alan, $P(A)$ olasılıklarını söyleyerek Y_2 bireyine iletmektedir. Bu şartlar altında Y_2 bireyi, Ω evrensel uzayına ait bir P olasılık kümesini sadece Y_1 'in verdiği sınırlar içerisinde oluşturabilir. Y_2 bireyinin bildiği şey sadece bir P olasılık ölçümü ve bu ölçümünde $P \in \mathcal{P}$ biçiminde olduğudur.

Aynı tip aralık belirleme modeli, Bayesian olasılığıyla da yapılabilir. Bayesian olasılığında bir kişiye ait sadece bir olasılık ölçümü yerine, bir seri olasılık ölçümü yapılarak bir aralık belirlenebilir. Dempster, üst ve alt olasılıkların özel bir durumunu tanımlamıştır. Dempster bir X uzayı üzerinde yapılmış bir olasılık ölçümü ve bu ölçümü Y uzayındaki görüntüsü tanımlayan bir M eşlemesi düşünmüştür.

4.3 Esnek Hesaplama Yöntemleri

4.3.1 Bulanık Mantık

Hatalı-eşleme problemi-Gri dünyamızın siyah ve beyaz tarifi (Mismatch problem)-; İki-değerli mantık sistemi gri dünyamızı ret eder. Bu durum çıkmazlara ve kendi kendini yalanlamaya yol açar. Bulanık mantık bunun aksine tüm gerçekleri gri gerçek olarak bakar. Bulanık mantık için gerçekler parçalı, bulutlu, belirsiz ve bulanıktır. Matematik doğrulara gri dünyanın en uç noktaları olarak izin verir [20].

Bulanık sistemin kavram olarak en önemli noktası, bulanık kümelerdeki $[0, 1]$ arasında değerlerle gösterilen üyelik değerleriyle gösterilmesidir. Burada "0" mutlak yanlışlık

”1” ise mutlak doğruluğu gösterir. Örnek olarak aşağıdaki ifadeyi ele alalım.

”Ayşe yaşlıdır.”

Burada eğer Ayşe 75 yaşında ise, bu ifadenin doğruluğu için 0.8 değerini atayabiliriz. Bu ifade klasik küme teorisine göre aşağıdaki gibi ifade edilir.

”Ayşe yaşlı insanlar kümesinin elemanıdır.”

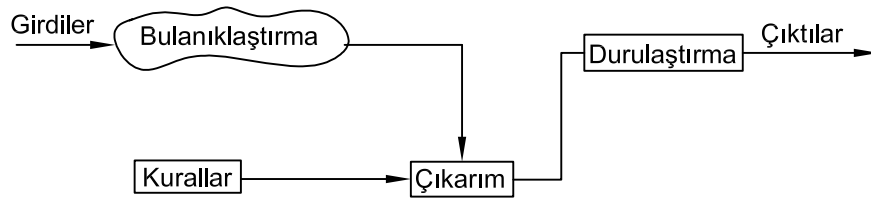
Aynı ifadeyi bulanık küme teorisine göre;

$$f_Y(Ayşe) = 0.80 \quad (4.1)$$

şeklinde yazabiliriz. 4.1 eşitliğindeki f üyelik fonksiyonunu temsil etmektedir ve bu fonksiyon yaşlı insanlar bulanık kümesi üzerinde, Ayşe’nin aldığı değeri tanımlar. Bu kümenin değeri de 0 ile 1 arasındadır.

Olasılık yaklaşımı göre Ayşe’nin yaşlı olma ihtimali %80’dir. Ancak bulanık küme ile ”Ayşe’nin yaşlı insanlar kümesindeki üyelik derecesi 0.8’dir. İlk bakış açısı Ayşe’nin yaşlı olup olmadığını bulmaya çalışırız. Bu durum hala ortanın dışlanması yasasına uymaktadır ve iki değerli mantığa uygundur. Biz sadece Ayşe’nin bulunduğu küme hakkında %80’lik şansımız olduğu bilgisine sahibizdir.

Diğer yandan bulanık mantık genel bir terimdir ve farklı sistemlerin meydana getirdiği tek bir sistemi temsil eder. Örneğin durulaştırma, bulanık kümeler vb. Şekil 4.4 de bir bulanık mantık sistemi ve sistemi oluşturan ögeler arasındaki ilişkiler gösterilmiştir.



Şekil 4.4: Bulanık mantık sistemi ve temel ögeleri

Bulanık Küme

Bulanık kümeler bulanık mantığın en önemli ögesidir. Bulanık mantık sistemi içindeki bulanıklaştırma safhasının en önemli parçasıdır ve seçimi model ve ürettiği sonuçları doğrudan etkiler. Matematiksel tanımı ise;

Tanım 4.1. X doğal sayılardan oluşan bir küme olsun. X üzerinde $\tilde{U}$ bulanık kümesi tanımlayacak olursak, bu kümenin üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{U}}(x)$ ile gösterilir. Bu fonksiyon, X kümesi içindeki her x elemanını $[0,1]$ aralığında gerçek sayılar tanımlar. Bu sayılara, bir x elemanın $\tilde{U}$ bulanık kümesine ait üyelik derecesi denir. Eğer üyelik fonksiyonu $\tilde{U}$ bulanık kümesine ait tüm x 'lerin üyelik derecelerini 0 ya da 1 e atıyorsa, $\tilde{U}$ klasik bir kümeye dönüşür.

Dilsel Değişkenler

Dilsel değişkenler, klasik değişkenlerin aksine sayılardan değil kelimelerden oluşur. Bunlar, üyelik fonksiyonları tarafından işlenerek hesaplamalara sokulur. Dilsel değişkenler, elimizdeki bilginin bulanık kısmının herhangi bir kayba uğramadan bilgisayarın okuyabileceği (ya da hesaplama yapılabilecek biçime) dönüştürülmesi için kullanılır. Örneğin yaş değişkeni, dilsel değişkenlere bölünerek genç, yaşlı, orta yaşlı gibi atomik kelimelerle ifade edilir. Buradaki her bir atomik kelime bir dilsel değişkeni temsil eder. Her bir dilsel değişkenin de kendine ait bir üyelik fonksiyonu vardır. Bir dilsel değişken sadece bir kelimeden ibaret değildir ve matematiksel olarak bir tanımı vardır.

Tanım 4.2. Bir dilsel değişken $(x, T(x), U, G, \tilde{M})$, şeklinde tanımlanır. x dilsel değişkenin adı, $T(x)$ ve ya T o dilsel değişkeni tanımlayan sıfatların kümesidir (Örneğin çok, az vb.). Her x dilsel değişkeni U uzayında tanımlanmış bir bulanık kümeyi, G ise bu sıfatların isimlerinin nasıl türetileceğini belirleyen sözdizimi kurallarını temsil eder. $\tilde{M}$ ise her bir sıfatın ne anlama geldiğini belirleyen anlam kurallarını tanımlar.

Yukarıdaki tanım dilsel değişkene ait biçimsel tanımdır. Bu tanıma göre bir dilsel değişken birden çok sıfat içerebilir ve her sıfat kendine ait bir üyelik fonksiyonu ile tanımlanır.

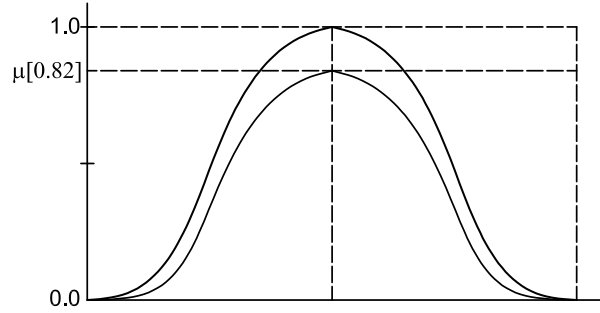
Üyelik Fonksiyonları

Üyelik fonksiyonları bulanık teoremin kalbini oluşturur. Farklı biçimlerde üyelik fonksiyonları vardır. Ek A 'da bulanık teoride kullanılan üyelik fonksiyonları verilmiştir. En çok kullanılan üyelik fonksiyonu üçgen ve yamuktur. Üyelik fonksiyonlarının seçimi hedeflenen modeli doğrudan etkiler.

Bulanık kümeye ait öğelerden en az biri 1'e ve gene en az biri 0 üyelik derecesine sahipse, bu küme *en büyük normal biçimdedir (maximum normal form)* Ancak öğelerden en az birinin üyelik derecesi 1 ise bu küme *en küçük normal biçimdedir*

(*minimum normal form*). Ek olarak bulanık kümenin tekdüzetekdüzeli olması istenir. Bunun anlamı üyelik derecesi 1 olan küme ögesinden sağ ya da sola doğru uzaklaştıkça, üyelik derecelerinin yavaşca azalmasıdır.

Normal olmayan bir bulanık küme çözümleye sokulması modelin işleme sürecinde ciddi problemlere neden olacağından, çözümleme öncesi normalleştirme işlemi yapılmalıdır. Normalleştirme yapılmadan kullanılan bulanık kümelerden oluşturulmuş modellerin doğrulanması ve uygulanması karmaşıklaşmakta ve zorlaşmaktadır [34]. Şekil 4.5 de bir bulanık kümenin normalleştirilmesi gösterilmiştir.



Şekil 4.5: Bir bulanık kümenin normalleştirilmesi

Bulanık Kurallar ve Kural Tabanı

Kurallar fikirleri birleştiren, birbirine bağlayan araçlardır. Bilgi ve kural arasındaki bu yakınlık Aristo zamanına kadar gider. Kurallar yapay zekanın en önemli ögesidir aynı zamanda. Bir yapay zeka karşılaşılabilecek durumları yorumlayacak kural kapasitesi kadar güçlüdür. Kuralların ana yapısı Eğer-ise kelimelerinden oluşur. 'Eğer' ile 'ise' arasındaki cümle, *öncül kısım* olarak adlandırılır. 'ise' den sonra gelen kısım ise *soncul kısım* başka bir deyişle *çıkarım* olarak anılır.

Bulanık kurallar, bulanık kümeler arasında ilişki kuran araçlardır. Bulanık kuralların en büyük avantajı iki-değerli mantığa dayanan kural sistemlerine göre çok daha az kuralla sistemi işletebilmesidir. Zadeh'in 1965'deki bulanık mantık kavramını tanımlamasının 1970 yılında Mamda'nın kural sistemiyle bir buhar türbini nasıl kontrol ettiğini gösteren çalışmasına kadar, bulanık mantık kabul görmekte oldukça zorlanmıştır. Bulanık kurallar bulanık mantık sisteminin önemli parçalarındandır ve bir modelden bağımsız ve karmaşık kapalı biçimde eşitlikler olmadan, olayları modellemek için kullanılır. Bir bulanık kuralın yapısı;

EĞER bulanık ifade İSE bulanık ifade

şeklinde verebiliriz. Bulanık ifade tekil veya bir çok tekil bulanık ifadenin birleşiminden oluşabilir. Diğer bir anlatımla, 'EĞER-İSE', girdi ile çıktı arasındaki nedensel ilişkiyi tanımlar.

Bir kural tabanını oluşturan kuralların teorik olarak tanımı;

- $X_1, \dots, X_n$ girdi değişkenleri;
- Y çıktı değişkeni olursa;

Yukarıdaki tüm değişkenler, dilsel değişkenlerle ve $\tilde{A}_{ik}$ veya $\tilde{B}_i$ gibi bu dilsel değişkenleri tanımlayan sıfatlarla gösterilir.

Bu tanımlara uygun bir genel kural ise aşağıdaki biçimde yazılır.

$$\text{EĞER } X_1 = \tilde{A}_{1j} \dots \text{VE } X_i = \tilde{A}_{ij} \text{ VE } X_n = \tilde{A}_{nj} \text{ İSE } Y = \tilde{B}_j \quad (4.2)$$

Çıkarım Süreci

Bulanık mantık hesaplamaları, dilsel değişkenler sıfat, kurallar veya kural tabanı arasında matematik işlemler(operator) yardımıyla yapılır. Her bir kuralın öncül kısmındaki dilsel değişken, girdi dilsel değişkeniyle karşılaştırılır. Burada en önemli kısım, karşılaştırılan iki bulanık değer arasındaki benzerliği bulmak için kullanılan yöntemdir.

Bir sonraki aşama, incelenen kuralın öncül kısmına bulunan benzerliklerin toplanmasıdır. Bu aşama, 'toplulaştırma (aggregation)' olarak anılır. Ancak benzerlik ve toplulaştırma işlemi sonrasında bulunacak değerler kullanılan matematiksel işlemlere bağlıdır. Kural tabanındaki her bir kuraldaki değişkenler arasında farklı işlemlerin kullanılması mümkündür. Yapılan modele göre en iyi işleci seçmek, modeli yapan uzman ya da uzmanlara bağlıdır.

Kuralların öncül kısımları yazılırken, bu öncüllere olan güvenimiz zayıf olabilir. Ancak buna rağmen bu tip öncüle sahip kuralın kural tabanından çıkartılması tercih edilmez. Bu nedenle bu kuralların öncülerine olan güveni belirten bir 'güven katsayısı' (factor of certainty) atanır. Güven katsayısı $[0,1]$ aralığında yer alır. Güven katsayısı iki-değerli mantıkla bulanık mantığın arasındaki bakış açısını bir kez daha gösteren bir sayıdır. İki-değerli (Boolean) mantığına göre eğer bir kuralın zayıflığı kabul edilmez. Yani kural eğer doğruysa tabana dahil edilir, değilse tabandan çıkartılır. Bulanık

mantıkta kuralların taraf tutması yerine, gücüne ya da güven derecesine göre modele dahil edilerek model üzerindeki etkileri sınırlandır ya da arttırılır. Bu da modelleme için esneklik kazandıran önemli bir özelliktir.

Her *kural öncülü* bir *kural sonculu* önerir. Bu işlem *çıkarım* olarak anılır. Son hesaplama tüm kuralların çıkarımından elde edilir. Son aşama, daha büyük ölçekte bir çıkarımdır ve bulanık mantık sisteminin ürettiği sonucu temsil eder. Bu aşamaya kural soncullarının '*biriktirilmesi*' (*accumulation*) denir. Her aşamada ihtiyaca göre farklı işlemler kullanılabilir.

Bulanıklaştırma

Bir kuralın öncül kısmının gerçek verilerle (gözlenen girdiler) ile uyumluluğunun (compability) hesaplanması gerekir. Uyumluluk, [0,1] arasındaki gerçek sayılarla temsil edilir. Bir girdi değeri kesin (crisp) olduğunda, $\tilde{A}_i$ noktasındaki her bulanık kümenin üyelik fonksiyonundan uyumluluğu hesaplanır. Eğer verilen değer bulanık ise bu durumda uyumluluğun hesaplanması biraz daha karmaşılaşır. Bu durumda iki bulanık küme arasındaki benzerliği ölçen yöntemler kullanılır. Her kural için uyumluluğun hesabı aşağıdaki biçimde gösterilir.

$$\begin{aligned} a_{1j} &= \text{uyum}(\tilde{A}_{1i}, \tilde{A}_1) \\ a_{2j} &= \text{uyum}(\tilde{A}_{2i}, \tilde{A}_2) \\ &\vdots \\ a_{nj} &= \text{uyum}(\tilde{A}_{ni}, \tilde{A}_n) \end{aligned} \tag{4.3}$$

Öncüllerin Toplulaştırması

Bir önceki aşama olan, ve her kural için yaptığımız uyumluluk hesaplamasından sonra tüm sistem için a_j uyumluluğunun hesaplanması gerekir. Kural tabanındaki kurallar, gözlenen verilere olan benzerliklerine göre ateşleme dediğimiz sürece girerler. Bir kural ne kadar girdi ile benzerlik taşıyorsa o derecede etkin hale dönüşür. Toplulaştırma, ateşlenen kuralların ürettiği sonuçların bir araya getirildiği aşamadır. Bu aşamada da bulanık işlemler kullanılır. Toplulaştırma fonksiyonu aşağıdaki biçimde gösterilir.

$$a_j = \text{Topİsleci}(a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{nj}) \tag{4.4}$$

Bulanık matematikte kullanılan işleçler *t-norm* (*triangular normative*) ve *t-conorm* (*triangular conormative*) olarak iki ana gruba ayrılırlar .

Öncüllerin Yorumlanması (Kesinlik)

Bulanık mantıkta kuralların soncul kısımlarının oluşması, öncül kısımlarının ne derecede gerçekleşeceğine bağlıdır. Diğer bir anlatımla, bir kuralın öncül kısmı ne derecede gözlenen veriler tarafından sağlanırsa, soncul kısmı da o derecede ortaya gelecektir. Bu durum insan muhakemesi açısından da son derece önemlidir. Çünkü aynı değişkene ait farklı durumlar söz konusu olduğunda en uygun durum hakkında karar vermek gerekecektir. Bu durumlarda çözüm olarak en uygun yöntem, kurala olan güveni temsil eden bir katsayı ve öncül kuralın ne derecede yerine getirildiğinin hesaplanmasıdır. Bunun için '*yaklaşık çıkarım*' yöntemi kullanılır.

$$a_j^* = Kesİsleci(a_j, c_j)$$

Gene bu hesaplama için t-norm işleçleri kullanılır. Örneğin enazlama-işleci (VE) veya cebirsel çarpım bu işlem için kullanılabilir. Bu aşama gerçekleştirildikten sonra kural tabanı içindeki her bir kural için bir değer hesaplanmış olur. Bu değer $[0, 1]$ aralığında olan ve o kuralın o anki girdi olarak adlandırılan gözlenen verilerin o kuralın öncül kısmına ne derecede uyduğunu gösteren bir sayıdır.

Sonculların Çıkarımı

Yukarıda, sonculların gerçekleşmesi ancak öncüller kadar olabilir demiştik. Bu durumda kuralımızda soncul kısmı temsil eden $\tilde{B}_j$ bulanık kümesi a_j^* tarafından sınırlandırılır. Bu durumda kuralın soncul kısmı $\tilde{B}_j$ değil aşağıdaki gibi hesaplanan $\tilde{B}_j^*$ olarak alınır.

$$\tilde{B}_j^* = SonÇıkİşleci(a_j^*, \tilde{B}_j)$$

Bulanık İşleçler

Bulanık işleçler, bulanık mantık aritmetiğinin ayrılmaz parçasıdır. Tüm bulanık küme işlemleri ve bu kümelerin birbiriyle olan ilişkilerinin bu işleçler yardımıyla olmaktadır. İşleçler t-norm ve t-conorm olmak üzere ikiye ayrılır. Kullandığımız iki-değerli

(Boolean) mantığını esas alan klasik küme teorisine dayanan fonksiyonlar, DEĞİL(NOT), VE(AND) ve VEYA(OR) işleçlerinin sonlu sayıda birleşkesinden oluşur [35].

Bu düzgelerin (norms) gerçekte ortaya çıkışı bulanık mantıkla ilintili değildir. Ölçüm uzayı (metric space) olarak anılırlar. Ölçüm uzayları M.Frechet tarafından 1906 yılında ortaya atılmıştır. M.Frechet fizik, matematik ve diğer bir çok bilim dalı için "mesafe" cinsinden genel bir idealleştirme yapmıştır. Bu uygunlaştırma, kullanılacağı alana göre farklılık gösterebilir. Ancak örnek vermek gerekirse az önce bahsettiğimiz gibi noktalar, fonksiyonlar, kümeler hatta öznel nitelik taşıyan duygular bile bu tür bir gösterimle matematik olarak açıklanabilir. Burada ölçüm uzayında ne kastedildiği, [36] tarafından bir küme içinde sınırlanmış eleman çiftlerine negatif olmayan sayılarla ilişkilendirilmesi ve bu kümeden alınan herhangi üç elemanın karşılaştırılması sırasında bazı koşulların sağlanması, şeklinde bahsedilmiştir. Ancak [36] kümedeki eleman çiftlerine birer tekil sayı atamanın gereğinden fazla yapılmış bir en uygunluk (idealleştirme) olduğunu söylemiştir. Öyleki iki eleman çifti arasındaki mesafe ölçümünün en basit haliyle, o iki ögenin arasındaki uzaklık cinsinden bile olması söz konusu ölçümün yapıldığı uzayda mesafeyi temsil edecek sayının herhangi yapılmış bir adet ölçüm değil bir dizi yapılmış ölçümün ortalaması olması gerekeceğidir. Gerçekten de tüm ölçümlere, tek bir ölçümlük deterministik yöntemle değil de istatistik yöntemlerle yaklaşmak daha uygundur [36]. Bu durumda ölçüm uzayında, p ve q gibi iki ögenin arasındaki mesafe herhangi bir F_{pq} olasılık dağılımıyla ilişkilendirilir. Bu, p ile q arasındaki herhangi bir $x \in R^+$ sayısının $F_{pq}(x)$ olasılığıyla açıklanmasını sağlar. Böylelikle söz konusu mesafe, x 'e eşit ve ondan küçük olma olasılıkları ile gösterilir. Bunu yaparak ölçüm uzayı genelleşerek duruma özgü olmaktan çıkar (Bu şekilde kendi içinde ölçüm uzayının tutarlı olmasını sağlarız). Ölçüm uzaylarıyla ilgili ilk genelleştirme kavramı, K.Menger tarafından 1942 yılında tanımlanmış ve onu takiben bu kavrama istatistik ölçüm uzayları adı verilmiştir.

Menger özgün (orijinal) makalesinde F_{pq} gibi bir olasılık dağılımı ile ilgili bazı kurgulamalar (postulation) yapmıştır. Bu kurgulamalar geliştirilmiş bir üçgen eşitsizliği içermektedir. Buna ek olarak Menger *arada olma(betweeness)* teorisini tanımlamış ve bunun pratikte ne tür işlere yarayacağından bahsetmiştir. Sıklıkla kullandığımız *üçgen düzgeler (t-norm, triangular norms)* ismi buradan gelmektedir.

Ancak üçgen eşitsizlikleriyle ispatlanması ve kullanılabilir biçimde bir temele oturtulması, Schweizer ve Sklar tarafından yapılan '*Olasılıksal Ölçüm Uzayı*' (*probabilistic metric space*) [37] isimli çalışmayla olmuştur. Zadeh daha sonra bu çalışmadaki t-norm ve t-conorm tanımlarını, bulanık kümelerin *kesişim* ve *birleşim* işlemleri [30] için kullanmıştır.

Bulanık Mantıkta Kullanılan Düzgeler (Norms)

T-Norm t-norm,triangular norms)

Tanım 4.3. Bir *t-norm*, $t : [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ dönüşümü yapan aşağıdaki özelliklere sahip bir fonksiyon olarak tarif edilir.

1. $t(0, 0) = 0; t(x, 1) = t(1, x) = x$
2. Eğer $u \leq w$ ve $v \leq z$ ise $t(u, v) \leq t(w, z)$ (tekdüze,monoton)
3. $t(x, y) = t(y, x)$ (bakışım,simetri)
4. $t(x, t(y, z)) = t(t(x, y), z)$ birleşim

T-Conorm

Tanım 4.4. Bir *t-conorm*, $s : [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ dönüşümü yapan aşağıdaki özelliklere sahip bir fonksiyon olarak tarif edilir.

1. $s(1, 1) = 1; s(x, 0) = t(0, x) = x$
2. Eğer $u \leq w$ ve $v \leq z$ ise $s(u, v) \leq s(w, z)$ (tekdüze,monoton)
3. $s(x, y) = s(y, x)$ (bakışım,simetri)
4. $s(x, s(y, z)) = s(s(x, y), z)$ birleşim

T-norm, t-conorm'dan ayrı bir düzge değildir. İkisi birbiriyle ilintilidir. Her t-norm düzgesi tartışma götürmez şekilde t-conorm düzgesini belirler. Bunun tersi de aynen geçerlidir. İki düzge birbirinin tamamlayıcısıdır. Söz konusu bu yakın ilişki aşağıdaki şekilde tarif edilir.

$$s(x, y) = 1 - t(1 - x, 1 - y)$$

$$t(x, y) = 1 - s(1 - x, 1 - y)$$

Bu düzgelerle uyan bir çok işleç vardır. ancak en çok kullanılan işleçler, enbüyükleme t_{eb} ve enküçükleme t_{ek} işleçleridir.

Durulaştırma

Her ne kadar belirsizlik içinde modelleme yapmak için bulanık kümeler en uygun araçlar gibi gözükse de, bulanık mantık kullanılarak yapılan hesaplama ya da kestirimlerin sonucunda bulanık sayı ve(ya) kümelerin belirgin sayılara dönüştürölmesi gerekir. Durulaştırma ile ilgili ayrıntılı çalışma [38] verilmiştir.

Çok sık kullanılan durulaştırma yöntemleri aşağıda verilmiştir. Durulaştırma yöntemlerini belli bir biçimde göstermek için belli bir gösterim şekli kullanılmıştır. x^* , bulanık bir süreçten sonra yapılan bir durulaştırma işlemi sonucunda bulanık belirgin değeri temsil etmektedir. X bulanık kümenin temsil ettiğı fiziksel bölge, μ bu bölge üstünde herhangi bir bulanık kümeye ait üyelik fonksiyonunu göstermektedir. Sonuç olarak $\mu(x)$ işlemi, X bölgesinde tanımlanan herhangi bir x değerine karşılık gelen üyelik derecesini hesaplamak için kullanılır. Durulaştırma yönteminin seçimi kullanacağıımız amaç ve sisteme göre değışir.

Ağırlık Merkezi Yöntemi

En çok kullanılan yöntemdir. Ancak, bulanık çıkarım sonucunda elde edilen kümeler birbiri üzerine binmiyorsa, bu yöntemin kullanmak doğru olmaz. Çünkü elde edilen belirgin sayı her iki kümeye ait olamayan bir bölgede bulanabilir. Bunun dışında, çıkarım sonrası elde edilen yeni bulanık birleşim kümesinin şekli, ağırlık merkezi yönteminin kullanılması için uygun olmayabilir.

Durulaştırmanın başarısı uygulamaya bağılıdır ve biraz da öznelidir. Ancak sonuç bulanık kümesinin kural tabanında ateşlenen kuralların bir özü olduğı düşünölürse, bu sonuç kümesindeki geometrik şekle adil davranmak ağırlık merkezi yönteminin özelliğidir. Ancak ağırlık merkezi yönteminin tam olarak adil olduğı da tartışmalıdır. Örneğın ağırlık merkezi yönteminin üyelik derecesi yüksek olan bulanık küme parçalarını göz ardı etmesi nedeniyle, Roventa ve Spircu [39] 'super-center' yöntemini önermişlerdir. Ağırlık merkezi yöntemi;

$$x^* = \frac{\int \mu_U(x)xdx}{\int \mu_U(x)dx}$$

eşitliğinden hesaplanır. Ancak bu yöntem hesaplama açısından, bilgisayar uygulamalarında zaman alıcıdır. Bunun için ağırlık merkezi yöntemi için nümerik çözümlerle yaklaşımları geliştirilmiştir [40].

Yükseklik Yöntemi

Bu yöntem, birleşik sonuç bulanık kümesindeki zirve üyelik derecelerini seçerek, bunların ağırlıklı ortalamasını hesaplar. Durulaştırma sonucu elde edilecek belirgin sayı;

$$x^* = \frac{\sum_{k=1}^m c^k \times \mu_k}{\sum_{k=1}^n \mu_k}$$

eşitliğinden hesaplanır. Eşitlikteki c^k , zirve üyelik derecesinin bulunduğu k noktasındaki belirgin değer, μ_k bu noktada ki üyelik derecesini göstermektedir.

İlk-Enyüksek Değer Yöntemi

Uygulanması en kolay olan yöntemdir. En yüksek üyelik derecesine sahip olan ilk x değeri, belirgin değer olarak kabul edilir. Yöntemim biçimsel (formal) yazılışı;

$$x^* = \underset{x \in X}{ilk} enyükdeğer \{x \in X | \mu_X(x) = enyük(U)\}$$

şeklindedir.

Son-Enyüksek Değer Yöntemi

İlk-enyüksek değer yönteminin aksine, üyelik derecesi yüksek en son x sayısını belirgin sayı olarak alır. Yöntemim biçimsel yazılışı;

$$x^* = \underset{x \in X}{son} enyükdeğer \{x \in X | \mu_X(x) = enyük(U)\}$$

şeklindedir.

En-yüksek Değerler Ortalama Yöntemi

Bu yöntem ilk-değer ve son-değer enbüyük yöntemlerinin birleşiminden oluşur ve iki yöntemle hesaplanan x belirgin sayısının ortalaması durulaştırma sonucu olarak hesaplanır. Bu eşitliğin biçimsel yazılışı;

$$x^* = \frac{\underset{x \in X}{ilkeny\u00fckde\u011fer}\{x \in X | \mu_X(x) = eny\u00fck(U)\} + \underset{x \in X}{soneny\u00fckde\u011fer}\{x \in X | \mu_X(x) = eny\u00fck(U)\}}{2}$$

şeklindedir.

4.3.2 Yapay Sinir Ağları

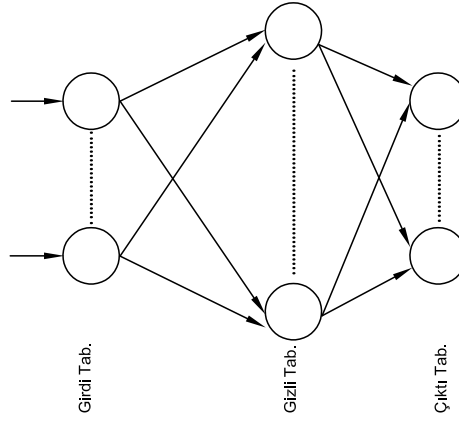
Yapay sinir ağları (YSA), kısaca bilgi işleme sistemleri olarak kısaca tanımlanır. YSA'ların en sık kullanıldığı alanlar aşağıdaki gibi listelenebilir.

1. Sınıflama
2. Görüntü tanımlama
3. Görüntü tamamlama
4. Bozuk veri temizleme (filtreleme)
5. Eniyileme
6. Kontrol

YSA 'ların yapısı, hesaplama ögeleri ve bunları birbirine bağlayan ağırlıklara sahip bağlantılardan oluşur. Şekil 4.6'da genel olarak bir YSA yapısı görülmektedir. Farklı sayıda hesaplama ögesinin (sinir olarak da anılır) bir doğru üzerinde dizildiği yer tabaka olarak anılır. YSA ağları genel olarak girdi ve çıktı olmak üzere en az iki tabakadan oluşur. Ara tabaklar gizli tabaka olarak adlandırılırlar. Bağlantılar birbirini takip eden tabakalardaki hesaplama ögelerini birbirine bağlar. Her ögenin bir sonraki tabakadaki bir ögeye bağlanma zorunluluğu yoktur. Örneğin, giriş tabakasındaki bir öge doğrudan çıktı tabakasına da bağlanabilir.

Hesaplama ögeleri aşağıdaki özelliklere sahiptirler.

1. Her hesaplama ögesi bağımsızdır. Öge, kendine gelen ağırlıklandırılmış bir sayıyı kendi özellikleri doğrultusunda işler.
2. Her hesaplama ögesi yerel bilgiyle çalışır. Ögeler birbirlerinin ürettikleri bilgileri ağırlıklar yardımıyla işleyerek çalışırlar. Bu nedenle de ögenin tek başına ürettiği bilgi kullanılarak ağa ait genel çıkarım yapmak mümkün değildir.
3. Ögelerin sayısı arttıkça, ağın öğrenme gücüde artar. Ancak bu öğrenme süreci için gerekli bilgi işlem gücünü ve zamanı da arttır.



Şekil 4.6: Yapay sinir ağının temel yapısı

YSA'lar güçlü bir modelleme aracıdır. Yukarıdaki iki özelliğin kazandırdığı paralel işlem yeteneği YSA 'ları karmaşık ilişkilerin modellenmesi için güçlü bir araç yapar. Ulaştırma planlamasında sıklıkla kullandığımız regresyon analizi gibi yöntemler bir ön bilgi gerektirir. Modelleneyecek olayın önceden denklemi yazılarak ($y = ax + b$ gibi) eldeki gözlemlere göre bu denkleme ait katsayılar kestirilir. Buna ek olarak bu yöntemler, hataların bir istatistik dağılıma göre (genellikle normal dağılım) dağıldığı varsayımını yapar. Eğer modellemeye çalıştığımız olay öngördüğümüz denklemden farklı bir yapıdaysa modelin başarımı düşecektir. Gözlemlerin beklediğimiz dağılımdan farklı olması da modeli olumsuz etkiler. YSA 'lar bu açıdan üstünlüklere sahiptirler. Ön bilgi olmaksızın girdi ve çıktılar arasındaki ilişkiyi bulabilirler. Buna ek olarak bağımsız değişkenlerin arasındaki otokorelasyon ilişkisinden etkilenmezler [41]. Ancak YSA 'lar regresyon analizinde olduğu gibi ilişkileri temsil eden katsayıları her zaman üretmek mümkün değildir. Ancak, bu çalışmada kullanılan *logit andırımı* YSA (LA-YSA)'larla regresyon analizi gibi katsayılar üretmek mümkündür.

Bir YSA ağının kullanmadan önce aşağıdaki üç temel ögenin belirlenmesi gerekir.

1. Ağ yapısı; Ağın kaç tabakaya sahip olacağı, her tabaka da kaç hesaplama ögesi olacağı ve bunların bağlantıları
2. Öğrenme; Ağın öğrenme algoritması
3. Üretim ; Öğrenmiş bir ağdan, girdilere karşı alınacak çıktılarının biçiminin belirlenmesi. Örneğin, hangi aralığa göre girdi ve çıktılarının normalize edileceği

Ağ yapısı modelleme aşamasının ilk ve en önemli aşamasıdır. Bu nedenle bir YSA ağının belirlenmesinden önce modelleneyecek olayın amacının iyi tanımlanması gerekir.

İstatistiksel bir tahmin yapıyorsak, öğrenme gücü yüksek bir ağ uygun olmaz. Bunun nedeni ağın örneği modellemesi ve toplumu yansıtmaktan uzaklaşmasıdır.

YSA 'ların çalışma ilkeleri ve ayrıntılı bilgi Sinenco ve Lau [42]'de verilmiştir.

5. ULAŞTIRMA TÜRÜ SEÇİMİNDE ESNEK HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

Ulaştırma modelleri, mevcut sistemi iyileştirmek ya da geleceğe yönelik yeni yatırımların olabilirliğini (fizibilite) sınamak açısından önemli araçlardır. Amaçlar ister kısa dönemli, ister uzun dönemli olsun modeller, değişkenlerin etkilerini doğru yansıtmalıdır. Ulaştırmanın ana ögesi olan insan, yolcu ve dolaylı olarak da yük hareketlerini belirler. Bir çok ekonomik pazar insan davranışı üzerine oluşur ve ulaştırma da bu pazarlardan biridir. İnsanların her gün aldığı ulaştırma kararları ulaştırma taleplerini oluşturur (Bkz. Bölüm 2) Bu çalışmamamızın konusu türel ayırım, gözlenebilen değişkenler yardımıyla ulaştırma türlerinin seçimini kestirebilen matematik modellerdir. Tür seçimi için en sık kullanılan modeller, rastgele yarar teorisine dayanan bireysel seçim modelleridir. Bu modeller Bölüm 3’de ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Tür seçimini etkileyen, etkenler üç ana grupta incelenir.

1. Yolculuğun şekli (örneğin; amaç, günü, saati)
2. Yolcunun özyapısı (örneğin; gelir, yaş, araç sahipliği)
3. Ulaştırma sisteminin özyapısı (örneğin: mümkün olan türler için göreceli yolculuk zamanları)

Kullanılan bireysel seçim modelleri içinde en sık kullanılanı logit modeldir. Logit model ve türetilmesi ile ilgili ayrıntılar Bölüm 3’de verilmiştir.

Modellerin en hassas noktası belirsizliktir. Belirsizliği ele alma tekniği modelin de yapısını belirler. Deterministik modeller belirsizliğin olmadığını, tüm ölçümlerin doğru yapıldığını varsayar. Ulaştırma planlamasında, özellikle insan etkenin girdiği olaylar da belirsizliğin kaynağı ölçüm hatası, algılama hatası, yöntem hatası gibi bir çok etkenden kaynaklanabilir.

Yukarda bahsedilen değişken grupları içinde, özellikle insan özyapısı sayı ölçeği ile ölçülmesi mümkün olmayan (ordinal) birçok değişken içerir. Bu durum, sözkonusu değişkenlerin geleneksel yöntemler kullanarak çözümlemeye dahil edilmesini güçleştirir. Deterministik modeller yerine kullanılan rastgele seçim modelleri,

gözlenemeyen, ölçülmesi ya da modele yansıtılması güç olan değişkenleri modele bir hata katsayısı ile yansıtır. Modelin biçimi bu hata katsayısının olasılık dağılımı ile belirlenir.

Rastgele seçim modelleri ile başarılı kestirimler yapılabilmektedir [17]. Ancak buna rağmen rastgele seçim modelleri, ulaştırma türel ayırım kestirimleri için her zaman başarılı sonuçlar vermemektedir. Buna neden ulaştırma verilerinin (örneklemenin) rastgele seçim modelinin katsayılarının kestirimi (kalibrasyon) için yetersiz büyüklükte olması (Bkz Sf 80) ya da verilerin beklenenden daha hatalı ölçülmesidir (kesinliksiz). Diğer yandan her zaman akılcı seçim ilkesine göre hareket etmeyen insan davranışlarına ait verilerin varlığı, modelin ana varsayımlarını doğrudan etkiler. Bu da modelin başarımına olumsuz etkiler.

Elimizdeki verilerden, tür seçimi ile ilgili bir ilişki bulmanın başka bir yolu var mıdır? Bu çalışma, esnek hesaplama yöntemleri bağlamı içinde, bu soru üzerine odaklanmıştır. Daha önce yapılan çalışmalar ışığında Eskişehir Ulaştırma Ana Planı kapsamında toplanan veriler kullanılarak, geleneksel tür seçimi modelleri ve esnek hesaplama modelleri ele alınacaktır.

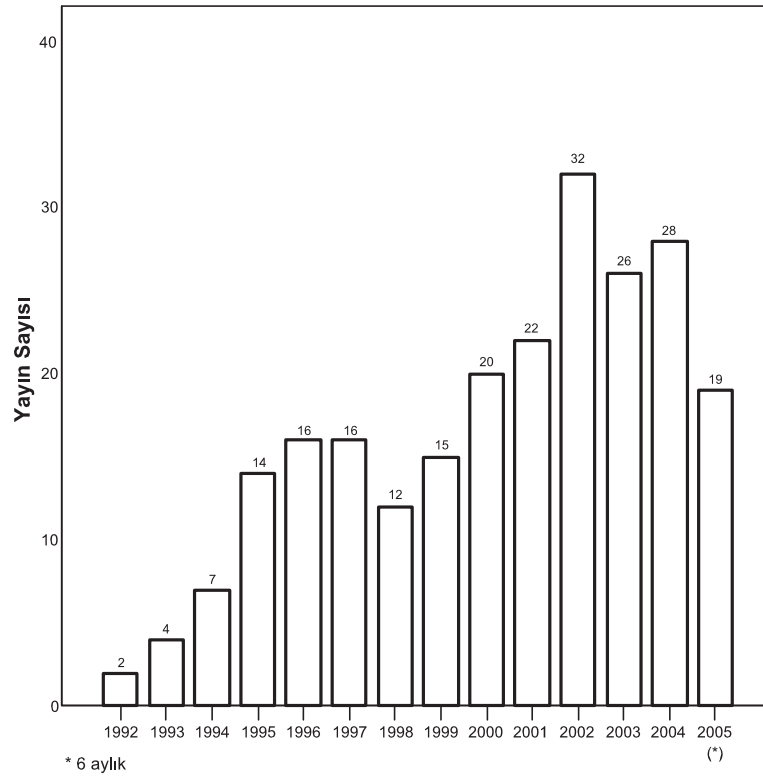
5.1 Bireysel Seçim Modelleri ve Esnek Hesaplama Yöntemleri

Bireysel seçim modelleri içinde en yaygın olarak kullanılan logit modelidir. Bu nedenle bireysel seçim problemleri denilince akla çoğu zaman logit model gelir ancak bazen logistic regresyon olarak da anılır. Logit model sadece ekonomik bir seçim modeli değil, bir sınıflama aracı olarak da kullanılır. Seçim problemlerine sınıflama problemi olarak bakmak mümkündür. Örneğin, özel araç seçenler ile toplu taşıma seçenlerin, bu sınıflamayı etkileyen değişkenlere göre kestirilmesi gibi. Logit model bu özelliği sayesinde tıpta görüntü tanımlama, hastalıkların sınıflandırılması [43, 44], doğa bilimlerinde çevresel ve diğer etkenlere göre türlerin sınıflandırılması [45–47] gibi bir çok problemde kullanılır. Esnek hesaplama yöntemleri, logit modelin yetersiz kaldığı durumlarda bir seçenek olarak kullanılmış ve iki yöntemin başarımı konusunda bir çok bilim yazısı yayınlanmıştır. Ulaştırma dahil olmak üzere bireysel seçim modellerinde logit model kullanımıyla ilgili kaygılar dile getirilmiştir. Örneğin Golfberg ve Kaczka [48] ikili logit modelin, kullanıcının karmaşık düzeydeki seçenekler karşısındaki davranışın tahmininde yarattığı sıkıntıya ve planlamacıların modelin kalibrasyonu ile ilgili yaşadığı sorunlara değinmiştir. Ancak esnek hesaplama tekniklerinin logit model seçenek olarak kullanılması kimi zaman sert tartışmalara da neden olmuştur. Bu konudaki en sert tartışmalardan biri siyaset bilimlerinde yaşanmıştır. Bu tartışma; Beck ve diğ. iki ülkenin çatışma olasılığını logit modele seçenek olarak YSA'lar kullanarak modellemesi [49], De Marchi ve diğ. bu çalışmaya

karşı yaptığı eleştiri [50] ve buna Beck ve diğ. verdiği cevaptan oluşur. Bu üç bilim yazısına ileri bölümlerde yeri geldikçe değinilecektir.

Bu çalışma kapsamında, logit model ve esnek hesaplama yöntemleriyle ilgili olarak tüm bilim dallarına ait on beşe yakın veri tabanı taranmış 1992 den günümüze konuyla ilgili çeşitli dallarda 233 yayın belirlenmiştir. Bu yayınların 50 adedi elektronik ya da basılı olarak elde edilememiştir. Bunun nedeni yayınların bir çoğunun ücretli olarak sağlanmasıdır. Tablo 5.1’de incelenen yayınların yıllara ve alanlarına göre dağılımları verilmiştir.

Şekil 5.1 de sırayla yayınların yıllara göre dağılımı ve yüzdeleri görülmektedir. Grafiklerden görüldüğü gibi, yönetime önce temkinli yaklaşılmış, daha sonra yöntemin kabul görmesiyle uygulama sayısında 2000 yıllara doğru hızlı bir artış yaşanmıştır. 2002 yılı en çok yayının yapıldığı yıl olurken, 2003 yılında yayın sayısında azalma göze çarpmaktadır. Ancak tarama 2005 yılının ilk yarısını kapsamasına rağmen yayın sayısı dikkate alındığında artışın devam edeceği söylenebilir.

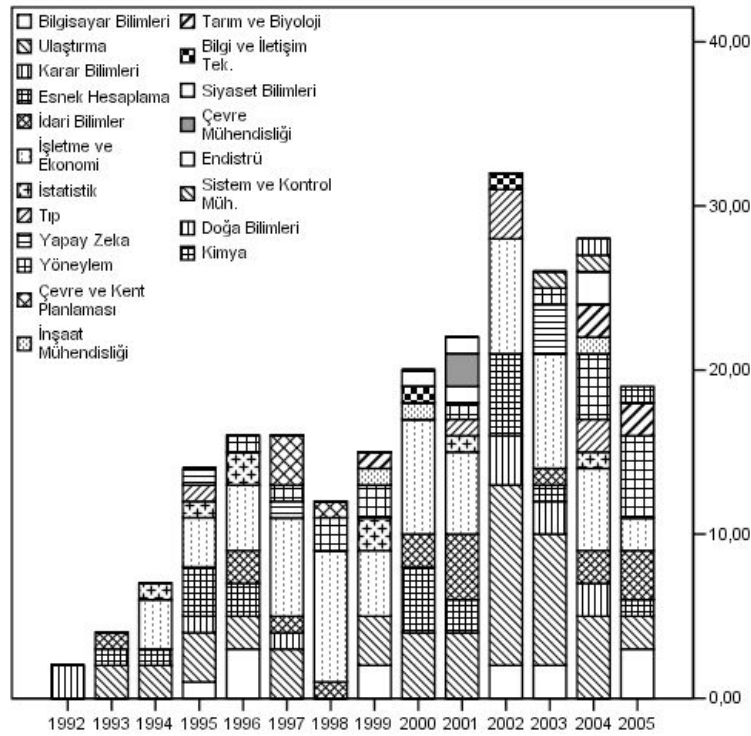


Şekil 5.1: Yayınların yıllara göre dağılımı

Yayınların alanlara ve yıllara göre dağılımı Şekil 5.2 de gösterilmiştir. Yayınlar içinde işletme ve ekonomi, arkasından ulaştırma en yüksek yayın miktarına sahiptir. Ulaştırma ve söz konusu iki alandaki yayınların sayısının yüksek olması, tür seçim

Tablo 5.1: Logit model ve esnek hesaplama yayınlarının yıl ve alanlarına göre dağılımı

Yayın yılı	Bilgisayar Bil.	Ulaştırma	Karar Bil.	Esnek Hes.	İdari Bil.	İşletme ve Ekonomi	İstatistik	Tip	Yapay Zeka	Yöneylem	Çevre ve Kent Plan.	İnşaat Müh.	Tarım ve Biyoloji	Bilgi ve İletişim Tek.	Siyaset Bil.	Çevre Müh.	Endüstri	Sistem ve Kontrol Müh.	Doğa Bil.	Kimya	Sayı
1992	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
1993	0	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
1994	0	2	0	1	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
1995	1	3	1	3	0	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14
1996	3	2	0	2	2	4	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16
1997	0	3	1	0	1	6	0	0	1	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16
1998	0	0	0	0	1	8	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
1999	2	3	0	0	0	4	2	0	0	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	15
2000	0	4	0	4	2	7	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	20
2001	0	4	0	2	4	5	1	1	0	1	0	0	0	0	1	2	1	0	0	0	22
2002	2	11	3	5	0	7	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	32
2003	2	8	2	1	1	7	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	26
2004	0	5	2	0	2	5	1	2	0	4	0	1	2	0	2	0	0	1	1	0	28
2005	3	2	0	1	3	2	0	0	0	5	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	19
Toplam	13	49	11	20	17	61	8	7	5	17	4	3	5	2	4	2	1	2	1	1	233



Şekil 5.2: Yayınların alan ve yıllara göre dağılımı

modellerinin kökenin ekonomik varsayımlara dayanmasıdır. Daha önceki bölümlerde ekonomik varsayımlar içindeki tüketici ögesini ulaştırma da yolcuya karşılık geldiğine değinmiştik. Uygulamada aktörler değişse de, temel olarak varılmaya çalışılan amaç aynı kalmaktadır. Ancak çalışmaların neredeyse tamamına yakın bölümü YSA ve logit üzerine yapılmıştır. Diğer esnek hesaplama yöntemleri olan bulanık mantık ve genetik algoritmaların logit modele karşı kullanıldığı çalışma sadece 2 adettir. Bunun nedeni, YSA'ların bilinenin aksine istatistik bir yöntem olan logit modelle olan andırımının kurulmuş olması [51], [52], [53] ve öğrenme yeteneğine sahip olmasıdır. Ayrıca YSA'ların diferansiyel bir eşitlikle açıklanması, eniyilme ve kestirim için bulanık mantığa göre bu yöntemi daha uygun kılmaktadır.

5.2 Ulaştırmada Esnek Hesaplama Yöntemlerinin Kullanımı

1980 lerin sonunda bir grup araştırmacı, trafik ve ulaştırma uygulamalarında bulanık mantık uygulamalarıyla ilgili önemli girişimler yapmışlardır. Nakatsuyama ve diğerleri[54], Sugeno ve Murakami [55], Sugeno ve Nishida [56], ve özellikle Sasaki ve Akiyama'nın, [57–59], yılında yapmış oldukları çalışmalarla, bulanık mantık teorisinin, karmaşık trafik ve ulaştırma problemlerinin çözümü için yararlı bir araç olduğunu göstermişlerdir. 1980 lerin sonuyla 1990 ların başına kadar olan dönemde trafik ve ulaştırma problemlerinde, bulanık mantık teorisinin kullanımı hızlı bir artış

göstermiştir. Özellikle Delaware üniversitesinden Shinya Kikuchi, çalışmalarıyla, bu konuda öncülük etmiştir. 1990 ların başında ve ortasında, bulanık mantık çözümlemelerinin, trafik ve ulaşım problemlerinde kullanılması diğer üniversitelerdeki ilgili anabilim dallarında da ilgi görmeye başlamıştır. Farklı trafik ve ulaştırma problemleri bulanık mantık yöntemleriyle başarıyla çözümlenmiştir.

1990 larda, ulaştırma problemlerinin çözümünde 15'in üzerinde yapay sinir ağı uygulaması ile ilgili bilim yazısı yayınlanmıştır [60]. Bu dönemde çıkan yayınların büyük kısmı karayolu ulaştırması ile ilgilidir. Yang ve Dougher, bir sürücünün akılcı ve içgüdüsel olmak üzere yaptığı davranışları yapay sinir ağlarıyla modellemişler, geliştirdikleri ağ üzerine oluşan yeni verileri modele yüklediklerinde, *logit model* gibi diğer modelleme seçeneklerine göre çok daha hızlı ve doğru sonuçlar elde etmişlerdir [60]. Ayrıca, sürücü davranışının benzetimi üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Örneğin Hunt ve Lyons, yol üzerinde şerit ve hızını değiştiren sürücünün davranışını modellemek için yapay sinir ağları (YSA) kullanmıştır [61]. Ritchie ve Cheu trafik kazaları, bozulan araçlar, yola düşen yükler, onarım ve yapım gibi nedenlerden kaynaklanan uzun süreli trafik sıkışıklıkları tahmini için YSA'ları kullanmışlardır. YSA ve bulanık mantık kullanarak, yoldaki trafik kazalarının tahminine yönelik bir çok çalışma yapılmıştır [62–66]. Gene YSA lar kullanılarak şehir trafiğindeki tıkanıklıklar ve mevsimsel dalgalanmaların tahmini ve başlangıç-varış matrislerinin bulunması çalışmaları yapılmıştır. Trafik akımlarının uzun dönem tahminlerinde esnek yöntemler iyi sonuçlar vermiştir [60].

Bugün, esnek hesaplama yöntemleri, ciddi ulaştırma problemlerinin çözümleri için kullanılabilecek aşamaya gelmiştir. Esnek hesaplama yöntemleri içinde YSA'nın diğer yöntemlere göre çok ağırlığı daha fazladır. Bunun nedeni YSA ların doğrusal-olmayan ilişkileri modellemede istatistik yöntemlerinden daha güçlü olmasıdır. YSA lar sahip olduğu yüksek öğrenme kapasiteleri nedeniyle, ulaştırma verilerinin işlenmesinde ve tahmin yapılmasında sıklıkla kullanılmıştır. Ulaştırma alanında YSA'ların kullanılmasıyla ilgili ayrıntılı çalışmalar Dougherty [67] tarafından yapılmıştır.

5.3 Tür Seçimi ve Esnek Hesaplama Yöntemlerinin Kullanımı

Bu bölümü de, sadece ulaşırmadaki tür seçimi değil genel anlamda kullanılan seçim problemlerinde kullanılan logit model incelenmiştir. Çünkü tür seçiminde kullanılan logit model bir bireysel seçim modelidir ve ulaştırma dışında ekonomi, seçim anketi vb. birçok konuda kullanılmaktadır. Bunun doğal sonucu olarak bireysel seçim modelleri ulaştırma dışında oldukça sık ve yaygın kullanılır.

5.3.1 Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağlarının tek başına değerlendirildiği çalışmalar yayınlanmasına rağmen, istatistik çözümlemelerle seçenek olarak sunulduğu karşılaştırmalı çalışmalar oldukça azdır [51]. Diğer yandan, logit modelde kullanılan hata dağılım fonksiyonun, YSA lardaki etkinleştirme (aktivasyon) fonksiyonu olan *sigmoid fonksiyonuyla* çok benzerler. Logit model YSA arasında hem matematiksel hem de benzerlik ilişkisi kurması bakımından Scumacher ve diğ.[51] çalışması oldukça ilginçtir. Genel olarak kara kutu olarak tanımlanan YSA sistemi, Scumacher ve diğ. tarafından logit modeli andırım yapacak şekilde tasarlanmıştır.

Logit model fonksiyonunu tekrar hatırlarsak;

$$P(y = 1|) = \Lambda(\beta_0 + \sum_{i=1}^I \beta_i x_i) \quad (5.1)$$

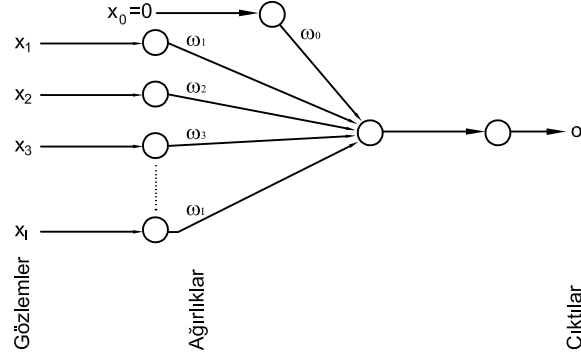
Λ ile tanımlanan $\Lambda(u) = 1/(1 + e^{-u})$ logit fonksiyonudur. Logit model bir tür regresyon modelidir ve genelleştirilmiş doğrusal regresyonun özel bir biçimidir [51]. Bu nedenle 5.1 eşitliği;

$$E(y|x) = \pi(x, \beta) \quad (5.2)$$

istatistik regresyon ifadesi ile de tanımlanır. Eşitlik 5.1, x gözlem vektörü ve kestirilmiş β katsayıları altında $y = 1$ olma olasılığını hesaplar. Katsayıların kestirimi için kullanılan yöntem enbüyük olabilirlik yöntemidir. 5.1 deki eşitliğin enbüyük olabilirlik denkleminin logaritmik biçiminin (L) enbüyüklenmesiyle β katsayıları kestirilir.

$$L(\beta) = \sum_{n=1}^N [y^n \log \pi(x^n, \beta) + (1 - y^n) \log(1 - \pi(x^n, \beta))] \quad (5.3)$$

Yukarıdaki eşitlikte yer alan (x^n, y^n) çifti, n 'ninci kişiye ait gözlemleri temsil eder. N gözlem sayısıdır. $\hat{\beta}$ kestirimi 5.3 eşitliğinin çözümünden elde edilir. Bu, $L(\beta)$ nin her bir β_i değişkenine göre birinci türevinden elde edilen ve sıfıra eşitlenen denklemlerin çözümüyle yapılır.



Şekil 5.3: Logit model andırımı yapay sinir ağı modeli

$$\frac{\partial L(\beta)}{\partial \beta_i} = \sum x_i^n (y_i^n - \pi(x^n, \beta)) = 0 \quad (5.4)$$

$\hat{\beta}$ 'yi kestirmek için, enbüyük olabilirlik fonksiyonunu en büyükleyecek değerlerin bulunması gerekir. Bunun için kullanılan yöntemler Newton-Raphson yöntemidir.

Schumacher ve diğ. [51], YSA ile logit model çalışması, sadece YSA'ların yüksek öğrenme kapasitesinin kullanarak girdi ve çıktı verileri arasında bir ilişki bulmasından çok, YSA'ları logit model andırımı yapacak şekilde tasarlamış olmalarıdır (Şekil 5.3). Bu YSA'lara yapılan en büyük eleştirilerden birisi olan *kapalı kutu* tanımına karşı oldukça farklı bir yaklaşımdır. Şekil 5.3'de görüldüğü gibi, YSA'lara ait ağırlıklandırma katsayıları, logit modeldeki değişken katsayılarıyla özdeşleştirilmiştir. Schumacher ve diğ. YSA modeli;

$$0 = f(x, w) \quad (5.5)$$

$$= \Lambda(w_0 + \sum_{i=1}^I w_i x_i) \quad (5.6)$$

biçiminde yazılır. Burada, $x = (x_0, x_1, \dots, x_I)$ girdi vektörü, $w = (w_0, w_1, \dots, w_I)$ ise ağırlıklar vektörüdür. YSA larla ilgili öğrenme kavramı, N adet gözlem serisine göre w ağırlık vektörünün bulunmasıdır. Bu vektör kestirilmiş $\hat{w}$ ağırlık vektörü olarak adlandırılır. Bu vektörün kestirilmesi için izlenen yol (öğrenme süreci) enerji ya da öğrenme fonksiyonun enküçüklenmesi ile elde edilir.

$$E(w) = \sum (y^n - f(x^n, w))^2 \quad (5.7)$$

$E(\cdot)$ sözü edilen enerji fonksiyonudur. Eşitlik 5.7 ile söylenen enerji fonksiyonu aslında enküçük kareler yöntemi yani, sapmayı en küçük yapan $\hat{w}$ vektörünün bulunmasıdır. En küçükleme süreci için, $E(\cdot)$ enerji fonksiyonunun 5.4 'e benzer şekilde kısmi türevini alırız.

$$\frac{\partial E(w)}{\partial w_i} = \sum 2f(x^n, w)(1 - f(x^n, w))x_i^n(y^n - f(x^n, w)) = 0 \quad (5.8)$$

Bu öğrenme şekli, *geri-yayılmalı (back-propagation)* yöntemi olarak anılır.

$$\hat{w}^{\nu+1} = \hat{w}^\nu - \eta \partial E(\hat{w}^\nu) \quad (5.9)$$

Yukarıdaki eşitlik 5.9, *enküçük kareler-geri yayılma yöntemi (EK-GY)* için yazılır. Öğrenmeye başlamadan önce $\nu = 0, 1, \dots$ ve $\hat{w}^0$ gibi uygun başlangıç değerleri seçilir. Başlangıç değerleri rastgele seçilebilir [41] . η ile gösterilen katsayı '*öğrenme oranı*' adlandırılan $(0, \infty]$ aralığında bir katsayıdır. Bu yöntem çok bilinen, sabit hızlı en hızlı düşüş (steepest descent) yöntemidir.

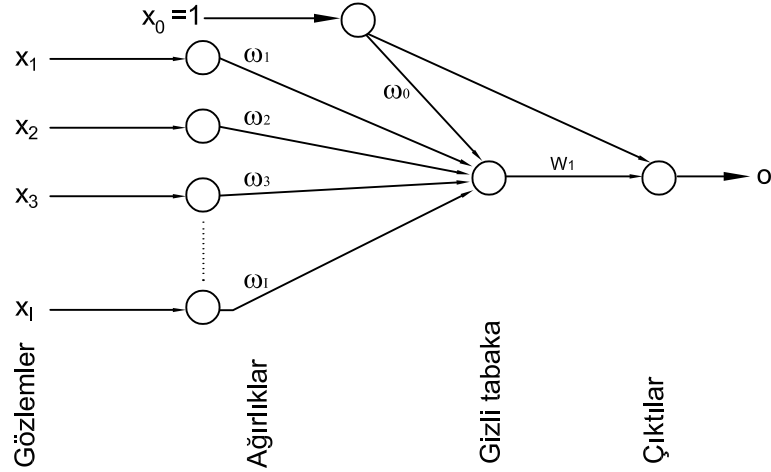
Şekil 5.3 de gösterilen YSA yapısını kısaca;

$$f(x, w) \quad (5.10)$$

ile göstermek mümkündür ve bu eşitlik 5.2 ile aynı dönüşümü yapan bir fonksiyonu andırır. Böylelikle YSA daki w ağırlık katsayılarının, logit modeldeki β katsayılarıyla benzerliği kolayca görülebilir. Buraya kadar tarif edilen YSA yapısı ikili logit model içindir. Schumacher ve diğerleri çoklu-logit model içinde YSA yapısı tanımlamışlardır [51].

Diğer yandan Schumacher'ın tanımlamış olduğu YSA yapısı tek katmanlıdır. Ancak bazen bu basit yapı gürültülü verilere karşı başarılı bir öğrenme süreci vermeyebilir. Bu nedenle ek gizli tabakalarla bu eksikliği gidermek mümkün olabilir. Bu tür bir YSA yapısı Şekil 5.4 de verilmiştir.

Şekil 5.4 'da gösterilen YSA 'yı biçimsel şöyle yazabiliriz;



Şekil 5.4: Logit model andirımlı gizli tabakalı yapay sinir ağı modeli

$$o = g(x, w) \quad (5.11)$$

$$= \Lambda(W_0 + W_1 \cdot \Lambda(\sum_{i=0}^I w_i x_i))$$

Scumacher ve diğ. [52] bu YSA'nın tanımını, logit regresyonun ölçeklenmiş biçimi olarak yapmışlardır. Ancak diğ. yandan eşitlik 5.11'daki $u \rightarrow \Lambda(W_0 + W_1 \cdot \Lambda(u))$ dönüşümünün her zaman tekdüze yapıda olması nedeniyle, gizli tabakada sadece bir hesaplama ögesi bulunması logit model yaklaşımı için yeterli olmaz [51]. Bu nedenle de gizli tabakada birden fazla hesaplama ögesi noktasının bulunduğu ($J > 1$) bir sinir ağı yaklaşımı önerilir. Bu ağı için eşitlik 5.11 daki işlev aşağıdaki şekilde yazılır.

$$o = f(x, w) \quad (5.12)$$

$$= \Lambda(W_0 + \sum W_j \cdot \Lambda(\sum w_{ij} x_i))$$

Bu ağı modelinin de çoklu logit modele uyarlanması mümkündür [51]. Ancak bu tür ağların hesap güçleri artmasına karşın, ilk yapıdaki (Şekil 5.3) logit model andirimını büyük ölçüde kaybeder. Bağımsız değişkenlere ait etkili katsayıların gücü farklı hesaplama ögeleri arasında dağılması, logit modeldeki katsayılara karşılık gelen ağırlıkların YSA daki karşılıklarını kaybetmesine neden olur.

Schmacher ve diğ. tanımladıkları bu ağı modelleri ile sayısal çalışmalar yapmışlar ve modellerin başarımlarını karşılaştırmışlardır [51]. Schumacher ve diğ. bu çalışma için Finney [68] verilerini kullanmışlardır. Finney, V hacminde ve R oranında alınan

Tablo 5.2: İkili logit model ve logit andırımı YSA kestirimleri

	Değişken	Kestirim	Standart hata	P-değeri
Logit I	Sabit	-0.47	0.439	-
	LogR	1.336	0.665	0.045
L=-24.543				
Logit II	Sabit	-2.924	1.288	
	logR	4.631	1.789	0.01
	logV	5.221	1.858	0.005
L=-14.632				
	Girdi	Kestirilmiş ağırlık	Öğrenme oranı (η)	
YSA I	ϖ_0	-0.469	0.001	
	ϖ_1	1.335		
E* =24.554				
YSA II	ϖ_0	-2.938		
	ϖ_1	4.65	0.2-0.0001	
	ϖ_2	5.24		
E* =14.73				

nefese karşılık parmakların derisinde oluşan kılcal damar daralması arasındaki ilişkiyi ölçmek istemiştir. Finney bu daralmanın görülmesi durumu için $y = 1$, görülme durumu için ise $y = 0$ olan 39 gözlem yapmıştır. Finney'in verileri B 'de verilmiştir. Finney'in verileri birçok ayırık değer yönteminin sınanması için kullanılır. Schumacher ve diğ. logit model ve YSA ile yaptıkları sonuçlar Tablo 5.2'de verilmiştir.

Logit I ve YSA I modelleri sadece R değişkeni, Logit II ve YSA II modelleri ise R ve V değişkenleri ile oluşturulmuştur. Bu modellere ait kestirim sonuçları ise Tablo 5.2'de verilmiştir. Logit model kestirimi için enbüyük olabilirlik yöntemi kullanılmış, seçilen eniyileme için ise Kullback-Leibler mesafe yöntemi kullanılmıştır [69].

YSA modellerinin öğrenme süreci için ise; enbüyük olabilirlik-geri yayılma (EB-GY) ve enküçük kareler-geri yayılma (EK-GY) algoritmaları kullanılmıştır. Ancak EB-GY nin entropi fonksiyonun verdiği E^* değeri, L 'ye yakın olması ve kestirimler için daha iyi sonuçlar vermiştir [51].

Logit modelin en çok kullanıldığı alanlardan birisi de sınıflama problemlerdir. Sınıflama problemleri tıp alanında görüntü tanımlama, hastalıklarla ilgili etmenlerin belirlenmesi, doğa bilimlerinde çevresel etkiler ile tür sınıflandırması , gibi bir çok alanda kullanılmaktadır. Bu nedenle bu alanlarda logit modelin kullanımı sıklıkla görülür. Ancak tıpkı ulaştırmada olduğu gibi, logit modelin yetersiz kaldığı durumlara karşılık YSA ların kullanıldığı birçok çalışma yapılmıştır. Çalışma alanı farklı olsa da temelde aynı amaca sahip bu çalışmalar ve elde edilen sonuçlar dikkat çekicidir.

Doğa bilimleri alanında YSA ların ilgi görmesinin nedeni, diğer istatistik

çözümlemelerin aksine doğrusal olmayan ilişkilerde gösterdiği başarıdır [47]. Bu YSA ların en ilgi çekici ve ön önemli özelliğidir. Belirsizliğin haricinde istatistik modellerde karşılaşılan önemli diğer sorun doğrusal olmayan karmaşık ilişkilerin varlığıdır. Geleneksel istatistik model çözümlemeleri doğrusal olan/olmayan ilişkiler için bir ön bilgiye ihtiyaç duyarlar. Bu ön bilgiye dayanan ilişkiyi ortaya koymadan çözümlere gitmek mümkün değildir. Zaten doğa bilimlerinde böyle bir ön ilişkinin ortaya koyulmadan karmaşık ilişkilerin YSA ile çözümlenebilmesine Cocu ve Harrington [47] dikkat çekilmiştir.

Logit modelin bir sınıflama aracı olarak kullanılabildiğinden bahsetmiştik. YSA lar ve logit modelle yapılmış sınıflama modelleri ve bunların başarımlarının karşılaştırıldığı birçok bilim yazısı yayınlanmıştır. Bu yayınların bir çoğu işletme ve ekonomi alanından gelmiştir. Yayınlar incelendiğinde özellikle iflas tahminlerinin yapılmasında kullanılan logit ve '*ayrımcılık çözümlemesi*' (*discriminant analysis*) yöntemlerinin bu alanlarda en çok kullanılan yöntemler olduğu gözlenmektedir. YSA'ların bu iki yöntemle karşı sergiledikleri başarımlar bu alanda yapılan çalışmaların büyük kısmını oluşturduğu literatür taramasında görülmüştür.

5.3.2 Bulanık Mantık

Bulanık mantığın bireysel seçim modellerine yaklaşımı YSA'lardan farklıdır. Bulanık sistem yapısı küme ve kurallardan oluşan ögelere sahiptir. Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki *Eğer.. İse* biçimindeki kurallarla gösterilir. Bulanık mantığın bu sistem içinde bireysel seçim modeli olarak kullanmak bir çok açıdan yararlıdır. Seçim kararları akılcı seçim modellerinin tarif ettiği süreçten çok daha öznel ve aynı etkenler bir kullanıcıdan diğerine değişebilir [70] . Seçimle karşı karşıya kalan insan bu seçimini iki şekilde yapacaktır. Eğer karşılaştığı çevresel etkenler daha önce aldığı kararlarla uyum içinde ise seçimini aynı şekilde tekrar edecek, ancak farklılık halinde deneyimleriyle bu etkenler arasında benzerlik ölçümü yaparak bu yeni seçimi yapacaktır [71] . Karar verme için kullanılan bilgiler siyah ya da beyaz değildir [72]. Bu açıdan bakıldığında bile bulanık örgünün çalışma biçimi ile insan karar süreci arasındaki benzerlikler dikkat çekicidir. Bu benzerliklerden en dikkat çekici olanı, kural tabanındaki kurallara ait öncüllerin benzerlik ölçümü yapması ve daha sonra kuralların bu benzerlik ölçümüne göre harekete geçirilmesidir. (Bkn sf. 86). Bu bulanık mantığın yaklaşık (Bkz. Sf. 71) çıkarım özelliğidir ve insan da çevresel değişkenleri kesin değil yaklaşık algılar. Bu açıdan bulanık mantık yaklaşımı seçim modelleri için daha gerçekçi yaklaşım sunar.

Tüm bunlara ek olarak, gözlenen değişkenler dışında uzmanın görüşlerinde seçim modeline yansıtılması ve öznel özelliklerin kural tabanına dahil edilebilmesi diğer

istatistik yöntemlere göre bulanık mantığın en büyük özelliğidir. [71]. Bulanık mantığın yolcu seçim davranış modellerinde kullanımı için araştırmacıları güdüleyen (motive eden) üç önemli özellik vardır. Bunlar;

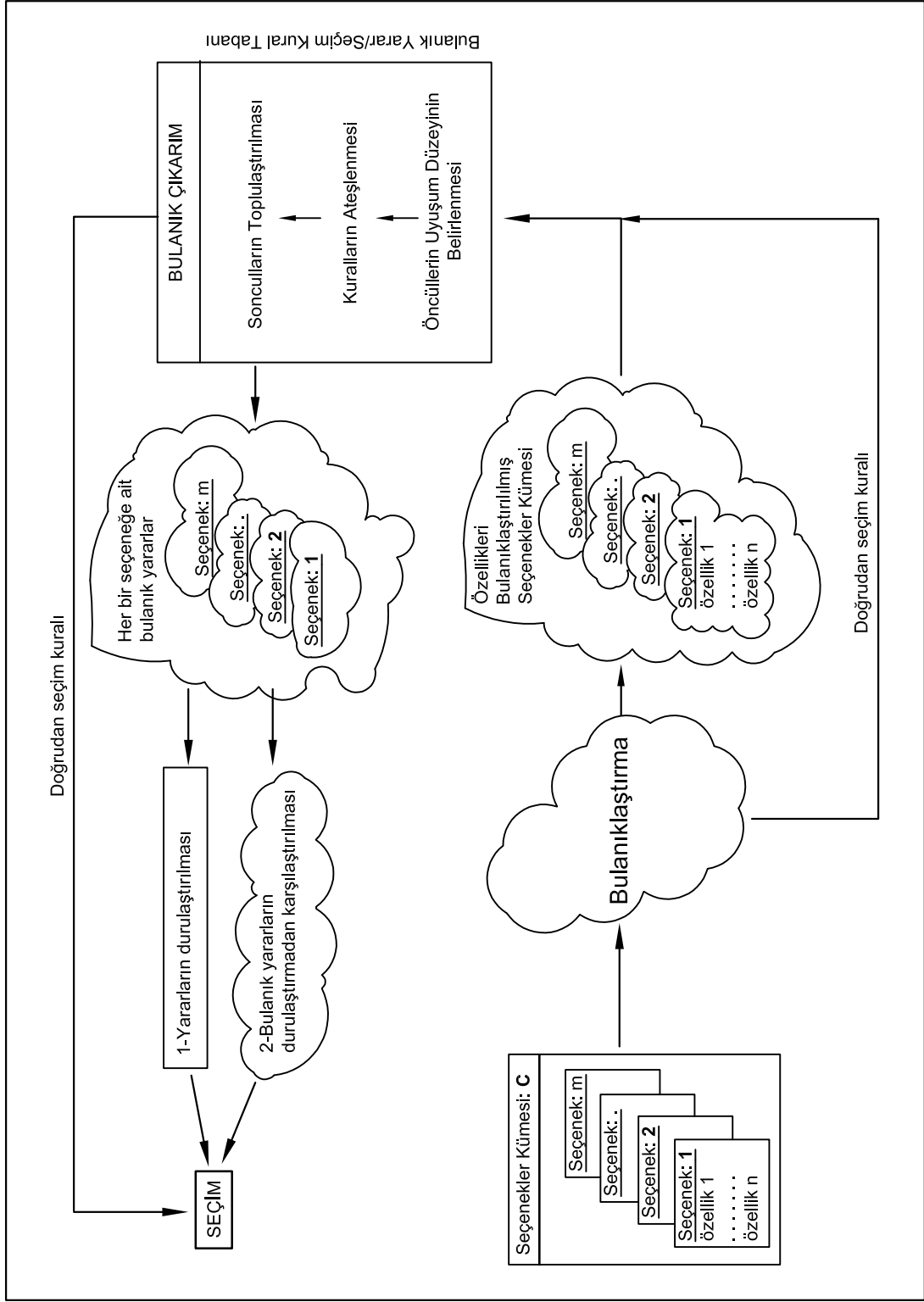
1. İnsan algılamasındaki '*muğlaklık*' ve zincirleme yolculuk özelliklerini *değerlendirme*
2. *Sınırlı sayıda kural* yardımıyla insan karar yapısının bilgi ve deneyim iskeletini modele yansıtılabilme ve *bilinmeyen/eksik* durumlara yaklaşık çıkarım ile yaklaşılabilmeye
3. Zincirleme yolculukların doğrusal olmayan, *kısmi tamamlayıcı*¹ ve *kısmi sıralı* özelliklerinin rastgele yarar modellere göre bulanık mantıkla daha esnek olarak değerlendirilebilme

Bulanık mantık çıkarımının üstünlüğüne Kikuchi ve diğ. [73], farklı bilginin parçalarını birleştirmedeki yeteneğine dikkat çekmiştir. Örneğin bir gözlem, kural tabanındaki kuralların öncülerinin farklı olmasına rağmen bunları farklı seviyelerde harekete geçirebilir. Bu da harekete geçirilen her kuralı sonuç üzerinde çeşitli seviyelerde söz sahibi yapar. Her kuralın sınırları bulanık olarak tanımlandığı için girdilerdeki küçük değişimlerde daha pürüzsüz çıktılar oluşturacaktır. Bu diğer geleneksel uzman sistemlerle karşılaştırıldığında çok daha az kuralla , daha karmaşık ve doğrusal olmayan olayları modelleme imkanı getirir.

Bulanık sistemlerin seçim modellerine uyarlamanın çeşitli yolları vardır. En basit şekli seçimin uzman tarafından yazılan kurallarla belirlenerek tarif edilmesi ve gözlemlerle kuralların eniyilenmesidir. Bu seçeneklerin özelliklerine göre doğrudan bir kural tabanından oluşacağı gibi, her bir seçenek için bulanık bir yarar tanımlanarak da yapılabilir (Şekil 5.5)

Diğer yandan, bulanık mantık açısından manzara görüldüğü kadar parlak değildir. Bunun nedeni bulanık mantık sistemi için eniyileme sorun olmaktadır. Kural tabanlarının önceden çok iyi kestirilmesi ve önem derecelerinin belirlenmesi ya da mevcut gözlemlere göre tekrar değerlendirilerek düzenlenmesi bulanık mantık örgünün en zayıf noktasını oluşturur(du). Eniyilenmemiş bulanık bir sistemin tahmin başarımı düşük kalmaktadır [74]. Bu nedenle bireysel seçim modellerinde başlangıçta bulanık mantığın ağırlığı YSA'lara göre son derece düşük kalmıştır.

¹Örneğin; araç içinde geçen süre kısa olmasına rağmen bu araç için bekleme süresinin uzun olması toplam zamanı eşit yapacaktır. Ancak zamanın kendi içindeki dağılım seçimi etkileyebilir. Yolcu beklemeye karşı daha sabırsız olabilir.



Şekil 5.5: Bulanık seçim modelinin temel yapısı

5.3.3 Sinir-Genetik-Bulanık Sistemler (Melez Modeller)

Bulanık mantıktaki eniyilenme sorunu diğer bir söylemle öğrenme sürecinin eksikliği, gene esnek hesaplama yöntemleri olan YSA 'lar ve genetik algoritmalar tarafından tamamlanmıştır. YSA ların öğrenme karşısındaki gücünün bulanık sisteme gömülmesi fikri ile ortaya çıkan bu melez modeller hızla kabul görmüş ve kullanılmıştır. En iyilenme yeteneğine sahip sinir-bulanık sistem Lin ve Lee [75] tarafından 1991 de tanımlanmıştır. Bu sistemlerle Şekil 5.5 de tarif edilen tür seçimi modellerinin eniyilenmesi yeteneği kazanmasıyla, modellere ait tahmin başarımlarını yükseltmek mümkün olur.

YSA lar ve Bulanık mantığın kullanıldığı sınıflama ve logit model ve benzeri yöntemlerle yapılan çalışmalarda esnek yöntemlerin genellikle geleneksel modellere göre daha başarılı olduğu gözlenmiştir (Bkz. Tab 5.3). Sinir-bulanık modeller ve tür seçimi üzerine Lin ve diğ. [72], Hawas [70], Vythhpolkas ve diğ. [74], Neagu ve diğ. [76] çalışmaları mevcuttur.

5.4 Esnek Hesaplama Yöntemlerinin Tür Seçimine Uygulanması

Bu bölümde tür seçimi problemlerinde kullanılan esnek hesaplama yöntemlerini incelenecek, kullanılan veriler yöntemlerin içeriği ve önemli görülen noktalar özetlenecektir. Arkasından bu çalışmanın, esnek hesaplama yöntemi olarak hangi yöntemleri kullanacağı ve getirdiği farklılığa değinilecektir.

Doughert [67], ulaştırma ile ilgili bir çok problemin doğrusal olamayan bir yapısı olduğunu, elde edilen veri ya da gözlemelerin çok farklı ve karmaşık olduğuna değinmiştir. Bu nedenle YSA 'ların sahip olduğu özelliklerin bu problemlerin çözümünde yüksek başarıma sahip olabileceklerini söylemiştir.

İlk incelenen çalışma Vythoulkas [78] tarafından yapılan yapay sinir ağları ve bulanık mantık karışımı sinir-bulanık melez sistemler ile yapılan tür seçimi modelidir. Vythoulkas, tür seçimi modeli için maliyet ve zamandan oluşan iki bağımsız değişken kullanarak, toplu taşıma ile özel araç arasındaki tercihleri modellemiştir. Vythoulkas, kullandığı verileri yapay olarak türetmiştir. Bunun için aşağıda verilen;

$$U_i(k) = V_i(k) + \varepsilon_i(k) \quad (5.13)$$

rastgele yarar fonksiyonundaki ε hata terimini kullanmıştır. Vythoulkas; bu hatanın ortalaması 0 ve standart sapmasını θ varsayarak, θ 'nın 0,1,2 olduğu üç durum için 500 'erden toplam 1500 yapay gözlem üretmiştir. Vythoulkas bu üç ayrı grup için hem

Tablo 5.3: Esnek hesaplama yöntemlerinin başarımlarını karşılaştırması [77]

Çalışmayı yapan	Yıl	ÇAÇ	LM	PM	KA	KKÇ	BM	YSA
Spanos	1999	ÜY	ÜY	ÜY			EB	
Odom&Sharda	1990	ÜY						EB
Cadden	1991	ÜY						EB
Coats&Fant	1991	ÜY						EB
Coats&Fant	1993	ÜY						EB
Wilson&Sharda	1994	ÜY						AI
Neophytou&et al	2001		ÜY					ÜY
Fletcher&Goss	1993		ÜY					EB
Udo	1993		ÜY					EB
Chung Tam	1993				ÜY			EB
Back&et al	1996	BEB	ÜY					BEB
Weymaere&Martens	1993	ÜY	BAI					AI
Bardos&Zhu	1997	ÜY	ÜY					AI
Pompe&Bilderbeek	2000	ÜY						BAI
Zain	1994		BAI					BAI
Boritz&et al	1995	ÜY	ÜY	ÜY				ÜY
Altman&et al	1994	ÜY						ÜY
Yang&et al	1999		EB					ÜY
Back&et al	1997	ÜY	ÜY		BAI			BAI
Hekanaho	1998		ÜY			BAI		BAI
Laitinen&Kankaanpää	1999	ÜY	ÜY		ÜY	ÜY		ÜY

ÇAÇ=Çoklu ayırım çözümlemesi, LM=Logit model, PM=Probit model

KA=Karar ağaçları, KKÇ=Kaba küme çözümlemesi

BM=bulanık mantık, YSA=yapay sinir ağları

ÜY=üstünlüğü yok, ÇAI=Diğerlerinden çok az farkla iyi, BÇAI=Bazı durumlarda çok az farkla iyi

EB=En başarılı yöntem, BEB=Bazı şartlar altında en başarılı yöntem

Tablo 5.4: Logit ve sinir-bulanık modellerin tahminleri [78]

Model	Veri kümesi		
	$\theta=0.0$	$\theta=1.0$	$\theta=2.0$
Logit	500	383	327
Sinir-bulanık	464	396	338

sinir bulanık hem de logit modellerin sonuçlarını karşılaştırmıştır. Vythoulkas'ın elde ettiği sonuçlar Tablo 5.4'de verilmiştir.

Tablo 5.4'te, logit modelin tahmin başarısı, $\theta = 0$ 'da mükemmeldir. $\theta = 0$ ' deterministik seçim modeline karşılık gelir. θ 'i artıkça rastgelelik artmaktadır ve tabloda sinir-bulanık sistemlerin başarısı da rastgelelikle beraber, logit modele göre artmaktadır. Vythoulkas'ın kullandığı verilerin yapay olması nedeniyle, gerçek modellerin gerçek başarımı konusunda kesin bir yargı yapmayı güçleştirmektedir. Ancak Vythoulkas'ın çalışması tür seçimi ve esnek hesaplamanın değerlendirildiği ilk çalışmadır.

1997 yılında Nijkamp ve diğ. [79] İtalya'da yüksek hızlı trenlerin, demir yolları ve karayoluna karşı rekabetini modellemek için YSA'ları kullanmışlardır. Nijkamp ve diğ. YSA 'ların tahmin başarımlarını logit modelle karşılaştırmışlardır. Çalışmada; bağımsız değişkenler ilk olarak sadece '*zaman*', ikincisinde ise hem *zaman* hem de '*maliyet*' olarak alınmıştır. Nijkamp ve diğ. modellemeyi iki aşamaya ayırmışlardır. İlk aşamada en uygun YSA 'nın bulunması, ikincisinde ise bu YSA yapılarına göre farklı bağımsız değişkenler kullanarak, ilk aşamadaki YSA'ların kullanılmasındır. Bu şekilde Nijkamp ve diğ. Şekil 5.6'teki iki YSA 'yı ve değişkenleri en uygun olarak belirlemişlerdir.

Modellerin eğitimi için 1396 gözlem kullanılmıştır. Yüksek hızlı raylı sistemin hizmete girmesinden sonra, yeni zaman ve maliyet verileriyle modeller sınanmıştır. Nijkamp ve diğ. elde ettiği 1396 adet veri İtalya'ya ait 67 bölge arasındaki demiryolu ve karayolu bölgesi arasındaki tür seçimi verileridir. Modeller yüksek hızlı trenin hizmet verdiği bölgeler (Tablo 5.5) için tahmin yapmışlardır. YSA ve logit modellerin tahminleri Tablo 5.5 'da verilmiştir. Logit ve YSA modelleri tatmin edici tahmin başarımlarına sahiptirler. Ancak Nijkamp ve diğ., YSA 'ların başarısının yapısının önceden iyi belirlenmesine bağlı olduğuna dikkat çekmiş farklı yapıdaki YSA'lar ve öğrenme yöntemleriyle yeni modellerin geliştirilmesini önermiştir [79]. Nijkamp ve diğ. YSA 'ların yüksek işlem gücü ve zamanı istemesi ve her eğitim sürecinde farklı sonuçlar alınmasının YSA 'ların zayıf tarafları olduğuna dikkat çekmiştir. Diğer yandan çalışmada özel YSA yapıları kullanılarak, bireysel seçim modellerine benzer şekilde katsayı üretilebileceğine değinilmiştir.

Sayed ve Razavi [80], Vythoulkas [78]'ı n çalışmasına benzer şekilde sinir-bulanık

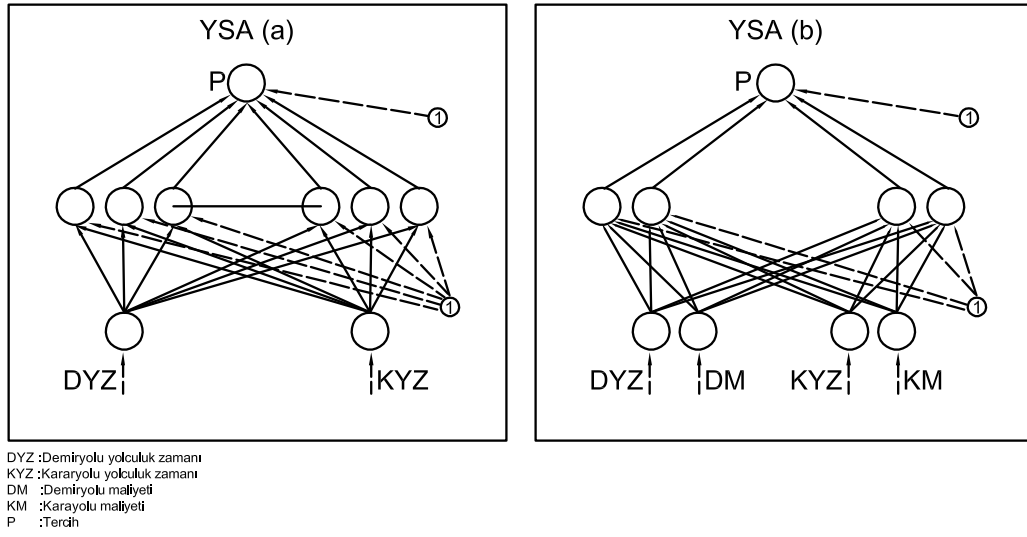
Tablo 5.5: Nikamp ve diğ.ait YSA ve Logit Model Sonuçları [79]

Hızlı Raylı Sistemden Önce			Hızlı Raylı Sistemden Sonra			
Başlangıç	Varış	DY*	YSA (a)	YSA (b)	Logit (a)	Logit (b)
Torino	Bologna	385	491	499	358	362
Torino	Roma	411	690	654	619	616
Torino	Napoli	103	213	213	195	191
Milano	Bologna	1585	3099	3296	2056	2190
Milano	Roma	659	1547	1325	1274	1292
Milano	Napoli	325	756	723	694	690
Venezia	Roma	158	359	318	288	291
Venezia	Napoli	99	113	113	103	101
Genova	Bologna	291	364	358	269	273
Genova	Venezia	110	189	183	147	144
Genova	Napoli	49	141	140	128	126
Bologna	Roma	259	1089	985	735	768
Bologna	Napoli	125	254	248	238	241
Roma	Napoli	3141	8837	9299	5893	6209

DY* : Demiryolu yolculukları

(a) Sadece zaman

(b) Zaman ve maliyet



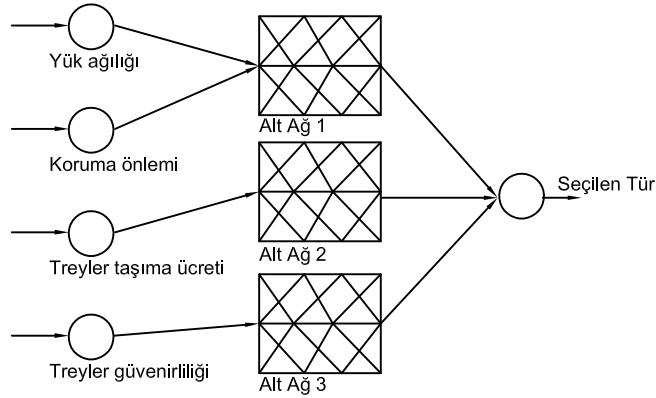
Şekil 5.6: Nijkamp ve diğ. kullandığı YSA biçimleri

sistemlerle tür seçimini modellemişlerdir. Ancak Vythoulkas'tan farklı olarak modelleri yapay gözlemler kullanarak değil, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki bireysel düzeydeki yük taşıyıcı ve taşıtıcılarına ait gözlemlerle sınımışlardır. Taşıtıcılar ayrık düzeyde sınıflanmışlardır. Sayed ve Razavi esnek hesaplama modelinin başarımını, gene aynı verilerle yaptıkları logit model sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Sayed ve Razavi kullandıkları verileri, Birleşik Devletler Nüfus Dairesi'nin (U.S. Bureau of Census) hazırladığı 1977 Yük Taşımacılığı sayımlarından elde etmişlerdir. Sayımlar bireysel düzeydeki şehirler arası yük hareketlerini içermektedir. Sayed ve Razavi kullanacakları veri kümelerini oluşturmak için bu sayımların içinden, 226.5 kg aşan yükleri rastgele örnekleme yöntemiyle seçmişlerdir. Bu şekilde 7500 adet veriden oluşan örnek elde edilmiştir. Her bir veri 27 adet değişken içermektedir. Değişkenler, taşıma özellikleri (hacim vbg.), türe ait özellikler (türlerin aktarma süreleri vb.) ve pazar özellikleri (coğrafi konum vb.) olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Sayed ve Razavi modelleme için önce ellerindeki 7500 verinin 5000 'nini eğitim geri kalanını sınama için ikiye ayırmışlardır. Bu ayırım gene rastgele ancak örnekler içindeki paylaşım oranları asıl veriyle aynı kalacak biçimde yapılmıştır. Söz gelişi, treyler ile demiryolu taşımacılığı arasındaki oran %63 ile %37 ise, örneklerde de bu oran aynen korunmuştur. Sayed ve Razavi aşağıdaki modelleri geliştirip sınımışlardır;

- Seçilen değişken takımına göre en etkili logit model
- Tüm 27 değişkenin kullanıldığı YSA modeli
- Sinir-bulanık model

Sayed ve Razavi logit model analizini önce 27 değişkenin tamamıyla yapmışlar, 't-sinamasını' geçemeyen ve işareti anlamsız olan değişkenleri elemişlerdir. Geriye kalan 12 adet değişkenin kullanıldığı logit modeli, tahmin gücü yüksek en etkili logit model olarak seçilmiştir.

Sayed ve Razavi, üç tabakadan oluşan bir YSA seçmişlerdir. İlk tabakadaki hesaplama ögesi sayısı girdi sayısına eşit, yani 27 adettir. Çıktı tabakası da demiryolu (0) ve treyler (1) taşımacılığını gösteren iki hesaplama ögesi içermektedir.



Şekil 5.7: Sayed ve Razavi'nin sinir-bulanık modeli [80]

Sinir bulanık model için Sayed ve Razavi, 27 değişken içinden sadece 4 değişken seçmişlerdir. Kullandıkları değişken ve modelin yapısı Şekil 5.7'de gösterilmiştir. Kullanılan sinir-bulanık sistem tek bir ağdan değil üç ağdan oluşmaktadır. İlk alt ağı 6 , diğer iki alt ağı ise 2 'şer adet kuraldan oluşturmuşlardır. Bu şekilde kural tabanındaki kural sayısı en az düzeyde tutulmuştur.

Sayed ve Razavi elde ettikleri sonuçlar Tablo 5.6 'da verilmiştir. Tablo'da görüldüğü gibi logit ve esnek yöntemlerin tahmin başarımları birbirlerine çok yakın çıkmıştır. Ancak, sinir bulanık modellerin sadece 4 bağımsız değişkenle aynı başarımları vermiştir. Sinir-bulanık sistemler, sahip oldukları kurallar ve kuralların güven katsayısı (Bkz. Sf. 85) değişkenlerin karar üzerinde ne derecede etkili olduğunu gösterirler. Bu sinir-bulanık modeli diğerlerinden daha şeffaf hale getir. Ayrıca kuralları, uzmanın kurallara müdahale ederek başarımları artırması ya da uyumsuzluğu (Bkz. Sf. 70) gidermesini sağlar. Sayed ve Razavi'nin üç farklı model için genel yaptıkları genel değerlendirme Tablo 5.7'da verilmiştir. Sayed ve Razavi, sinir-bulanık modelleri uygulama kolaylığı, dilsel değişkenleri değerlendirebilme yetenekleri ve şeffaf olmalarından dolayı en uygun model olduğu sonucuna varmışlardır.

Diğer çalışma, Kalic ve Teodorovic [81] tarafından yapılan yolculuk dağıtım problemidir. Kalic ve Teodorovic, çalışmalarında bulanık mantık ve genetik algoritmayı bir arada kullanmışlardır. Yolculuk dağıtımı, ulaştırma planlamasının

Tablo 5.6: Sayed ve Razavi'nin çalışmasına ait modellerin tahmin başarıları [80]

Eşik değeri	Genel tahmin başarıları (%)		
	Logit Model BDS*: 12	YSA Modeli BDS: 11	Sinir-bulanık model BDS: 4
0.5	86.3	88.4	87.5 TL
0.6	79.6	85.7	86.6 TL
0.7	71.8	81.5	80.0 TL
0.8	61.2	72.1	69.4 TL
0.9	43.4	55.6	48.8 TL
0.95	32.5	43.3	39.2 TL
0.99	16.5	32.1	33.8 TL

*BDS:Bağımsız değişken sayısı

Tablo 5.7: Logit, YSA ve sinir-bulanık modellerin karşılaştırılması [80]

Değerlendirme ölçütü	Logit	YSA	Sinir-Bulanık M.
Varsayımlar	SBB* hataların dağılımı*	yok	yok
Birden fazla seçeneğin aynı anda modellenmesi	var	var	var
Doğrusal olmayan durumları değerlendirme	yok	var	var
Çok değişkenliliği değerlendirebilme	yok	var	var
İlgisiz seçeneklerin kendiliğinden dışlanması	yok	yok	var
Modelin şeffaflığı	az	yok	yüksek
Uzmanın modele müdahale edebilmesi	yok	yok	var

SBB=seçeneklerin birbirinden bağımsız olma özelliği

*(Bkz. Sf. 3 ve 47)

ikinci adımını oluşturur ² Kalic ve Teodorovic yolculuk dağıtım problemini esnek yöntemlerle çözmek için ikiye ayırmışlardır. İlk adımda belirlenen bölgeler arasındaki yolculuk yaratımlarını hesaplamak için bulanık kural tabanı kullanmışlardır. Kural tabanını mevcut akımlar yardımıyla oluşturmuşlar ve kalibre etmişlerdir. İkinci adımda ise elde ettikleri kural tabanının tahmin etkinliği arttırmak için genetik algoritmalarından faydalanmışlardır. Kalic ve Teodorovic modellerini endüstri ve turizm bölgeleri arasındaki trafik çekim ve yaratımının tahmini için kullanmışlardır. Kullanılan veriler 1989 ve 1990 yıllarında toplanan iki yıllık verilerdir. 1989 verilerini modelleri kalibre etmek, 1990 verilerini ise modelleri sınamak için kullanmışlardır. Yolculuk dağıtımının atandığı ağ, 4 endüstri, 7 turizm bölgesinden ve bunlar arasındaki

²Geleneksel ulaşırma planlaması dört adımdan oluşur.

1. Yolculuk yaratımı
2. Yolculuk dağıtımı
3. Türel ayırım
4. Yolculuk ataması

18 bağlantıdan oluşan havayolu ağıdır. Değişkenler ise bir endüstri bölgesinden turizm bölgesi giden yolcu sayıdır. Kalic ve Teodorovic üyelik fonksiyonları sırayla üçgen ve gauss olan iki esnek model geliştirmişlerdir. Modellerin tahmin başarıları tatmin edici bulunmuştur [81]. Ancak sonuçlar, logit modelle karşılaştırılmamıştır.

Vythoulkas ve Koutsopoulos [74] esnek hesaplama yöntemi kullanarak yaptıkları çalışmada, Vythoulkas'ın [78] 'taki yapay veriler yerine gerçek veriler kullanmışlardır. Vythoulkas ve Koutsopoulos çalışması, Vythoulkas'a ek olarak iki sinir-bulanık modelden oluşmaktadır. İlk modelde, kural tabanındaki her kurala ait inanç dereceleri kalibrasyon sürecine dahil edilmiş, ikinci modelde ise inanç dereceleri bu sürecin dışında tutularak hepsi 1 kabul edilmiştir. Veriler; 1987 yılında Hollanda Demiryolları tarafından şehirler arası yolculuklarda demiryolu ile karayolu arasındaki paylaşımı kestirmek amacıyla, telefon yoluyla yapılan anketlerden elde edilmiştir. Çözümleme için kullanılan gözlemlerin sayısı 235 dir. Her bir gözlem kesitinde aşağıdaki bilgiler mevcuttur.

1. Kullanılan tür (özel araç veya demiryolu)
2. Yolculuk amacı
3. Yolculuk maliyeti (seçilen türe ve diğer türe ait)
4. Araç içinde geçen yolculuk süresi (seçilen türe ve diğer türe ait)
5. Tür(e/den) ulaşım/ayrılma süresi (seçilen türe ve diğer türe ait)
6. Demiryolu aktarma sayısı
7. Yolcunun sosyo-ekonomik yapısı (yaş,cinsiyet)

Ancak Vythoulkas ve Koutsopoulos esnek modeller için sadece zaman,maliyet ve demiryolu ulaşım/ayrılma sürelerini kullanmışlardır. Kullanılan değişkenleri;

Δt :demiryolu ve tren arasındaki yolculuk zamanlarının farkı

Δc :demiryolu ve tren arasındaki yolculuk maliyetlerinin farkı

Acc_R :demiryolu(na/dan) ulaşım/ayrılma süresi

biçiminde kullanılmışlardır. Vythoulkas ve Koutsopoulos'ın bu değişkenlerle yaptıkları iki esnek hesaplama modeli ve logit modellerin yaptıkları tahminler Tablo 5.8'da verilmiştir. Tablo 5.8 'e bakıldığında sinir-bulanık modellerin logit modele göre tahmin başarılarının az da olsa iyi olduğu görülmektedir.

Vythoulkas ve Koutsopoulos çalışmalarında kural tabanındaki kuralara ait inanç derecelerinin eğitim sürecine dahil edilmesinin modellerin tahmin başarımlarını arttırdığına dikkat çekmiştir [74]. Ek olarak Vythoulkas ve Koutsopoulos sadece

Tablo 5.8: Vythoulkas ve Koutsopoulos'ın modellerine ait tahmin başarımları [81]

	Gözlenen sayılara karşılık modellerin tahminleri, Sayı(% doğru)		
	Logit Model	Bulanık Model*	Bulanık Model**
Özel araç	105.8 (71.0%)	108.2(72.6%)	104.3(70.0%)
Demiryolu	43.5 (50.5%)	46.2(53.7%)	42.1(49.0%)
Doğru tahmin (%)	63.50%	65.70%	62.30%

*Ağırlıklara ait inanç dereceleri kalibrasyon sürecine dahil edilmiş

**Kurallara ait tüm inanç dereceleri 1'e eşit

zaman baskısı altında kalan yolcuların dışında, farklı değişkenlere göre karar alan kullanıcılarla ilgili ayrık seçim modellerinin sinir-bulanık sistemleriyle modellenebileceğini söylemişlerdir. Sinir-bulanık sistemlerin sadece tür seçimi değil, gerçek zamanlı, karmaşık ve doğrusal olmayan yol seçimi problemleri çözme yetenekleri olduğu çalışmada belirtilmiştir.

Ele alacağımız son çalışma ise Hawas [70] tarafından yapılmıştır. Bu çalışma sinir-bulanık modellerle yapılan bir yol seçimi problemidir. Hawas, yol seçimindeki belirsizliğin yolcuların algılamasındaki dalgalanmalardan kaynaklandığını söylemiştir [70]. Çünkü algılanan değişkenler kişiden kişiye değişmekte, bir yolcu için uygun olan durum diğer yolcu için uygun olmamaktadır. Hawas yol seçimi problemini esnek hesaplama modelleriyle yaparken aşağıdaki değişkenlerden oluşan ve kullanıcının yararını yansıtan bir bulanık kural tabanı tasarlamıştır. Hawas'ın kullandığı değişkenler;

1. Yolculuk zamanı
2. Yol sınıfı (sınıflanmış değişken,ordinal sayı)
3. Kuyruklanma zamanı
4. Alışkanlık (seçilen yolun yolcu tarafından daha önce kullanılmış olma sıklığı, ordinal sayı)
5. Karayolu yüzey durumu (ordinal sayı)
6. Hız

Hawas modelleme sürecini dört aşamaya ayırmıştır. Her aşama kendi bulanık kural tabanını içermektedir. Bunlar;

1. *Seçim öncesi aşama I:* Yolcunun yol seçimi kararını vermesinden önceki aşamadır. Kullanıcının seçeneklere ait algıladığı yararlar hesaplanır. Burada hesaplanan yararlar ağ üzerindeki mevcut bilgilerle hesaplanan ve kullanıcıya sunulan yararlardır.

2. *Seçim öncesi aşama II:* Bu aşama seçimi yapacak kullanıcının bir önceki adımdaki değişkenlere ek olarak kendi özelliklerine göre belirlediği yararların hesaplanmasından oluşur.
3. *Güvenirliliğin belirlenmesi aşaması:* Bu aşama ilgili yollara ait güvenirliliklerin yolcu tarafından algılanan değerlere göre güncellendiği aşamadır. Bu işlem, birinci adımda belirlenen ve ikinci adımda belirlenen yararların arasındaki fark kullanılarak gerçekleştirilir. Bu aşamanın girdi değişkeni bu yararlar arasındaki farktır.
4. *Yol seçim aşaması:* Bu aşama ilk aşamadaki yararlarla, 3. aşamadaki güvenirliliklerin beraber değerlendirildiği ve yolcunun seçim kararını aldığı aşamadır.

Çalışmayla ilgili ayrıntılar ilgili çalışmada verilmiştir [70]. Hawas, model için kullandığı veriler için özel bir anket yapmış bu şekilde üyelik fonksiyonlarının tabanlarını, diğer çalışmaların aksine kullanıcıların algıladığı değerlere göre belirlemiştir. Veri çalışması için Hawas 6 aday grup belirlemiştir. Bu gruplar belirli bir oranda yol seçimi üzerinde etkili olabilecek sosyo-ekonomik faktörleri yansıtacak şekilde belirlenmişlerdir. Buna ek olarak gruplar, yolcuların yaşadıkları bölgedeki trafik özelliklerine göre (sıkı sık, sıkışık değil) ve yaşlarına göre de sınıflamıştır. Her dört aşamadaki bulanık sistemlerin kalibrasyon sürecine, hem üyelik fonksiyonları tabanları hem de kuralların inanç derecelerinin dahil edilmiştir. Ancak Hawas elde ettiği sonuçları logit modelle değil, deneysel etken belirleme (factorial experiment design model) modeliyle karşılaştırmıştır. Bu nedenle bu çalışmanın sonuçlarının değerlendirilmesine girilmeyecektir. Ancak Hawas'ın modelinin yarar kavramına esnek yöntemler kullanarak yaklaşması ilgi çekicidir.

5.5 Çalışma Kapsamında Esnek Hesaplama Modelleri ve Tür Seçimi

Esnek hesaplama yöntemlerinin istatistik yöntemlere seçenek olarak kullanılması konusunda küçük çapta eleştiriler yapılmış olsa da, alınan sonuçlar karşılaştırıldığında, bunların göz ardı edilebileceği görülmektedir. Eğer, yeni yöntemlerle yapılacak modeller için kullanılan veriler, yeni yöntemle uygun biçimde toplanmamış ya da, geleneksel yöntemle elde edilmiş ise, yeni modellerin başarımını göreceli olarak karşılaştırmak için geleneksel modeller de çalışmaya dahil edilmelidir. Bu bizim yeni modele olan güvensizliğimizi göstermez, tam tersine yeni modelin başarısını sınamamızı sağlar. Esnek hesaplama ve farklı yöntemlerin, logit ve probit modellere göre başarımını inceleyen ayrıntılı çalışmalar Balcaen ve diğerleri [77] yeni

yöntemlerin geleneksel istatistik modellere göre iyi olduğunu göstermiştir. Bu çalışmanın sonucunda kullanılan yöntemlerin başarımları Tablo 5.3 de listelenmiştir.

Esnek hesaplama yöntemlerinin tür seçiminde kullanıldığı çalışmalar yüksek gözlem sayıları içermektedir. Sadece Vythoulkas ve Koutsopoulos [74] yaptıkları çalışmada 235 gibi küçük sayılabilecek bir gözlem sayısıyla çalışmışlardır. Ancak bu gözlemin alındığı toplum sadece söz konusu türleri kullananlara yöneliktir. Yukarıdaki çalışmalar, geleneksel planlama çalışması kapsamında toplanmış veriler kullanmamışlardır. Çalışmalara göz atıldığında logit model tahminlerinin de yüksek olduğu fark edilmektedir. Bu çalışmada, tüm bunlardan farklı olarak geleneksel bir planlama kapsamında toplanan düşük gözlem sayıları altında logit model tahminlerine karşılık, esnek yöntemlerin başarımları araştıracaktır.

Sonuçların $[0, 1]$ aralığında alındığı ayırık seçim modellerinde, en son tahminin belirlenmesi için eşik değeri doğrudan 0.5 olarak seçilmektedir. Bu değerin 0.5’den farklı seçilmesinin model başarımları üzerindeki etkisi gene bu çalışmanın kapsamına girmektedir.

Tüm çalışmalarda farklı başarımlar ölçütleri kullanılmaktadır. Esnek modellerde istatistik sınama yapılamadığından, sadece model tahminlerine dayanan başarımlar ölçütleri ortak ölçütler olarak kullanılır. Başarımlar ölçütlerinin karşılaştırılması, bu çalışma kapsamında giren diğer bir konudur.

Ulaştırma tür seçiminde esnek hesaplama modellerinin kullanıldığı çalışmalar büyük oranda sadece tahmin başarısı üzerinde yoğunlaşmıştır. Ancak logit modeller, çapraz esnekliklerin hesaplanabilmesi ve ulaştırma planlamacıları ve uygulamacılar için çok kıymetli bir bilgi olan zaman değerinin kestirilmesine olanak tanır. Şu ana kadar esnek hesaplama modelleriyle zamanın değeri hesabı yapılmamıştır. Bu çalışmada logit andırımı YSA ’lar yardımıyla zamanın değeri hesabı yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

6. ÖNERİLEN ESNEK HESAPLAMA YÖNTEMİ VE UYGULAMASI

Bu bölüm üç alt bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm kullanılan verilerle ilgilidir. İkinci bölümde modellerin başarımını karşılaştırmak için kullanılan ölçütler verilmiştir. Üçüncü bölümde ise Eskişehir Ulaştırma Ana Planı (EUAP) kapsamında toplanan verilerle kalibre edilen geleneksel türel dağılım modelleri (logit model) ile esnek hesaplama modellerinin sonuçları verilmiştir.

6.1 Kullanılan Veriler

Bu çalışmada, İ.T.Ü. Ulaştırma araçları Uy-gar Merkezi ve Eskişehir Büyükşehir Belediyesi arasında 29.09.2002 tarihinde imzalanan sözleşmeye göre yapılmış olan EUAP çerçevesinde, ulaşım modelinin kalibrasyonu amacıyla toplanmış veriler kullanılmıştır.

6.1.1 2002 Yılı Eskişehir Ev Halkı Yolculuk Anketleri

Anket Yönetimi ve Örneklem

Örneklem, rastgele örneklem yöntemi ile mahalle düzeyinde oluşturulmuştur. Eskişehir Büyükşehir Belediyesi sınırları içinde 66 mahallenin örnek nüfus büyüklükleri mahallelerin 2000 yılı nüfusları ile orantılı olarak belirlenmiştir. Anket yapılacak evler, mahallelerin sokak listesinden rastgele örneklem ile seçilmiştir.

Ev halkı anketleri 11 iş gününde 116 anketçi kullanılarak, evde görüşme yöntemiyle yapılarak, 7042 evde toplam 22,986 kişiden, ev halkının sosyo-ekonomik yapısı ve anketin yapıldığı günde yaptıkları yolculuklara ilişkin bilgiler toplanmıştır. Yolculuklara ilişkin bilgilerin eksik verildiği ya da hiç verilmediği anketler geçersiz sayılmıştır.

Anket Formu

2002 Eskişehir Ulaştırma Ana Planı Ev Halkı Anketleri iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde ev halkının sosyo-ekonomik yapısıyla ilgili sorular sorulmuştur. Bu bölümde aşağıdaki bilgiler toplanmıştır.

- Evde yaşayan kişi sayısı
- Evde çalışan kişi sayısı
- Evde yaşayanların yaşları ve işleri
- Evde yaşayan öğrenci sayısı
- Sahip olunan motorlu araç türleri ve sayıları
- Ev sahipliği ve kiracılık durumu
- İkinci ev sahipliği
- Ev halkının aylık toplam geliri

Anketin ikinci bölümünde, 6 yaşından büyük ev halkı bireylerinin anketin yapıldığı günde yaptıkları yolculuklara ait aşağıdaki bilgiler toplanmıştır.

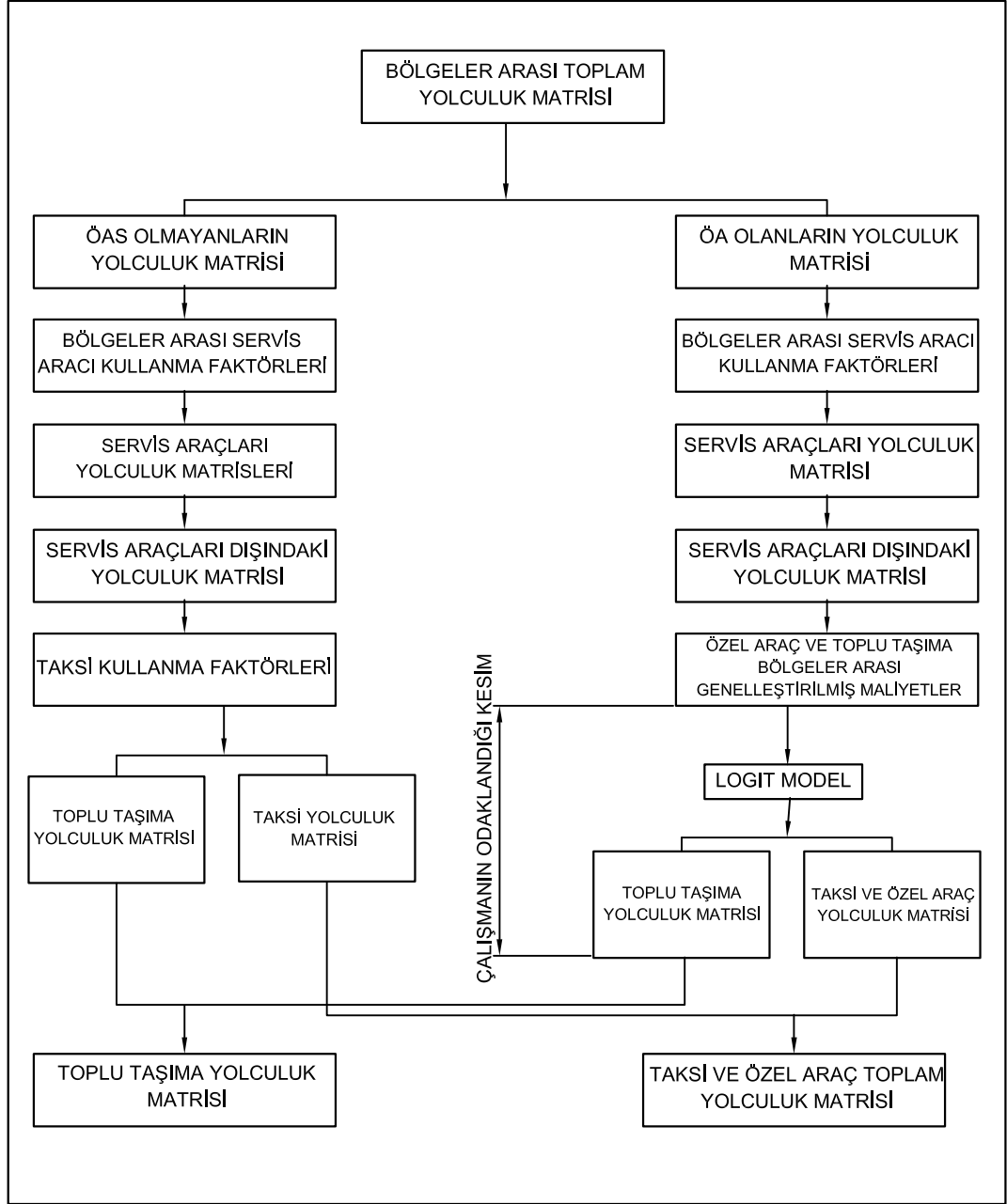
- Yolculuğun başlangıç ve varış yeri olarak, konut, işyeri, okul, hastane ve diğer olmak üzere 5 yer göz önüne alınmıştır. Böylece, ev-iş, ev-okul, ev-hastane, ev-diğer ve ev uçlu olmayan diğer yolculuklar olmak üzere 5 ayrı yolculuk amacı için bilgiler toplanmıştır.
- Yolculuğun başlangıç ve bitiş saati
- Kullanılan ulaşım türleri

6.1.2 Kullanıcı Düzeyinde Verilerin Değerlendirilmesi

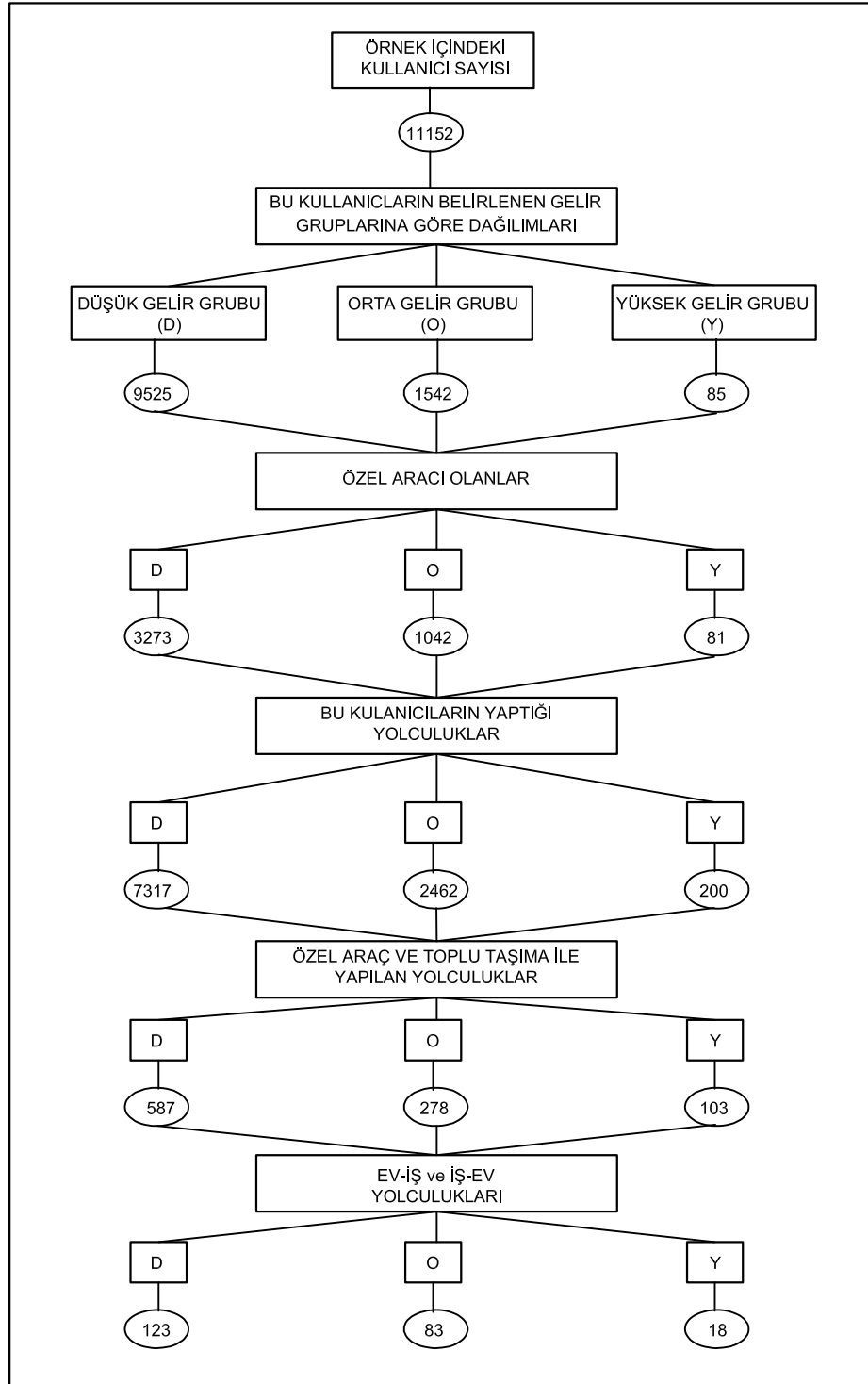
Kullanıcı seviyesinde veriler, kişilerin gelir, ev sahipliği, ailedeki kişi sayısı, yaş gibi değişkenlere göre dağılımını göstermektedir. Ancak gelir seviyesi doğrudan ölçülen bir değer değildir ve diğer verilerden türetilir. Tablo 6.1 deki ölçütlere göre 3 gelir grubu belirlenmiştir. Bu gelir gruplarına ait nüfus dağılımı ise Tablo 6.2’de verilmiştir.

Eskişehir Ulaştırma Ana Planı (EUAP) çerçevesinde yapılan türel ayırım model çalışmasının akışı, Şekil 6.1 de görülmektedir. Model için kullanılan verilerin seçim modeline kadar hazırlanma süreci ise Şekil 6.2’de gösterilmiştir.

Seçim modelleri kurulurken sadece ev-iş yolculukları dikkate alınmıştır. Bunun nedeni ev tabanlı yolculukların diğer yolculuklardan daha önemli olmasıdır [82]. Verilerle ilgili diğer ayrıntılı istatistikler EK C ve EK D de verilmiştir. Çözümlemede kullanılan veriler, yolculukların başlangıç ve bitiş noktaları ve tür tercihlerini içermektedir. Modellerde kullanılan iki temel değişken ‘yolculuk zamanı’ ve ‘maliyeti’



Şekil 6.1: EUAP’da ev-iş yolculukları türel ayrımı



Şekil 6.2: Modeller için kullanılan verilerin örnekten süzülmesi

Tablo 6.1: Gelir gruplarının tanımı

Aylık Aile Geliri Milyon TL	Evi Var					
	Evi yok		2. Evi yok		2.Evi var	
	Aracı yok	Aracı var	Aracı yok	Aracı var	Aracı yok	Aracı var
0-250	D	D	D	D	D	D
250-500	D	D	D	D	D	D
500-70	D	D	D	D	O	O
750-1000	O	O	O	O	O	O
1000-1500	O	O	O	O	O	O
1500+	O	O	O	Y	Y	Y

D: Düşük, O: Orta Y: Yüksek

Tablo 6.2: Örnek nüfusun gruplara göre sayısal dağılımı

Çalışma Durumu	Gelir Grubu ,Kişi(%)			
	Düşük	Orta	Yüksek	Toplam
Belirsiz	32(0.14)	0(0)	0(0)	32(0.14)
Çalışıyor	5176(22.52)	898(3.91)	85(0.37)	6159(26.79)
Ev Kadını	5947(25.87)	390(1.70)	47(0.20)	6384(27.77)
İlk/ortaokul öğrencisi	2876(12.51)	260(1.13)	24(0.10)	3160(13.75)
Lise öğrencisi	1328(5.78)	162(0.70)	24(0.10)	1514(6.59)
Y.Okul öğrencisi	817(3.55)	154(0.67)	9(0.04)	980(4.26)
Çalışmıyor	4347(18.91)	369(1.61)	41(0.18)	4757(20.70)
Toplam	20523(89.28)	2233(9.71)	230(1.00)	22986(100.00)

olarak belirlenmiştir. Eskişehir 72 trafik bölgesine ayrılmış ve gözlemler bu trafik bölgelerine göre yapılmıştır. Sektörler arası toplu taşıma ve özel araç yolculuk süreleri ile geliştirilmiş maliyetler Tablo E.1-E.16’de verilmiştir.

EUAP’ta geliştirilmiş maliyet aşağıdaki öğelerden oluşturulmuştur [83].

- Özel Otomobil için
 - Araç işletme maliyetleri
 - Yolculuk zamanının ekonomik değeri
 - Paralı yol, köprü ve park ücretleri
- Toplu taşıma için
 - Toplu taşıma bilet ücretleri
 - Yolculuk zamanının ekonomik değeri

EUAP'ta görüldüğü gibi toplu taşıma ve özel otomobil maliyetleri zaman değerini de içerir. Logit model için aşağıdaki tanımlamaları bir kez daha hatırlayalım.

$$U_{TT} = aY Z_{TT} + bGM_{TT} \quad (6.1)$$

$$U_{\ddot{O}A} = aY Z_{\ddot{O}A} + bGM_{\ddot{O}A} + c$$

Yukarıdaki, U_{TT} ve $U_{\ddot{O}A}$ sırasıyla toplu taşımaya ve özel araca ait yararları göstermektedir. Bu yararların arasındaki fark;

$$\Delta U = U_{\ddot{O}A} - U_{TT} = a(Y_{\ddot{O}A} - Y Z_{TT}) + b(GM_{\ddot{O}A} - GM_{TT}) - c \quad (6.2)$$

şeklinde yazılırsa, deterministik seçim modeline göre, ΔU eğer (+), (-) olma durumlarına göre sırayla kullanıcı toplu taşıma, özel aracı seçerken, (0) olma durumunda ise kayıtsız kalacaktır. Ancak rastgele seçim modeline (logit) göre seçim olasılıkları aşağıdaki şekilde belirlenir.

$$P(\ddot{O}A) = \frac{1}{1 + e^{-\Delta U}} \quad (6.3)$$

$$P(TT) = \frac{1}{1 + e^{\Delta U}} = 1 - P(\ddot{O}A) \quad (6.4)$$

Ancak, 6.3'deki eşitlikten olasılıkların hesaplanabilmesi için 6.3'deki katsayıların kestirilmesi gerekir. Bu kestirim ise gözlenen örnek verileri yardımıyla yapılır. Kestirim yöntemi olarak enbüyük olabilirlik yöntemi kullanılmıştır.

Zamanın değeri hesabı ise;

$$ZD = a/b \quad (6.5)$$

olur. Ancak buradan çıkan sonuç, zaman değerinin içine katıldığı genelleştirilmiş maliyetin logit modelde kestirim için kullanılamayacağıdır. Bu nedenle de EUAP nin zaman değerini içeren genelleştirilmiş maliyeti değil, zaman değeri dışlanmış maliyet kestirimde kullanılacaktır. Bundan sonra genelleştirilmiş maliyet yerine sadece *maliyet* kullanılacaktır.

Zamanın değeri kestirim sonucunda hesaplanabilse de farklı şekillerde zaman değeri

hesabı yapılmaktadır. EUAP de zaman değeri Tablo 6.3'e göre belirlenmiştir [83].

Tablo 6.3: EUAP zaman değeri hesabı

Yıllık çalışma günü	266
Yıllık çalışma saati	2130
Kişi başına GSYİH (\$/Kişi/Yıl)	3369
Çalışma saati başına zaman değeri (\$/saat)	5.86
Çalışma saati dışında zaman değeri (\$/saat)	1.46
İş yolculuklarının oranı	0.28
Ortalama zaman değeri (\$/Saat/Kişi)	2.69
Ortalama zaman değeri (TL/Saat/Kişi)	1,686,707*

*GSYİH otomobil sahibi kişiler için 6.910\$, otomobil sahibi olmayan kişiler için 2.189\$ olarak hesaplanmıştır. Buna göre, ortalama zaman değeri ise otomobil sahibi kişiler için 5.51\$/saat/kişi, otomobil sahibi olmayan kişiler için 1.74\$/saat/kişi olarak hesaplanmıştır. 2000 yılında 1\$=627.976 TL olarak alınmıştır.

Buna göre kişi başına ortalama zaman değeri 2.69\$/saat'tir ve logit model kestirimi sonucu bulunan a/b nın bu değere eşit ya da yakınında olması beklenir.

Uyumlu bir modelde zaman değeri (-) işareti almaz [84]. Zaman değerinin (-) çıkması zaman ve maliyet katsayılarından birinin (+) çıkmasından kaynaklanır. Maliyet katsayısının (+) çıkması, kullanıcının aynı şartlar altında alabildiği mal ya da hizmete hiçbir neden yokken yararını arttırmak için daha fazla ödeyeceği anlamına gelir ki bu akılcı seçim davranışına aykırıdır[84]. Kişi bir statü simgesi olarak bu ücreti ödüyorsa bunun modele yansıtılması ve maliyetle ilişkilendirilmemesi gerekir [84] Bu nedenle maliyetin yarar üzerindeki etkisi (-) olmalıdır. Bunu olmadığı durumlarda modelin uyumu sorgulanır. Yararın zaman esnekliğinin (+) veya 0 çıkması ise maliyetten farklı yorumlanabilir. Bu konuda yapılan çalışmalarda Hess ve diğ. [84] zamanın kullanıcı tarafından farklı algılanabildiğine dikkat çekmiş bir kullanıcının yolculuk sırasında işlerini gözden geçirmesi ve gün boyu yapacaklarını bu yolculuk sırasında belirlemesi nedeniyle 30 dak. yolcuğu 5 dak. yolculuğa tercih ettiğine dikkat çekmiştir. Bu *sıkıştırılmış zaman* olarak anılan ve yolculuk zamanının artmasının kullanıcı yararını arttırmasını açıklayan bir gerekçedir.

İkinci nokta ise, ekonomik seçim modellerinin bağdaşık piyasalar için geliştirilmesidir. Bunun anlamı mevcut piyasa bağdaşık olmayan bir yapıda ise, piyasanın alt bağdaşık piyasalara bölünmesi ve çözümlemenin her bir bağdaşık piyasa için ayrı yapılmasıdır. Bu amaçla EUAP'daki kullanıcılar daha önce bahsedilen düşük,orta ve yüksek olmak üzere üç gelir grubuna göre sınıflanmıştır (Tablo 6.1). Herbir gelir grubunun maliyet ve zaman algılaması farklıdır. Bu nedenle her bir gelir grubu için farklı zaman değerleri bulunacaktır.

Tablo F.4, F.5, F.6'de bağımsız değişkenlerin iç bağımlılıkları hesaplanmıştır. İlişki

matrisleri incelendiğinde, en dikkat çekici ve güçlü ilişki zamanla maliyet farkları arasındaki görülür. Gelir seviyesinin artmasıyla yaş ve günlük yapılan yolculuk sayısı arasındaki ilişki artmaktadır. Diğer bağımlı değişkenler arasında güçlü bir ilişki her üç grup içinde görülmemiştir.

6.2 Sınama, Değerlendirme ve Başarım Ölçütleri

İstatistik yöntemlerine ait değerlendirme ölçütlerini esnek hesaplama yöntemi gibi parametrik olmayan yöntemlerde kullanmak her zaman mümkün değildir. Eğer kestirim, türevi alınabilen bir enerji fonksiyonuyla yapılıyorsa, başlangıç noktasındaki değer ile kestirimin gerçekleştiği nokta arasındaki değer arasındaki farkla ilgili değerlendirmeler yapmak mümkün olur. Ancak esnek yöntemler için en küçük kareler yöntemi kullandığında, bu tür değerlendirmeyi esnek modeller için kullanmak mümkün olmaz. Bunun yerine kestirim sonuçları genel bir başarımlı ölçütü olarak kullanılarak, parametrik olmayan yöntemlerle sınanacaktır. Bunun dışında kullanılan istatistik sınamalar ve göstergeler gene bu bölüm altında incelenecektir.

6.2.1 Bahis Oranı

Bahis oranı¹, bağımsız değişkenlerin olasılık üzerindeki marjinal etkisini ölçmek için kullanılır.

$$P(Y|X) = \frac{1}{1 + e^{(\beta'x+c)}} \quad (6.6)$$

logit denkleminde, x teki değişimin Y olasılığı üzerindeki marjinal etkisini görmek için esneklikleri bulmak amacıyla yaptığımız işlemi tekrarlarız. Diğer bir söylemle P nin x göre türevini alırız.

$$\frac{\partial P}{\partial x} = f(\beta'x)\beta' \quad (6.7)$$

Eşitlik 6.7 x vektöründeki değişimin olasılık üzerindeki marjinal etkisini verir.

6.6 aşağıdaki biçimde yazılabilir.

¹İngilizce "Odds ratio" olarak anılan bu sözcük, istatistik terimleri web adresinde (<http://isi.cbs.nl/glossary.htm>) "bahis oranı" olarak açıklanmıştır.

$$\frac{p_y}{1 - p_y} = e^{(\beta'x+c)} \quad (6.8)$$

Bu eşitlikte her bir bağımsız değişken için kestirilen β katsayısının $1/e^\beta$ değeri bahis oranı olarak adlandırılır ve her bir bağımsız değişkenin bu değer üzerindeki etkisini gösterir. Bir sınama değil, sezgisel bir göstergedir. Böylelikle bu değişkenin olasılık üzerinde yarattığı etkiyi gözlemleyebiliriz. Bu gösterge sadece logit modelde kullanılabilir.

6.2.2 Wald Sınaması

Bu sınamanın amacı katsayıların anlamlılığını ölçmektir. Sıradan regresyon analizinde H_o (sıfır hipotezi) her bir katsayısı için sıfıra eşit hipotezini ileri sürer. %5 güvenlik düzeyinde t değerinin karşılığı her iki kuyrukta sırayla (-1.96) ve (+1.96) dır. t değeri bu değerlerden büyük ya da küçük ise H_o ret edilir. H_o ın ret edilmesi söz konusu sayınının sıfırdan farklı olmasının anlamlı olduğunu gösterir. Bir katsayıya ait t istatistiği ise aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$t = \frac{\hat{\beta}}{S.H.(\hat{\beta})} \quad (6.9)$$

Burada $\hat{\beta}$, ilgili bağımsız değişkene ait kestirilmiş katsayı, $S.H.(\hat{\beta})$ ise bu katsayıya ait standart hatadır.

Logit model kestirimlerinde kullanılan Wald sınaması ise, Eşitlik 6.9'un karesi alınmış halidir ve t sınaması ile aynı sonuçları verir.

$$wald = \left(\frac{\hat{\beta}}{S.H.(\hat{\beta})} \right)^2$$

Ancak hipotezin sınanması t dağılımı ile değil χ^2 dağılımına göre yapılır. Kullanılacak serbestlik derecesi ise 1 dir. Sıfır hipotezinin seçilen güven düzeyine göre kabul edilmesi halinde ilgili değişkenin modeli üzerinde açıklayıcı etkisi olmadığına hükmedilerek modelden çıkartılır. Ancak bu sınama düşük örnek hacimleri ve yüksek bağımsız değişken sayılarında tavsiye edilmez. Bunun yerine olabilirlik oranı sınaması daha güvenli sonuçlar verebilir. Bu sınama istatistik bir sınamadır ve sadece logit modelde kullanılır.

6.2.3 Model- χ^2 (olabilirlik oranı) Sınaması

Aşağıdaki gibi basit bir regresyon eşitliği yazalım;

$$y = \beta'x + \varepsilon \quad (6.10)$$

Eğer y sürekli bir değişkense β' katsayı vektörünün kestirilmesi regresyondan başka bir şey değildir. Ancak y ayrık değerlerden oluşuyorsa (seçim problemi) Eşitlik 6.10 aşağıdaki şekilde yazılır.

$$P(y = 1|x) = F(x) \quad (6.11)$$

Burada, F , ε ile gösterilen hataların dağılımını temsil eden olasılık yoğunluk fonksiyonudur. Eğer bu fonksiyon; *normal dağılıma* uyarsa probit model, *tip-I aşırı değer*'e uyarsa logit model olur. Bir örnekte gözlenen her olay bağımsız meydana geldiği (bağımsız Bernoulli denemesi) düşünülürse bu örneğin toplam olasılığını aşağıdaki şekilde yazarız.

$$L = \prod_{i=1}^n F(x_i) \quad (6.12)$$

Burada L , *olabilirlik fonksiyonu* olarak adlandırılır. L 'nin enbüyüklenmesi, aynı zamanda örnek olasılığının enbüyük olacak şekilde kestirilmesi anlamına gelir. Eğer gözlemlerimiz mükemmel ve kestirimimiz hatasız ise L 'nin alabileceği teorik enbüyük değer 1 olur. L 'nin logaritmasını aldığımızda, eşitliğe ait ögeler çarpan durumundan toplam durumuna geçerler.

$$\log L = \sum_{i=1}^n \log F(x_i) \quad (6.13)$$

Kestirim için her bir parametreye göre 6.13 'ün türevi alınır.

$$\frac{\partial \log L}{\partial x_i} = 0 \quad (6.14)$$

Bu çözüm enbüyük olabilirlik olarak adlandırılır. L ile gösterilen olabilirlik

fonksiyonun değeri kestirilen tüm parametrelerin katsayılarının sıfır olduğu yerde 'kısıtlanmış olabilirlik' olarak anılır ve L_o ile gösterilir. Enbüyüklenmiş (parametreleri kestirildiği konum) L değeri ise 'üst olabilirlik' olarak anılır ve L_U ile gösterilir. Kestirimi iyi yapılmış bir modelde L_U nun en azından $-2 \log L_o$ kadar L_o dan uzak olması gerekir. O halde olabilirlik oranı (OO) sınaması için;

$$OO = -2 \log \left[\frac{L_o}{L_U} \right] \quad (6.15)$$

eşitliği yazılır. Bu eşitlik modelin başlangıcı ile enbüyüklenildiği nokta arasındaki olabilirlik fonksiyonunun arasındaki farkı verir. Elde edilen eşitlikler çözülerek sonuca ulaşılır. L bir tür enerji fonksiyonudur ve hedefe yaklaştıkça büyür. Olabilirlik fonksiyonunu (-1) ile çarparsak, problem enbüyüklemekten enküçüklemeye problemine döner.

OO 'nun anlamlılığı ise χ^2 dağılımı ile sınanır. Dağılım için serbestlik derecesi, kullanılan bağımsız değişken sayısına bağlıdır (sabit terim dahil değildir). H_o hipotezinin OO için belirlenmiş bir güvenlik derecesinde (genelde %5 alınır) kabul edilmesinin anlamı; enerji fonksiyonunun ilk başlangıç noktasıyla, kestirimin yapıldığı nokta arasında anlamlı bir fark oluşmadığıdır. Bu sonuç başarısız bir kestirim sürecine işaret eder. Sıfır hipotezinin ret edilmesi ise kestirimin anlamlı olduğunu gösterir. Sıfır hipotezini ret etmek için bulunacak OO nun Tablo 6.4'de verilen ilgili serbestlik derecesinden büyük olması gerekir.

Tablo 6.4: Farklı serbestlik dereceleri için %5 güvenlik düzeyindeki χ^2 -değerleri

Serbestlik derecesi	1	2	3	4	5
χ^2 -değeri	3.8415	5.9915	7.8147	9.4877	11.0705

OO sınaması uyum-iyiliği sınamasıdır ve modelin genel başarımını gösterir. Enerji fonksiyonu yardımıyla yapılan tüm kestirimlerde bu sınamayı kullanmak mümkündür.

6.2.4 %-Doğru Tahmin Göstergesi

Bir sınama değil bir göstergedir. Modelin genel başarımını gösterir. Diğer bir söylemle yapılan hata sayısına göre modelin genel başarımı hesaplanır. Eğer iki ayrık değişken farklı değerler ya da anlamlar taşıyorsa, birine ait yanlış tahmin maliyeti diğerine göre büyük olabilir. Örneğin; model toplu taşıma talebi tahminine göre raylı sistem yapılması düşünüyorsa, yanlış toplu taşıma tahmin maliyeti mevcut seçenek olan karayolu tahmininden yüksek olur. Bu gibi durumlarda bu tablodan elde edilen yanlış tahminlere maliyetler verilerek, modellerin tahmin başarımları bu maliyetler

üzerinden değerlendirilir. Ancak bu çalışma kapsamında tahmini yapılacak olan özel araç ve toplu taşıma tahmin maliyetleri eşit alınacaktır.

%-Doğru tahmin göstergesi için Tablo 6.5'deki çapraz tahmin tablosu kullanılır.

Tablo 6.5: Çapraz tahmin tablosu

	Tahmin		%-doğru
Gözlenen	0	1	
0	d	c	$d/(c+d)$
1	b	a	$a/(a+b)$
Genel %-doğru			$(a+d)/(a+b+c+d)$

6.2.5 $McFadden - R^2$

Uyum-iyiliği istatistiği olarak klasik regresyon çözümlemesinde kullanılan R^2 değeri, bağımlı değişkendeki yayılmanın (varyansın) ne kadarının bağımsız değişkenler tarafından açıklanabildiğini gösterir. Logit modellerin; enbüyük olabilirlik çözümlemesi ile kestirilmesi ve bağımlı değişkenin ayrık olması uyum-iyiliği ölçümünde R^2 istatistiğinin kullanılmasını doğru bir başarımlı ölçütü yapmaktan uzak kılabilir. [85]. Bu nedenle, $McFadden - R^2$ olarak bilinen aşağıdaki uyum-iyiliği değeri kullanılır.

$$McFadden - R^2 = 1 - \left[\frac{\text{Log}L_U}{\text{Log}L_o} \right] \quad (6.16)$$

Burada;

L_o , olabilirlik fonksiyonu L 'nin, parametre katsayılarının tümünün sıfır olduğu noktadaki değeri,

L_U , olabilirlik fonksiyonu L 'nin, enbüyüklenmiş (parametreleri kestirildiği konum) değeridir.

Bu istatistiğin değer aralığı da tıpkı R^2 olduğu gibi $[0,1]$ aralığındadır. 1'e yaklaştıkça modelin verileri açıklamadaki başarımlının arttığı kabul edilir. Bu sınaama değil bir göstergedir. Olabilirlik oranıyla yapıldığından enerji fonksiyonu ile yapılan tüm kestirimlerde kullanılabilir.

6.2.6 İhmal Edilmiş Değişkenlerin (İEDT) Taraflılığının Sınanması

Bazı ihmal edilmiş değişkenler parametre kestiriminde yanlılığa neden olabilir. Bu durumu ortaya çıkartmak için olabilirlik oranı kullanarak aşağıdaki sınaama yapılır.

$$OO_q = \{-2 \log L_o, i = k - q\} - \{-2 \log L_u, i = k\} \quad (6.17)$$

Burada;

OO_q , q serbestlik derecesindeki İEDT sınaması için kullanılan olabilirlik istatistiği,
 L_o , olabilirlik fonksiyonu L 'nin, parametrenin katsayılarının tümünün sıfır olduğu noktadaki değeri,

L_U , Olabilirlik fonksiyonu L 'nin enbüyüklenmiş (parametrelerin kestirildiği konum) değeridir.

OO_q nun sınaması için χ^2 dağılımı kullanılır. Seçilen serbestlik derecesi q dur ve $q \geq 1$ olduğunda ihmal edilen değişken sayısı artar. Eğer aradaki fark anlamlı değilse ilgili değişken modele dahil edilmez. Olabilirlik oranıyla yapıldığından enerji fonksiyonu ile yapılan tüm kestirimlerde kullanılabilir.

6.2.7 Örneğin Yapısal Sınaması

Aynı toplumdan gelen farklı örnekler düşünelim. Modelimizi her bir örnek için ayrı ayrı yapmanın mı daha iyi, yoksa tüm bu örnekleri birleştirip tek bir örnek halinde modelleme yapmanın mı doğru bir tercih olduğunu sınamak isteyebiliriz. Bu çalışmada; özel araç sahibi olan kullanıcıları üç alt gruba ayırmıştır. Her bir grup için modeli ayrı ayrı yapmanın ya da tüm grupları birleştirerek tek bir örnek üzerinden kestirimin daha başarılı olup olmayacağını bu sınama ile anlamak mümkün olur. Bu sınama için;

$$OO_{ys} = -2[\log L_p - (\sum \log L_{s_i})] \quad (6.18)$$

eşitliği kullanılır. Burada;

OO_{ys} ,olabilirlik oranı

L_p , birleştirilmiş örneğe ait enyilenmiş olabilirlik (L) değeri,

L_{s1} ,ilk örneğe ait enyilenmiş olabilirlik (L) değeri,

$\sum \log L_{s_i}$,her bir ayırık örnek için, enyilenmiş logaritmik olabilirlik ($\log L$) değerlerinin toplamıdır.

Elde edilen değer χ^2 dağılımı yardımıyla değerlendirilir. Serbestlik derecesi 'bağımsız değişkenler +1' olarak seçilir. Çalışmada, H_o hipotezi, tüm gelir gruplarına ait

gözlemleri kullanmak yerine sınamanın yapıldığı ilgili gelir grubu gözlemleriyle modeli kurmanın daha iyi olduğunu ileri sürer. H_0 hipotezini ret edilmesi durumunda, tüm gelir gruplarına ait gözlemlerle modelin oluşturulmasının daha iyi olacağını söyleyebiliriz. Olabilirlik oranıyla yapıldığından enerji fonksiyonu ile yapılan tüm kestirimlerde kullanılabilir.

6.2.8 ROC-eğrisi Değerlendirmesi (Tahmin Gücü Eğrisi)

ROC (receiving operating curve) aynı zamanda güç eğrisi olarak da anılır. Seçim problemlerinde gözlenen bağımlı değişkenler ayrık (toplu taşıma 0, özel araç=1 gibi) yapıdadır. Ancak buna karşın logit ve esnek modeller ayrık olmayıp $[0,1]$ aralığında değerler üretirler. Yapılan tahminin 0 mı yoksa 1 mi olduğuna karar vermek için ise en yaygın yöntem eşik değeri olarak anılan ve ayırım için kullanılan değerin 0.5 olarak seçilmesidir. Ancak bu çok genel bir yaklaşımdır. Eşik değerinin 0.5 seçilmesinin tam olarak istatistik açıdan bir dayanağı yoktur. Eğer yazı ve tura gibi beklenen olasılığı 0.5 olan bir olay için model kurmuş olsaydık 0.5'in seçilmesini anlamlandırabilirdik. Diğer yandan seçim probleminde zaten aradığımız bu olasılık olduğundan eşik değeri olarak 0.5'in seçilmesi için bir gereklilik de yoktur. Eşik değerinin en uygun şekilde seçilmesi modelin başarımını da arttırabilir. Ancak bu seçim görüldüğünden daha zor olabilir. En uygun ve tahmini enbüyükleyecek seçim için ROC eğrisi çözümlemesi kullanabiliriz.

ROC eğrisi kısaca TP (doğru artı) ile FN (yanlış eksi) arasındaki oranın eğilimini gösterir. Olasılık dışı ya da sınıfsal tahminleri tamamı aynı anda çapraz tahmin tablosu ile gösterilir (Tablo 6.5). Bu sınıflar dört adettir.

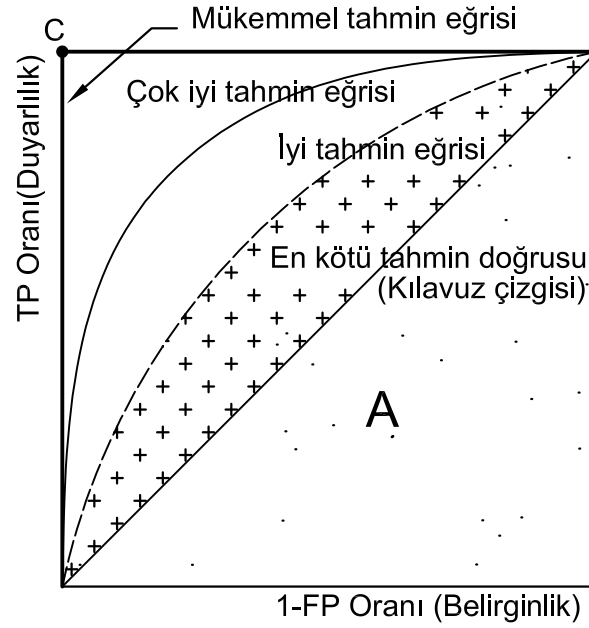
1. Doğru + , TP
2. Doğru - , TN
3. Yanlış + , FP (Tip-II hata)
4. Yanlış - , FN (Tip-I hata)

Ancak bu dört bilgi sadece iki adet serbestlik derecesiyle gösterildiğinden, bu bilgiyi iki skaler değerle temsil etmek için 'duyarlılık' (*sensitivity*) ve 'belirginlik' (*specificity*) tanımlanmıştır. Duyarlılık *doğru + oranı* (özel aracı doğru tahmin etme oranı), belirginlik ise *yanlış - oranı* (toplu taşımayı doğru olarak tahmin etme oranı) olarak açıklanır. Her ikisine ait hesaplama biçimi ise aşağıdaki gibidir;

$$\text{Belirginlik} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (6.19)$$

$$\text{Duyarlılık} = \frac{TN}{TN + FP} \quad (6.20)$$

İyi bir tahmin yapan modelin belirginlik ve duyarlılık oranı yüksektir. ROC eğrisi bu iki oran arasındaki eğilimin şekilsel ifadesidir.



Şekil 6.3: Tipik ROC eğrileri

Şekil 6.3’de örnek ROC eğrileri görülmektedir. ROC eğrisi *C* noktasına yakın geçmesi, modele ait tahmin başarımının yüksek olduğuna işaret eder. Bu durumu sayısal bir göstergeye çevirmek için ROC eğrisinin altındaki alan hesaplanır. Bu alanın altındaki alan büyüdükçe tahmine ait başarımın yükseldiğini söylemek mümkün olur. En kötü başarıım için ise alan 0.5’e eşit olur. Eğrinin altında kalan alanın nasıl hesaplanacağıyla ilgili ayrıntılar Tang ve Chi[86], Stricland [87]’de verilmiştir. ROC eğrisi aynı zamanda Tip-I, Tip-II hatalarını² da gösterir.

Tüm bunlara ek olarak ROC eğrisi eşik değerinin bulunması için yararlı bir araçtır. Eşik değerinin belirlenmesiyle ilgili yöntemleri Liu ve Berry [88] öznel ve nesnel

²Tip-I hata; Öne sürülen H_0 hipotezinin doğru olmasına rağmen ret edilmesi halinde ortaya çıkar.

Tip-II hata; Öne sürülen H_0 hipotezinin yanlış olmasına rağmen kabul edilemesi halinde ortaya çıkar.

olarak ikiye ayırır. Özne yaklaşım da eşik değeri 0.5 olarak alınır (bir çok alanda genel olarak kullanılan değerdır ve ulaştırmadaki taranan tüm çalışmalarda 0.5. olarak alınmıştır.) Bu seçim Liu ve Berry’de çok sıradan ve belirli bir temelden yoksun olarak tanımlanmıştır. Ancak bazı çalışmalarda %95 duyarlılık veya belirginlik düzeyindeki değeri eşik değeri olarak seçilebilmektedir. Ancak gene de bu seçim çok özne kalmaktadır.

Diğeri yandan Liu ve Berry, birçok nesnel yöntemin varlığına da işaret eder. Bu yaklaşımdaki amaç tahmin edilen ile gözlenen değeri arasındaki benzerliği enbüyükleyecek eşik değeri seçmektir. Üstelik dengesiz dağılıma sahip örneklerde eşik değeri 0.5 seçmenin ya da sabit almanın sorun oluşturduğuna Cramer [89]’de dikkat çekilmiştir. Cramer aynı zamanda bu tür örneklemelerde bu yaklaşımın hassas olmayan sonuçlar verdiğini söylemiştir. Bu nedenle gözlenen ve gerçekleşen olasılıklarla, modelin tahmin ettiğı gerçekleşen olasılıkların ortalamasının eşik değeri olarak seçilmesini önermiştir. Diğeri bir nesnel yaklaşım ise gerçekleşen ve gerçekleşmeyen olasılıkların ortasındaki bir noktanın eşik olarak seçilmesidir.

Ancak bizim bu çalışmada seçtiğimiz nesnel yöntem ROC eğrisi ile ilgili olan yöntemlerdir. İlk yöntem duyarlılık ve belirginliği en yüksek yapan eşik değeri. İkinci yöntem ise ROC eğrisi üzerinde duyarlılık ve belirginliğin eşit olduğu noktadır. Diğeri ve sonuncu yaklaşım ise ROC eğrisinin C ’ye en yakın olduğu noktanın eşik değeri olarak seçilmesidir.

6.2.9 R^2 -ölçütü

Geleneksel regresyon çözümlemesinde sıkça kullanılan bu ölçüt temel olarak bağımlı değişkendeki sapmanın ne oranda bağımsız değişkenler tarafından açıklanabildiğini gösterir. Ancak daha önce bahsedildiğı gibi bağımsız değişkenlerin ayrık olduğu logit model gibi yöntemlerde bu ölçüt ne kadar etkilidir? Bu ölçütün ayrık değişkenlerle yapılan modellerin uyum-iyiliğini ne derece açıklayabildiğini göstermek için genel değerlendirme tablosuna yerleştirilecektir. R^2 ölçütünü hesaplamak için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$R^2 = \frac{tss - rss}{tss} \quad (6.21)$$

$$tss = (t - 1) \cdot s.s.^2$$

$$rss = e^T \cdot e$$

Eşitlikteki, $s.s.$ bağımlı değişkenin (seçimler) standart sapmasını, e atık değeri

vektörünü göstermektedir.

6.2.10 Düzeltilmiş- R^2 , DR^2 (Adjusted- R^2 , AR^2)

R^2 nin tersine DR^2 serbestlik derecesini de göz önüne alır. Atık değerlerin hesabında R^2 serbestlik derecesini dikkate almaz. Oysaki çözümlemeye yeni bir değişken katıldığında, atık değerlerin yayılımı (varyansı) değişmediği halde, atık değerlere ait karelerin toplamı azalır ya da aynı kalır. Bu durumu göz önüne almak için regresyon analizinde düzeltilmiş- R^2 kullanılır ve R^2 dan çok daha doğru bir göstergedir. DR^2 aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$DR^2 = 1 - \frac{1 - (1 - R^2) \cdot (n - 1)}{\text{serbestlik derecesi}} \quad (6.22)$$

Özellikle bağımsız değişken sayısı artıkça ve gözlem sayısı (n) azaldıkça R^2 ile DR^2 'nin farkı açılır. DR^2 değerlendirmesi aşağıdaki şekilde olur.

- Eğer DR^2 nin değeri önemli miktarda R^2 'den düşükse, bunun anlamı bazı bağımsız değişken(ler) modele katılmamıştır. Bu değişkenler modele katılmadığı sürece bağımlı değişkendeki yayılımı tam ya da büyük oranda açıklamak mümkün olamayacaktır.

DR^2 ve R^2 'nin aynı bağımsız değişkenlerle hesaplanması gerekir. Ancak yukarıda R^2 için söylediklerimiz DR^2 içinde geçerlidir ve ayrı bağımsız değişkenler için tam bir uyum-iyiliği ölçütü olmayabilir.

6.2.11 Duyarlılık, Belirginlik, Doğru ve Hata Oranı

Bu ölçütler yukarıda açıklanmıştı. Tahmin başarımını göstermesi ve tüm modeller için hesaplanabilir bir ölçüt olduğundan duyarlılık ve belirginlik genel başarımlar tablosuna dahil edilecektir. Diğer yandan modelin tüm yaptığı hatalı tahminlerin oranını gösteren toplam hata ve doğru tahmin oranı (D.T. Oranı) tabloda yer alacaktır.

6.2.12 Kappa (κ) İstatistiği

Parametrik olmayan bir ölçüt olduğundan, kappa (κ) istatistiği tüm modellerin başarımını ölçmek için kullanılabilir bir istatistiktir. Bu istatistik aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$\kappa = \frac{(a + d) - [(a + c)(a + b) + (b + d)(c + d)]/n}{n - [(a + c)(a + b) + (b + d)(c + d)]/n} \quad (6.23)$$

Yukarıdaki eşitlikteki ilgili değişkenler Tablo 6.5’de verilmiştir. κ istatistiği $[-1 \ 1]$ aralığında bir değer alır. Sıfırdan küçük değerler gözlenenle model arasındaki tahminin arasında hiç bir ilişki olmadığını gösterirken, 0 bu ilişkinin tamamen şans eseri olduğuna işaret eder. κ istatistiği öznel bir değerlendirmedir ve modelin bulduğu doğru tahminin şans eseri olup olmadığını sınamasına yardımcı olur. Öznel bir değerlendirme olmasına rağmen [90]’de bu değerlendirme için kullanılan genel bir tablo verilmiştir. Tablo 6.6’de κ çeşitli değerlerine karşılık gelen değerlendirmeler görülmektedir.

Tablo 6.6: κ istatistiği değerlendirme tablosu

κ	Değerlendirme
ı0.20	çok kötü
0.21-0.40	kötü
0.41-0.60	orta
0.61-0.80	iyi
0.81-1.00	çok iyi

6.3 Kullanılan Modeller

Tür seçimi modellerinde kullanmak için EUAP’dan elde edilen beş adet bağımsız değişken mevcuttur. Bunlar;

1. ΔZ , özel araç ve toplu taşıma yolculuk süresi farkları ($Z_{\ddot{O}A} - Z_{TS}$)
2. ΔM , özel araç ve toplu taşıma maliyet farkları ($M_{\ddot{O}A} - M_{TS}$)
3. HHS , yolcunun ait olduğu hanehalkındaki toplam birey sayısı
4. $YAŞ$, yolcunun yaşı
5. GYS , yolcunun yaptığı günlük toplam yolculuk sayısı

Bir model çalışması sırasında n adet bağımsız değişkenden $2^n - 1$ sayıda farklı model geliştirilebilir. Bu çalışma kapsamında elimizdeki beş adet bağımsız değişkenle her bir gelir grubu için 31 adet farklı model geliştirmek mümkündür. Tür seçimi modelleri üç gelir grubu için aşağıdaki yöntemlere göre oluşturulmuştur.

1. İkili logit model (L ile başlayan modeller)

2. YSA modelleri (YSA ile başlayan modeller)
3. Bulanık mantık modelleri (BM ile başlayan modeller)
4. Sinir-bulanık modeller (SB ile başlayan modeller)

Üretilebilecek toplam model sayısı $31 \times 3 \times 4 = 372$ adet olur. Bu kadar miktarda modeli değerlendirmek zaman alıcıdır. Bu nedenle sadece önemli ve dikkate alınacak değişkenler modellere katılarak modeller geliştirilmiştir. Zaman ve maliyet baskısı altında kalmadan kullanıcıların tür seçimi kararları veremeyecekleri düşünüldüğünden, seçim üzerinde etkisi düşük değişkenlerin (Bkz. Sf. 52 Tablo 3.1) bulunduğu modeller dışlanmıştır. Sadece logit modellerde bu değişkenlerin tümünün dışlanmadığı modellere yer verilmiştir.

Esnek hesaplama modellerinin yer aldığı bu bölümde, modellerin biçimi, kullanılan gözlem sayıları ve modellere ait tahmin başarımlarıyla ilgili bilgiler yer almaktadır. Esnek yöntemler istatistik yöntemler gibi varsayımlar içermediklerinden modeller, kurulma aşamasından eğitim aşamasına olan süreçlerde tamamen modeli yapan uzmanın seçimleriyle biçimlenirler. Bu uzmana esneklik sağlarken, diğer yandan sayısız biçimde model sunması nedeniyle model sürecini zorlaştırabilir. Sadece beş değişken ile, model biçimi sabit kaldığında 31 adet model üretilirken, biçim sayısındaki bu derece esneklik süre olarak incelenemeyecek sayıda model üretir. Bu nedenle esnek yöntemler kullanarak yapılan modeller, sadece zaman (ΔZ) ve maliyet (ΔM) değişkenleri kullanarak geliştirilmiştir. Buna ek olarak esnek yöntemlerin kalibrasyon süreçleriyle ilgili değişkenler (döngü zamanı vb.) her esnek modele göre değiştiğinden, her model için bu değişkenler belirtilecektir. Ancak genel model özelliklerinden ilgili model içinde bahsedilecektir.

6.3.1 Geleneksel Modeller: Logit model

Tür seçimi modeli olarak logit modellerin değerlendirildiği bu bölüm, 3 gelir grubu için yapılan logit modellere ait sınamalar, uyum-iyilikleri, tahminler ve değerlendirmeler içermektedir. Çapraz tahmin tablosundaki "1" özel aracı, "0" ise toplu taşımayı temsil etmektedir. Tüm modellerin katsayıları enbüyük olabilirlik yöntemiyle kestirilmiştir. Hesaplanan türe özgü sabit özel araca aittir.

L1:

Model biçimi:

$$P(\ddot{O}A) = \frac{1}{1 + e^{-(a\Delta Z + b\Delta M + z)}}$$

$$P(TT) = 1 - P(\ddot{O}A)$$

Gelir grubu : Düşük (D)
Bağımsız değişkenler : (ΔZ), (ΔM)
Gözlem sayısı : 123

Model sonuçları:

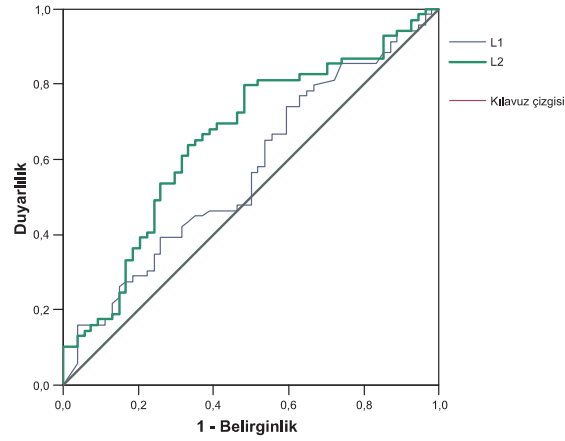
Kestirimler ve sınamalar			
	a (zaman)	b (maliyet)	z (t.ö.s)*
katsayı	0.00183	-0.11825	0.75440
bahis oranı	0.99	0.88	
standart hata	0.026	0.147	0.438
wald-istatistiği	0.05	0.645	2.961

*türe özgü sabit

Tahmin başarımı:

% Doğru, Çapraz tahmin tablosu;			
	Tahmin		%-doğru
Gözlenen	0	1	
0	7	47	13
1	6	63	91.3
Genel %-doğru			56.9

OO-sınaması : $OO=1.69$; 5.99 , H_o kabul edilir.
Pseudo- R^2 : $McFadden - R^2=0.01$
İEDT-Sınaması : $OO_q=1.68$; 5.99 , H_o kabul edilir.
Yapısal sınama : $OO_{ys}=-6.737$; 7.81 , H_o kabul edilir.
ROC eğrisi; : Eğri altında kalan alan= 0.569



Şekil 6.4: L1 ve L2 'ye ait ROC eğrileri

Değerlendirme:

İki değişkenle yapılan bu modelin tüm sınamalar ve göstergelerine bakmadan katsayıların işaretleri incelendiğinde zamanın etkisinin (+) maliyetin ise (-) olduğu görülür. Zaman ve maliyet yolcуда ilgili türe karşı olumsuz etki yaptığından uyumsuz bir modeldir (Bkz.Sf. 68). Bu modelin bir tahmin modeli olarak seçilmesi mümkün değildir. Model hiç bir istatistik sınavasını geçememiştir ve tahmin başarısı son derece düşüktür.

L2:

Model biçimi:

$$P(\ddot{O}A) = \frac{1}{1 + e^{-(a\Delta Z + b\Delta M + cHHS + dYAS + eGYS + z)}}$$

$$P(TT) = 1 - P(\ddot{O}A)$$

Gelir Grubu : Düşük (D)

Değişkenler : ΔZ , ΔM , HHS, YAŞ, GYS

Gözlem sayısı :123

Model sonuçları:

Kestirimler ve sınamalar						
	a (zaman)	b (maliyet)	c (HHS)	d (YAŞ)	e (GYS)	z (t.ö.s.)*
katsayı	0.0066	-0.0791	-0.0359	0.0395	0.3856	-1.3810
bahis oranı	0.99	1.08	1.04	0.96	0.68	
standart hata	0.0263	0.1506	0.1485	0.0216	0.2393	1.1593
wald-istatistiği	0.064	0.276	0.058	3.307	2.596	1.419

*türe özgü sabit

Tahmin başarımı:

% Doğru, Çapraz tahmin tablosu;

Gözlenen	Tahmin		% -doğru
	0	1	
0	26	28	48.1
1	14	55	79.7
Genel %-doğru			65.9

OO-sınaması :OO=8.96 ; 11.07, H_o kabul edilir.

Pseudo- R^2 :McFadden – R^2 =0.0531

İEDT-Sınaması :OO_q=8.96;11.07, H_o kabul edilir.

Yapısal sına :OO_{ys}=-6.737;7.81, H_o kabul edilir.

ROC eğrisi; :Eğri altında kalan alan= 0.657

Değerlendirme:

Beş değişkenin değerlendirmeye alındığı bu model, düşük gelir grubu için doğru tahmin oranını arttırmıştır. Bu hem çapraz tablodan hem de ROC eğrisi altındaki alandaki artıştan görülebilir. Ancak modelde uyumsuzluk zaman değişkeninin katsayısının (+) olmasıdır. Modelde tüm katsayılara ait wald-sınamaları ve diğer sınamalar başarısız olmuşlardır. Diğer yandan yaş (YAŞ) ve günlük yolculuk sayısı (GYS) değişkenlerinin daha yüksek değerler alması, tür seçimi üzerinde daha belirleyici oldukları görüntüsünü vermektedir. Modelin bu haliyle kullanılması uygun değildir.

L3:

Model biçimi:

$$P(\ddot{O}A) = \frac{1}{1 + e^{-(a\Delta Z + b\Delta M + z)}}$$

$$P(TT) = 1 - P(\ddot{O}A)$$

Gelir Grubu : Orta (O)

Değişkenler : $\Delta Z, \Delta M$

Gözlem sayısı : 82

Model sonuçları:

Kestirimler ve sınamalar			
	a (zaman)	b (maliyet)	z (t.ö.s)*
katsayı	-0.0025	0.0755	0.5493
bahis oranı	1.0	0.93	
s.hata	0.0442	0.2257	0.5862
wald-testi	0.003	0.1120	0.8788

*türe özgü sabit

Tahmin başarımı:

% Doğru, Çapraz tahmin tablosu;

	Tahmin		% -doğru
	0	1	
Gözlenen			
0	0	24	0
1	0	58	100
Genel % -doğru			70.7

OO-sınaması :OO=0.39 ; 5.99, H_o kabul edilir.

Pseudo- R^2 : $McFadden - R^2=0.004$

İEDT-Sınaması : $OO_q=0.396;5.99$, H_o kabul edilir.

Yapısal sınaama : $OO_{ys}=-6.737;7.81$, H_o kabul edilir.

ROC eğrisi; :Eğri altında kalan alan= 0.518

Değerlendirme:

İki değişkenle yapılan bu modelin, tüm sınamalar ve göstergelerine bakmadan sadece kestirilen değişken katsayılarının işaretleri incelendiğinde, zamanın seçim üzerinde sıfıra yakın etkisi olduğu göze çarpar. Diğer yandan maliyet farkının özel araç lehine değişmesi özel araç seçiminin artmasına neden olduğu katsayılardan görülebilir. Zaman ve maliyet katsayılarının işareti (-) de olsa, maliyetin seçime etki şiddeti düşüktür. Modelin bir tahmin modeli olarak seçilmesi mümkün değildir. Çünkü modelin tahmin başarısı sıfırdır.

L4:

Model biçimi:

$$P(\ddot{O}A) = \frac{1}{1 + e^{-(a\Delta Z + b\Delta M + cHHS + dYAS + eGYS + z)}}$$
$$P(TT) = 1 - P(\ddot{O}A)$$

Gelir Grubu : Orta (O)
Değişkenler : ΔZ , ΔM , HHS, YAŞ, GYS
Gözlem sayısı : 82

Model sonuçları;

Kestirimler ve sınamalar						
	a (zaman)	b (maliyet)	c (HHS)	d (YAŞ)	e (GYS)	z (t.ö.s.)*
katsayı	-0.0160	0.0321	-0.0919	-0.0022	0.4681	0.41272
bahis oranı	1.02	0.97	0.91	1.00	0.63	
standart hata	0.0467	0.1506	0.2082	0.0323	0.3495	1.7114
wald-istatistiği	0.117	0.019	0.195	0.4664	1.794	0.058

*türe özgü sabit

Tahmin başarımı:

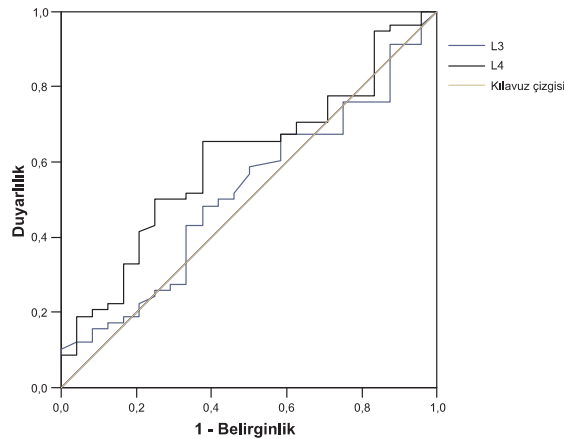
% Doğru, Çapraz tahmin tablosu;

	Tahmin		% -doğru
	0	1	
Gözlenen	0	1	
0	0	24	0
1	0	58	100
Genel %-doğru			70.7

OO-sınaması :OO=3.4241 ;11.07, H_o kabul edilir.
Pseudo- R^2 : $McFadden - R^2=0.0345$
İEDT-Sınaması : $OO_q=3.424$;11.07, H_o kabul edilir.
Yapısal sına : $OO_{ys}=-6.737$;7.81, H_o kabul edilir.
ROC eğrisi; :Eğri altında kalan alan= 0.606

Değerlendirme:

Beş değişkenin değerlendirmeye alındığı bu model orta gelir grubu için tahmin oranını arttırmış gibi gözükse de, çapraz rahmin tablosundan da görüldüğü gibi doğru toplu taşıma tahmini 0 dır. Ancak modeldeki uyumsuzluk, kendini bu defa maliyet katsayısında (+ değer almıştır) göstermektedir. Maliyet değişkenin model üzerindeki açıklama etkisinin zayıf olması, değişken olarak dikkate almamızı güçleştirmektedir. Modelin tahmin gücündeki göreceli artışın nedeni yaş ve özellikle GYS değişkenleri nedeniyle olmuştur. Modelin bir tahmin modeli olarak kullanılması güçtür.



Şekil 6.5: L3 ve L4 'e ait ROC eğrileri

L5:

Model biçimi:

$$P(\ddot{O}A) = \frac{1}{1 + e^{-(a\Delta Z + b\Delta M + z)}}$$

$$P(TT) = 1 - P(\ddot{O}A)$$

Gelir Grubu : Yüksek (Y)
Değişkenler : ΔZ , ΔM
Gözlem sayısı :19

Model sonuçları:

Kestirimler ve sınamalar			
	a (zaman)	b (maliyet)	z (t.ö.s.)*
katsayı	-0.2143	-0.5420	-0.1262
bahis oranı	1.23	1.71	
standart hata	0.1349	0.5713	1.1425
wald-istatistiği	2.5242	0.018	0.012

*türe özgü sabit

Tahmin başarımı:

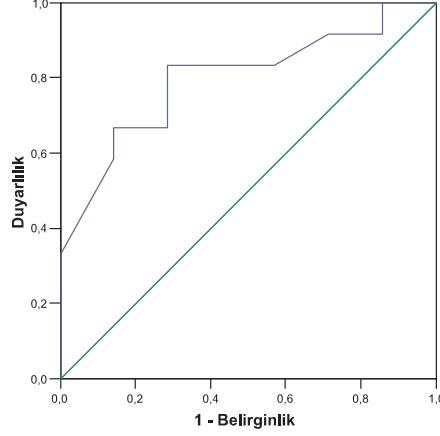
% Doğru, Çapraz tahmin tablosu;			
	Tahmin		%-doğru
Gözlenen	0	1	
0	5	2	71.4
1	2	10	83.3
Genel %-doğru			78.9

OO-sınaması : $OO=4.14$; 5.99 , H_o kabul edilir.
Pseudo- R^2 : $McFadden - R^2=0.2001$
İEDT-Sınaması : $OO_q=4.14$; 5.99 , H_o kabul edilir.
Yapısal sına : $OO_{ys}=-6.737$; 7.81 , H_o kabul edilir.
ROC eğrisi; :Eğri altında kalan alan= 0.798

Değerlendirme:

Bu modelde için tüm katsayılar doğru işarete sahiptir. Zamana ait Wald-sınaması nispeten diğer gruplardaki katsayılara göre yüksektir. Ancak wald-sınamasının düşük örnek hacimleri için güvenilir bir sına olmadığı daha önce belirtmiştik. Diğer yandan seçiminde etkili olan zaman ve maliyet'in işaretleri (-) çıkmıştır. Yüksek gelir grubu için zaman değeri 39,537 dak/TL (a/b) çıkmaktadır. Saat olarak zaman değeri 2,372,324 sa/TL eşittir. Bu rakam, EUAP da hesaplanan tüm gelir grupları için ortalama (1,686,707 sa/TL) zaman değerinden yüksektir. Modelin ROC eğrisi altında kalan alanı 0.798 'dir. Modelin tahminleri tatmin edici görülmektedir. Ancak buna

karşın modele ait gözlem sayısının azlığı ve istatistik testleri geçememiş olması tahmin modeli olarak kullanılması için dikkatli olmayı gerektirmektedir.



Şekil 6.6: L5'e ait ROC eğrisi

6.3.2 Esnek Hesaplama Modelleri: YSA Modelleri

YSA1, YSA4, YSA7

Ağ katsayıları kestirimi için gradyan yöntemi kullanılmıştır. Böylelikle toplamda hatayı enazlayacak şekilde enerji yüzeyi üzerinde dolaşarak ağırlara ait ağırlıklar güncellenir. Ağ ağırlıklarını güncellemek için aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$\Delta w_i(n+1) = \eta_i \nabla w_i + \rho \nabla w_i(n)$$

w_i ilgili ağırlık, n döngü adımı, η_i öğrenme adımındır. Sadece D sayıda döngü yapılmıştır. Çevrim sayısının küçük tutulmasının nedeni YSA ağının bellek özelliği göstermeden bir tahmin modeli oluşturabilmektir. YSA'lar için farklı eniyileme süreçlerinde, enerji fonksiyonun farklı bir bölgesinde dolaşmaya başlayacağımızdan kestirilen ağırlık katsayıları her seferinde farklı olur. Bu nedenle her biri D kadar döngüye sahip S adet eniyileme yapılmış ve her bir eniyileme sonucu bulunan ağırlıkların içinde katsayısı (-) olan w_1 ve w_2 ağırlıkları seçilmiştir. Seçilen bu ağırlıklara ait w_o katsayıları S adet eniyilemenin ortalaması olan w_o ağırlığından çıkartılmış, ve farkı en az olan w_o ağırlığına ait w_1 ve w_2 ağırlıkları seçilmiştir. Ağırlık seçim süreci ile ilgili adımlar aşağıda listelenmiştir.

1. D döngülü, S adet eniyileme sonucu bulunan ağırlıklar matrisi

$$-\zeta \sum_{i=1}^S \bar{W}[w_o^i, w_1^i, w_2^i]$$

2. Katsayıları sıfırdan küçük w_1 ve w_2 ve bunlara ait w_o ağırlıkları

$$-\zeta \bar{W} = [\dot{w}_0^i, ((\dot{w}_1^i, \dot{w}_2^i) < 0)]$$

3. En uygun ağırlık vektörünün seçimi

$$-\zeta w_j(enaz(\dot{w}_0^i - ort(w_o^i)) = (w_0^j, w_1^j, w_2^j)$$

Ağdaki ağırlık katsayıları logit modeldeki katsayılar gibi düşünüleceğinden zaman değeri hesabı bu modellerde mümkündür.

YSA2,YSA3,YSA5,YSA6,YSA7

Ağdaki katsayıların kestirimi için gradyan yöntemi kullanılmıştır. Böylelikle toplamda hatayı enazlayacak şekilde enerji yüzeyi üzerinde dolaşarak ağlara ait ağırlıklar güncellenir. Ağ ağırlıklarını güncellemek için aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$\Delta w_i(n+1) = \eta_i \nabla w_i + \rho \nabla w_i(n)$$

w_i ilgili ağırlık, n döngü adımı, η_i öğrenme adımıdır.

Bu modellerin kalibrasyonu, D adet döngüyle yapılmıştır. Döngü sayısı yükseldikçe tahmin başarımı yükselir. YSA'nın yapısı logit andırımlı modellere göre daha karmaşıktır Gizli tabakadaki hesaplama ögesi sayısı $GT_{hö}$ 'a yükseltilmiş ve $YT_{gö}$ hesaplama ögesine sahip yeni bir tabaka eklenmiştir. Son tabakadaki tek hesaplama ögesi, çıktının $[0,1]$ aralığında olması için 'sigmoid' dönüşüm fonksiyonuna sahiptir..

YSA1:

Model biçimi: Logit andırımlı YSA ağı (Şekil 5.3)

Gelir Grubu	: Düşük (D)
Değişkenler	: $\Delta Z, \Delta M$
Gözlem sayısı	: 123
Eniyileme sayısı (S)	: 50
Döngü sayısı (D)	:1500

Model sonuçları:

Kestirimler ve sınamalar			
	w_1 (zaman)	w_2 (maliyet)	w_o (t.ö.s)*
katsayı	-2.7110	-0.6481	0.6636

*türe özgü sabit

Tahmin başarımı:

%Doğru çapraz tahmin tablosu				
	Tahmin		% -doğru	
Gözlenen	0	1		
0	1	53		1.85
1	0	69		100
Genel %-doğru				57

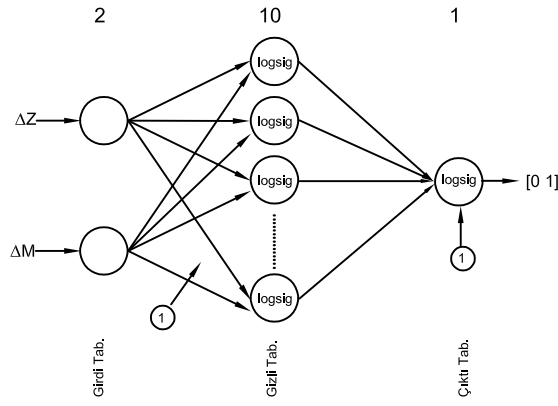
ROC eğrisi; Eğri altında kalan alan= 0.501

Değerlendirme:

Düşük gelir grubundaki L1 ile karşılaştırıldığında tahmin başarımında bir artışın olduğunu söylemek mümkün değildir. Ancak logit andırımlı bir YSA ağı olan bu modelde katsayıların işaretleri anlamlı çıkmaktadır. Mevcut katsayılarla zamanın değeri hesaplanırsa $(w_1/w_2)*60 = 22 \times 10^6$ TL/sa (Bkz. Sf.125) bulunur. Bu rakam zaman değeri için kabul edilebilir bir değer değildir. Modelin tahmin başarımının son derece düşük olduğu göz önüne alındığında, kullanılabilir bir model olmadığı görülmektedir.

YSA2:**Model biçimi:**

Gelir Grubu	: Düşük (D)
Değişkenler	: ΔZ , ΔM
Gözlem sayısı	: 123
Eniyileme sayısı (S)	: 1
Döngü sayısı (D)	: 10,000
$GT_{hö}$	10
$YT_{gö}$	0



Şekil 6.7: YSA2 yapısı

Model sonuçları:

%Doğru çapraz tahmin tablosu			
		Tahmin	% -doğru
Gözlenen	0	1	
0	7	47	13
1	4	65	94
Genel %-doğru			59

ROC eğrisi; Eğri altında kalan alan= 0.623

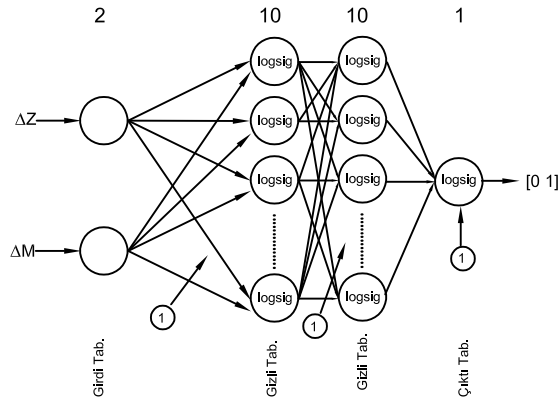
Değerlendirme:

Modelin yapısındaki öğelerin artışı YSA öğrenme gücünü de arttırmaktadır. Modelin başarımları artmış ve toplu taşıma tahmin oranında artış gözlenmiştir.

YSA3:

Model biçimi:

Gelir Grubu	: Düşük (D)
Değişkenler	: ΔZ , ΔM
Gözlem sayısı	: 123
Eniyileme sayısı (S)	: 1
Döngü sayısı (D)	: 10,000
$GT_{hö}$	10
$YT_{gö}$	10



Şekil 6.8: YSA3 yapısı

Model sonuçları:

%Doğru çapraz tahmin tablosu				
		Tahmin		% -doğru
Gözlenen		0	1	
0	40	14		74
1	15	54		78
Genel %-doğru				76

ROC eğrisi; Eğri altında kalan alan= 0.834

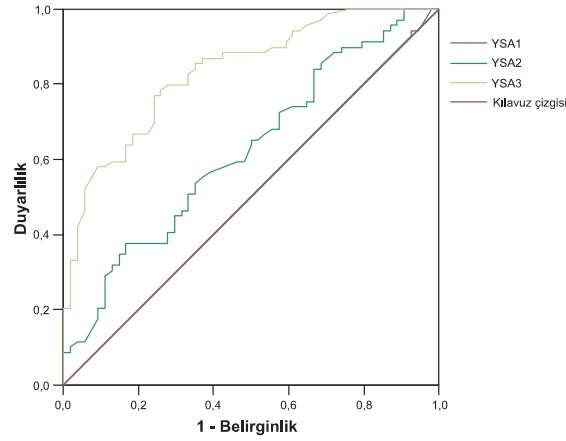
Değerlendirme:

YSA1,YSA2,YSA3 Düşük gelir grubu için yapılan her üç esnek model, geleneksel L1'den daha iyi tahmin sonuçları vermektedir. YSA'ların tabaka sayısı ve sinir sayısı arttırıldıkça tahmin gücü de yükselmektedir. Ancak bunun bazı sakıncaları vardır. Buna sonuç ve öneriler kısmında değinilecektir. Toplu taşıma tahminlerinde, L2 dışında diğer geleneksel modeller L1 ve L3 başarısız olmuşlardır. L2 ise tahmin başarısına rağmen kullandığı değişken sayısına dikkate alındığında başarısız bir modeldir. YSA2 ve YSA3 tahmin başarısı ROC eğrilerinden de (Şekil 6.9)görüldüğü gibi büyük oranda diğer modellere göre yüksektir. Ancak, basit düzeydeki YSA'lar eğer yeterli tahmin başarıma sahiplerse, kalibrasyon süresinin kısa olması, basitlik, uygulama kolaylığı ve bellek özelliklerinden dolayı tercih edilmelidir.

YSA4:

Model biçimi:

Logit andırımlı YSA ağı (Şekil 5.3)



Şekil 6.9: YSA1,YSA2 ve YSA3’e ait ROC eğrileri

Gelir Grubu : Orta (O)
 Değişkenler : ΔZ , ΔM
 Gözlem sayısı : 82
 Eniyileme sayısı (S) : 1
 Döngü sayısı (D) :10,000

YSA1’le aynı yapıda ancak ağırlık katsayıları seçimi için aynı yol izlenmemiştir. Bunun nedeni w_1 ve w_2 ağırlıklarının her ikisinin de işaretin (-) çıktığı bir eniyileme süreci olmamıştır. Bunun yerine çevrim sayısı artırılarak (10,000) ağın en az hatayla elde ettiği katsayılar seçilmiştir.

Model sonuçları:

Kestirimler ve sınamalar			
	w_1 (zaman)	w_2 (maliyet)	w_o (t.ö.s.)*
katsayı	-8.2068	1.666	0.69019

*türe özgü sabit

Tahmin başarımı:

%Doğru çapraz tahmin tablosu				
		Tahmin		% -doğru
Gözlenen	0	1		
0	1	23		4
1	0	58		100
Genel %-doğru				82

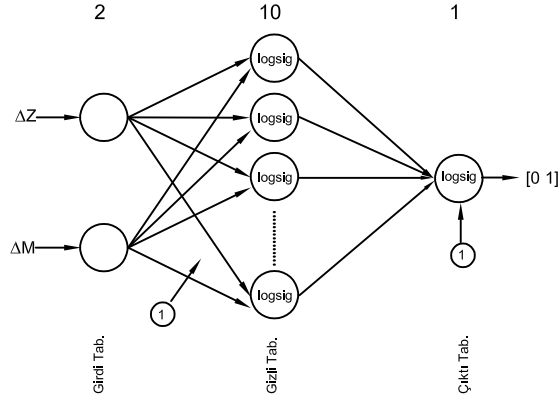
ROC eğrisi; Eğri altında kalan alan= 0.525

Değerlendirme:

Modelin eniyileme sürecinde her iki katsayının işaretinin (-) olduğu bir çözüm yoktur. YSA'nın basit yapısı nedeniyle fazla güçlü bir öğrenme yeteneğine sahip değildir. Bir tahmin modeli olarak kullanılması mümkün gözükmemektedir.

YSA5:

Model biçimi;



Şekil 6.10: YSA5 yapısı

Gelir Grubu	: Orta(O)
Değişkenler	: ΔZ , ΔM
Gözlem sayısı	: 123
Eniyileme sayısı (S)	: 1
Döngü sayısı (D)	: 10,000
$GT_{hö}$	10
$YT_{gö}$	0

Tahmin başarımı:

%Doğru tahmin çapraz tablosu			
	Tahmin		% -doğru
Gözlenen	0	1	
0	6	18	25
1	2	56	96
Genel %-doğru			75

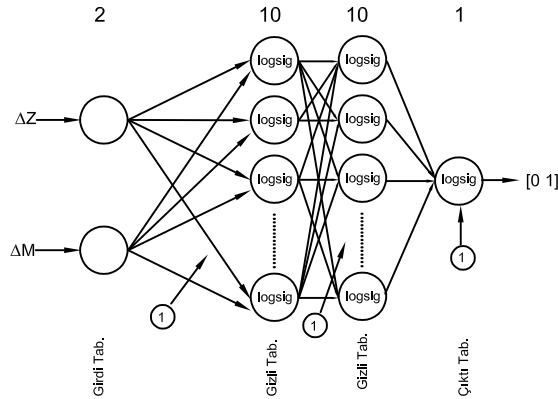
ROC eğrisi; Eğri altında kalan alan= 0.748

Değerlendirme:

Modelin toplu taşıma tahmin başarımı YSA4 'e göre yüksektir. Aynı gelir grubuna logit modeller L3, L4 'e göre daha iyi tahminler yapmıştır. Bir tahmin modeli olarak kullanılabilir.

YSA6:

Model biçimi:



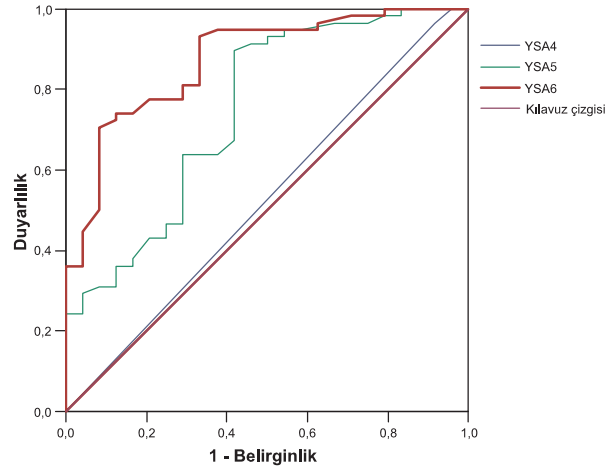
Şekil 6.11: YSA6 yapısı

Gelir Grubu	: Orta (O)
Değişkenler	: ΔZ , ΔM
Gözlem sayısı	: 82
Eniyileme sayısı (S)	: 1
Döngü sayısı (D)	: 10,000
$GT_{hö}$	: 10
$YT_{gö}$	: 10

Tahmin başarımı:

%Doğru çapraz tahmin tablosu			
Gözlenen	Tahmin		% -doğru
	0	1	
0	10	14	42
1	3	55	95
Genel %-doğru			79

ROC eğrisi; Eğri altında kalan alan= 0.873



Şekil 6.12: YSA4,YSA5 ve YSA6'ya ait ROC eğrileri

Değerlendirme:

Orta gelir grubu için yapılan geleneksel modellerin tümünün toplu taşıma tahmin başarıları %0 dır. YSA3 ve YSA5 göreceli olarak logit modellerden daha iyi toplu taşıma tahmin başarımına sahiptir. Diğer yandan YSA nın yapısının karmaşık olması ile tahmin başarımını da artmaktadır. YSA nın yapısal ayrıntısı arttıkça her sinir ve onu bağlayan ağırlıkların ihtiyacı olan veri miktarını da arttırmak gerekmektedir. Bu nedenle düşük veri hacimlerinde ağın daha basit olması gerekir. Geleneksel modele göre elde hiç tahmin modeli olmaması YSA6'yi bir tahmin modeli olarak öne çıkartmaktadır. Ancak gene de yüksek düzeyde YSA lar genelleştirme kaybına uğramakta diğer bir söylemle toplum yerine örneği yansıtmaya eğilimine girmektedirler.

Bu nedenle yüksek düzeydeki YSA lar yerine yeterli tahmin başarısına sahip düşük düzeydeki YSA modellerini seçmek, tarafsız tahmin açısından daha uygundur.

YSA7:

Model biçimi: Logit andrımly YSA ağı (Şekil 5.3)

Gelir Grubu	: Yüksek (Y)
Değişkenler	: ΔZ , ΔM
Gözlem sayısı	: 19
Eniyileme sayısı (S)	: 50
Döngü sayısı (D)	: 100

Model sonuçları:

Kestirimler ve sınamalar			
	w_1 (zaman)	w_2 (maliyet)	w_o (t.ö.sabit)
katsayı	-0.4234	-1.5303	1.9948

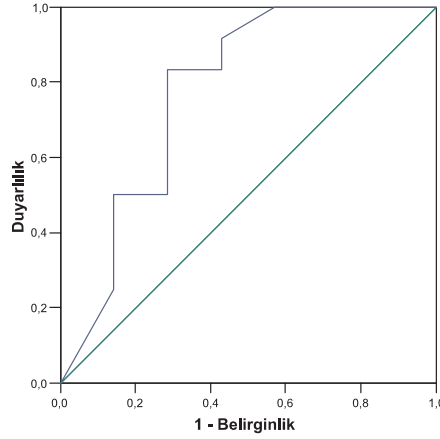
Tahmin başarımı:

%Doğru çapraz tahmin tablosu			
	Tahmin		% -doğru
Gözlenen	0	1	
0	4	3	57
1	2	10	83
Genel %-doğru			74

ROC eğrisi; Eğri altında kalan alan= 0.774

Değerlendirme:

YSA7 yi karşılaştırabileceğimiz geleneksel model L7'dir. L7, sınamaları geçememesine rağmen diğer gelir gruplarındaki modellere göre daha iyi sına ve tahmin değerlerine sahiptir. Toplu taşıma tahmin başarımı YSA modeli ile geleneksel modelde aynı kalmış, YSA modeli özel araç tahminini biraz arttırmıştır. Yüksek gelir grubuna ait gözlem sayısı az olduğundan düzeyi yüksek bir YSA modeli kullanılmasına gerek duyulmamıştır. Bu YSA modeli bir tahmin modeli kullanmak uygun gözükmektedir. Ayrıca katsayılar ait işaretler anlamlı çıkmış ve yüksek gelir grubu için zaman değeri 1,660,066 sa/TL olarak hesaplanmıştır. Bu,L7 'den daha düşük (2,372,324 sa/TL) fakat EAUP yakın (1,686,707 sa/TL) bir zaman değeridir.



Şekil 6.13: YSA7'e ait ROC eğrisi

6.3.3 Esnek Hesaplama Modelleri: Bulanık Mantık Modelleri

Bu kısımdaki modeller sadece Mamdani yapısındaki modelleri içerir. Her grup için iki tip Mamdani modeli geliştirilmiştir. Bunların arasındaki farklar aşağıda verilmiştir.

BM1, BM3, BM5

Bulanık sistemin eniyilenmesi için sadece kurallara ait etkinlik değerleri ile oynanmıştır. Girdilerin üyelik fonksiyonu tabanlarında oynama yapılmamıştır. Temel olarak Mamdani yapısı kullanılmıştır. Enküçük kareler yöntemi kullanılarak, gözlemlere en uygun olan sisteme ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu modellerde kullanılan değişkenler Tablo 6.7 verilmiştir.

Tablo 6.7: BM1, BM3, BM5 modellerine ait değişkenler

Girdi 1	: ΔZ [Çok Küçük (ÇK), Küçük (K), Sıfır (S), Büyük (B), Çok Büyük (ÇB)]
Girdi 2	: ΔM [Çok Küçük (ÇK), Küçük (K), Sıfır (S), Büyük (B), Çok Büyük (ÇB)]
Çıktı	: Seçim [Toplu Taşıma (TT), Kararsız (K), Özel Araç (ÖA)]

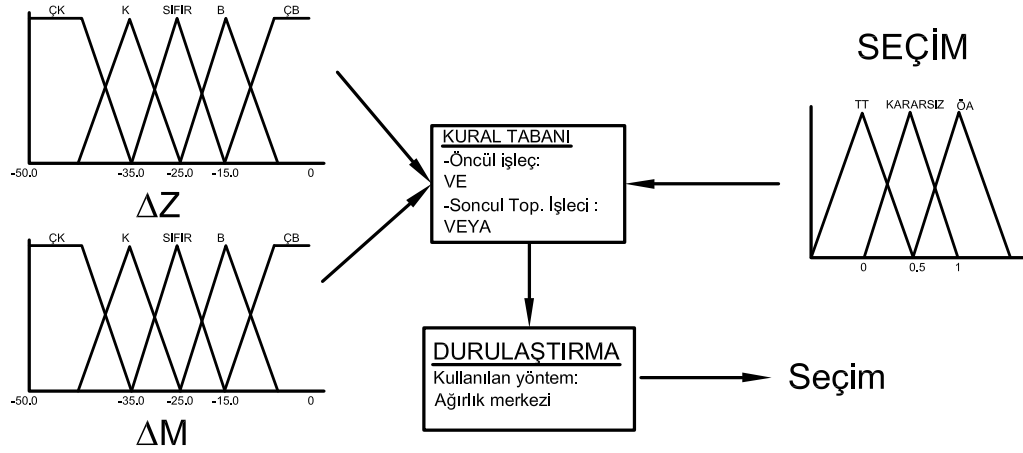
BM2, BM4, BM6

Bulanık sistemin eniyilenmesi için sadece kurallara ait etkinlik değerleri değil, girdilerin üyelik fonksiyonu tabanları da eniyileme sürecine dahil edilmiştir. Enküçük kareler kullanılarak, gözlemlere en uygun olan sisteme ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu modellerde kullanılan değişkenler Tablo 6.8 verilmiştir.

Tablo 6.8: BM2, BM4, BM6 modellerine ait değişkenler	
Girdi 1	: ΔZ [Çok Küçük (ÇK), Küçük (K), Sıfır (S),Büyük (B), Çok Büyük (ÇB)]
Girdi 2	: ΔM [Çok Küçük (ÇK), Küçük (K), Sıfır (S),Büyük (B), Çok Büyük (ÇB)]
Çıktı	:Seçim [Toplu Taşıma (TT), Kararsız (K), Özel Araç (ÖA)]

BM1:

Model biçimi:



Şekil 6.14: BM1'e ait sistemin yapısal biçimi

Gelir Grubu: :Düşük (D)

Gözlem sayısı :123

Tahmin başarımı:

%Doğru çapraz tahmin tablosu				
		Tahmin		% -doğru
Gözlenen		0	1	
	0	10	44	18.52
	1	6	63	91.30
Genel %-doğru				59.35

ROC eğrisi; Eğri altında kalan alan= 0.625

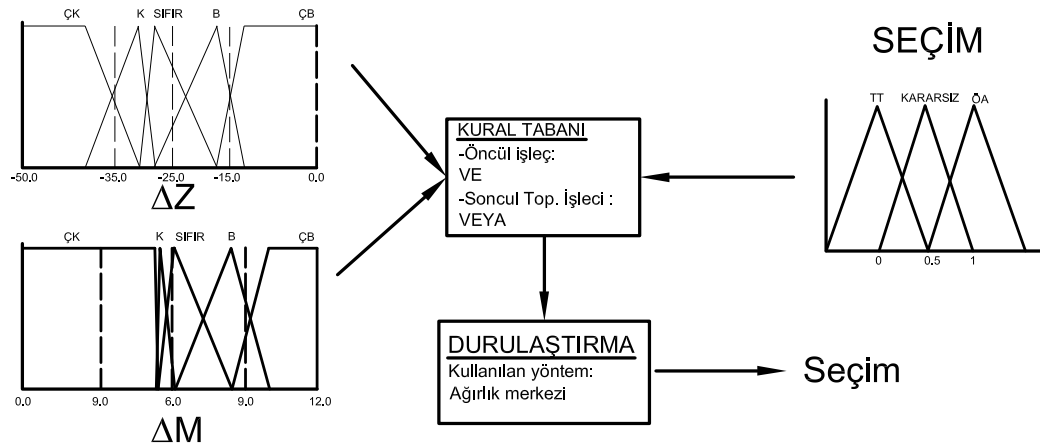
Değerlendirme:

Hem geleneksel modellerden hem de L1 dışındaki diğer YSA modellerinden kötü tahminler yapmıştır. Mamdani yapısı gereği türevi alınabilen bir enerji fonksiyonuna sahip olmadığından eniyileme süreci rastgele yöntemler kullanılarak yapılmaktadır. Buna karşın Mamdani yapısı kolay kurgulanabilir bir yapıdır. Mamdani bulanık sistemlerinin eniyilenmesi için daha etkili algoritmalar üzerinde çalışılmaktaysa da bunların etkinliği henüz sınav aşamasındadır.

Diğer yandan Mamdani yapısında kurallara ait ağırlıklar tıpkı regresyon katsayısı gibi bize bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerindeki etkisini okumamızı sağlar. Tablo G.1'e bakıldığında örneğin hangi kuralların ne derecede gözlem verileri tarafından harekete geçirildiği rahatlıkla gözlemlenebilir. Modele ait kural etkinlikleri Tablo G.1'de verilmiştir.

BM2:

Model biçimi:



Şekil 6.15: BM2'ye ait sistemin yapısal biçimi

Gelir Grubu: :Düşük (D)

Gözlem sayısı :123

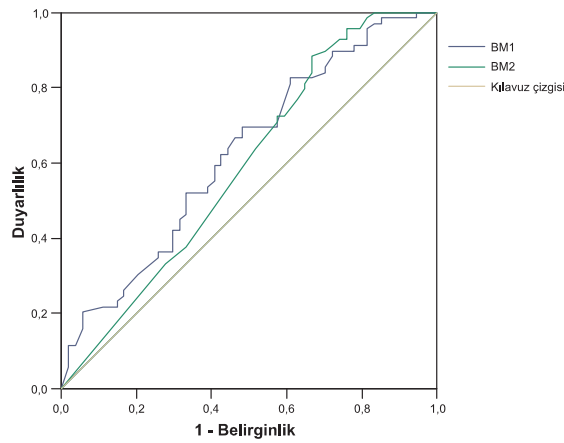
Tahmin başarımı:

%Doğru çapraz tahmin tablosu				
Gözlenen	Tahmin		% -doğru	
	0	1		
0	15	39		27.78
1	6	63		91.30
Genel %-doğru				63.41

ROC eğrisi; Eğri altında kalan alan= 0.591

Değerlendirme:

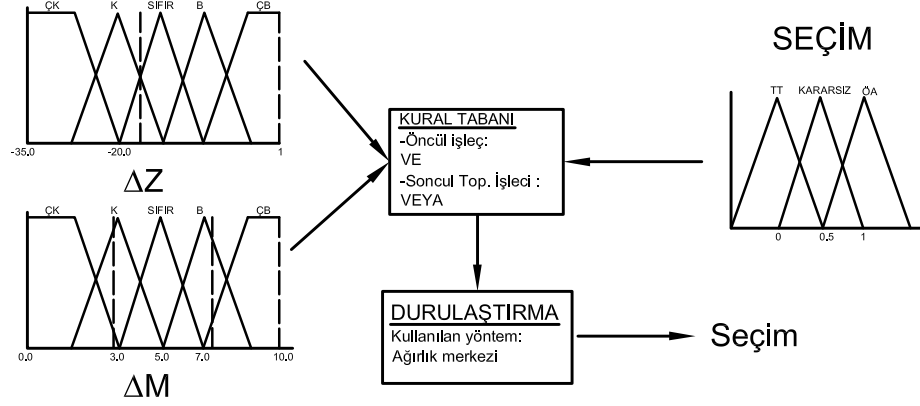
Tabanlarının eniyilenme sürecine dahil edilmesi tahmin başarımını arttırmıştır. Bu durum eniyileme süreci için esneklik kazandırmaktadır. Ayrıca oynanmış kural tabanları sonucunda bulunan üyelik fonksiyonlarının yeni biçimi, bizim önbilgimizle belirlenen değil, örnek içinde kullanıcıların biçimlendirdiği üyelik fonksiyonlarını göstermektedir. Örneğin Şekil 6.15’de eniyilenmiş üyelik fonksiyonlarına göre maliyet için ”çok küçük” tanımlamasının aralığı bizim öngördüğümüzden çok daha geniş olmuştur. Modele ait kural etkinlikleri Tablo G.2’de verilmiştir.



Şekil 6.16: BM1 ve BM2’e ait ROC eğrileri

BM3:

Model biçimi:



Şekil 6.17: BM3 modelinin yapısı

Gelir Grubu: :Orta (O)

Gözlem sayısı :82

Tahmin başarımı:

%Doğru çapraz tahmin tablosu				
		Tahmin		% -doğru
Gözlenen	0	1		
	0	7	17	29.17
	1	4	54	93.10
Genel %-doğru				74.27

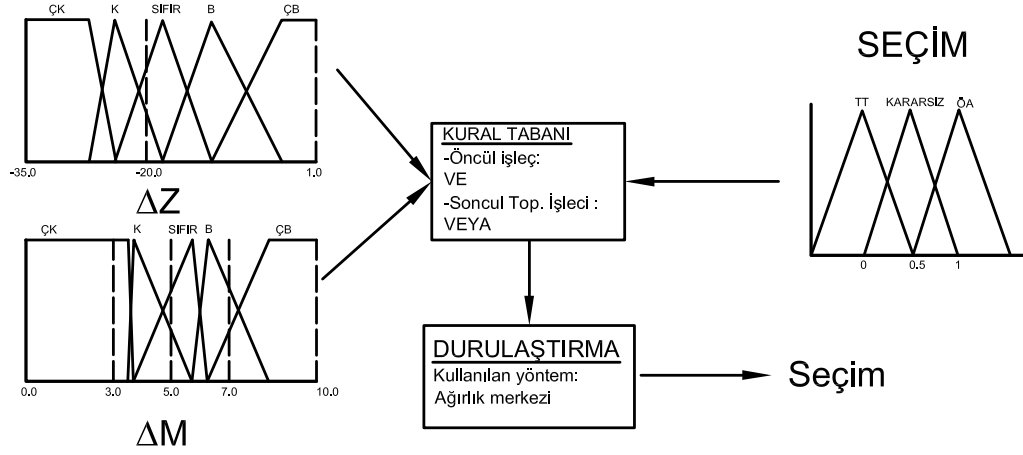
ROC eğrisi; Eğri altında kalan alan= 0.698

Değerlendirme:

Orta gelir grubu geleneksel modellerin toplu taşıma tahmini yapamadıkları tek gruptur. Bu model toplu taşıma tahmin başarısı YSA modellerinden zayıf, logit modellerden daha iyidir.

BM4:

Model biçimi:



Şekil 6.18: BM4 modelinin yapısı

Gelir Grubu: :Orta (O)

Gözlem sayısı :82

Tahmin başarımı:

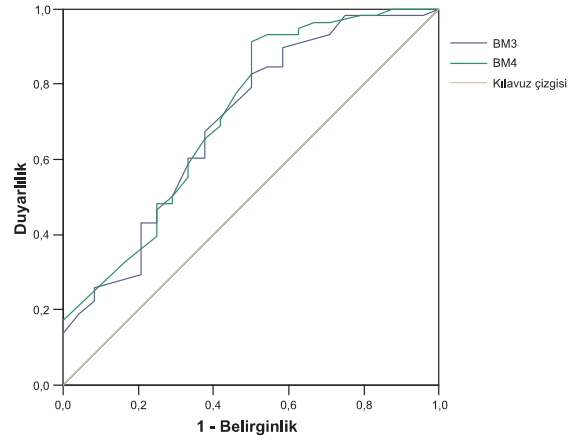
%Doğru çapraz tahmin tablosu

	Tahmin		% -doğru
	0	1	
Gözlenen	0	1	
	11	13	45.83
	4	54	93.10
Genel %-doğru			79.27

ROC eğrisi; Eğri altında kalan alan= 0.717

Değerlendirme:

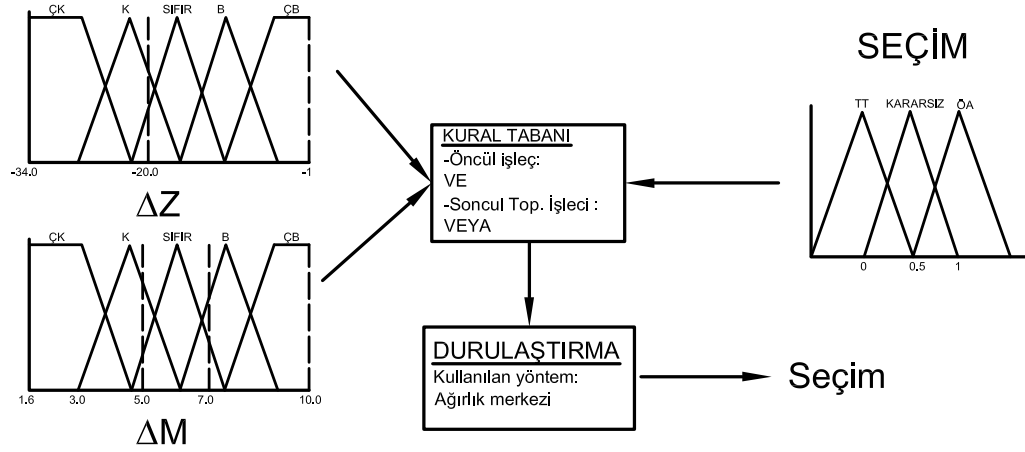
Bağımsız değişkenlere ait üyelik fonksiyonu tabanlarının enyileme sürecine dahil edilmesi toplu taşıma tahmin başarımını dikkat çekici oranda arttırmıştır. Bu modelin en önemli özelliği, özel araç tahmin başarımının da bir düşüş olmadan toplu taşıma tahmin başarımını arttırmasıdır. Bu modelin genel doğru başarımını da arttırmaktadır.



Şekil 6.19: BM3 ve BM4 'e ait ROC eğrileri

BM5:

Model biçimi:



Şekil 6.20: BM5 modelinin yapısı

Gelir Grubu: :Yüksek (Y)

Gözlem sayısı :18

Tahmin başarımı:

%Doğru çapraz tahmin tablosu				
	Tahmin		% -doğru	
Gözlenen	0	1		
0	3	4	42.86	
1	0	12	100.0	
Genel %-doğru			78.95	

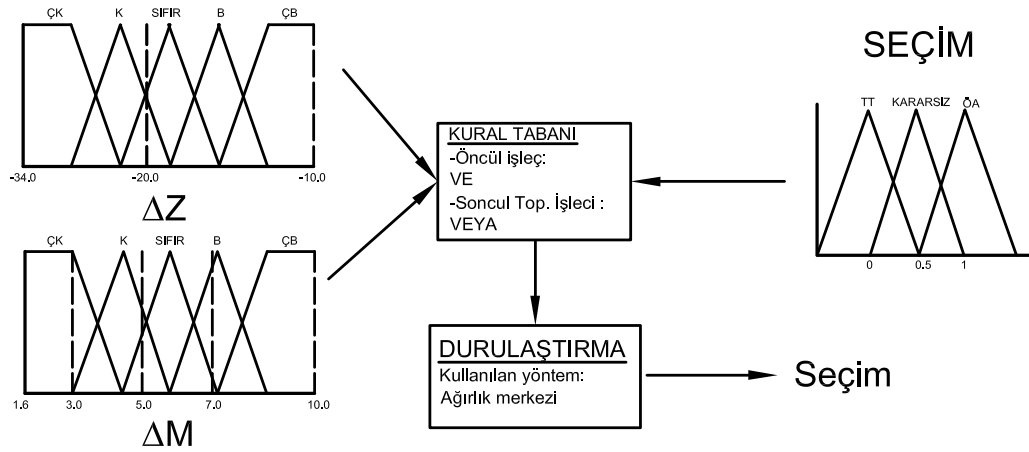
ROC eğrisi; Eğri altında kalan alan= 0.887

Değerlendirme:

Genelde tüm modellerin yüksek tahmin başarımına sahip olduğu bu grupta BM5 düşük başarımlar göstermiştir. Bu modele ait kuralların etkinlikleri Tablo G.5 'de verilmiştir.

BM6:

Model biçimi:



Şekil 6.21: BM6 modelinin yapısı

Gelir Grubu: :Yüksek (Y)

Gözlem sayısı :18

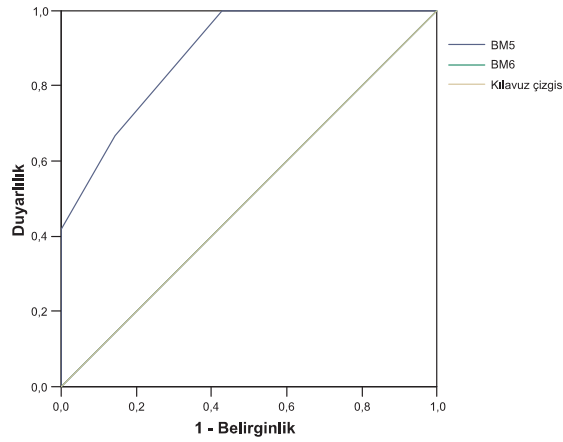
Tahmin başarımı:

%Doğru çapraz tahmin tablosu			
Gözlenen	Tahmin		% -doğru
	0	1	
0	7	0	100
1	12	0	0
Genel %-doğru			36.84

ROC eğrisi; Eğri altında kalan alan= 0.5

Değerlendirme:

Üyelik tabanlarına rağmen model başarımı düşük kalmıştır. Düşük örnek hacimleri için Mamdani yapısındaki bulanık sistemlerde üyelik fonksiyonu tabanlarının öğrenme sürecine katılması modelin tahmin başarımını düşürmüştür. Bu modele ait kuralların etkinlikleri Tablo G.6 'de verilmiştir.



Şekil 6.22: BM5 ve BM6'ya ait ROC eğrileri

6.3.4 Esnek Hesaplama Modelleri: Sinir-Bulanık Modeller

Bu bölümdeki modeller, Sugeno yapısındadır. Mamdani'in aksine bu modellerin çıktıları bulanık küme değil, doğrusal fonksiyon veya sabittir. Sugeno yapısındaki modeller, öğrenme açısından Mamdani yapısındaki modellere göre üstünlük taşırlar. YSA ve bulanık mantık birleştirilerek oluşturulan sinir-bulanık sistemlerle üç gelir grubu için toplam 6 model oluşturulmuştur.

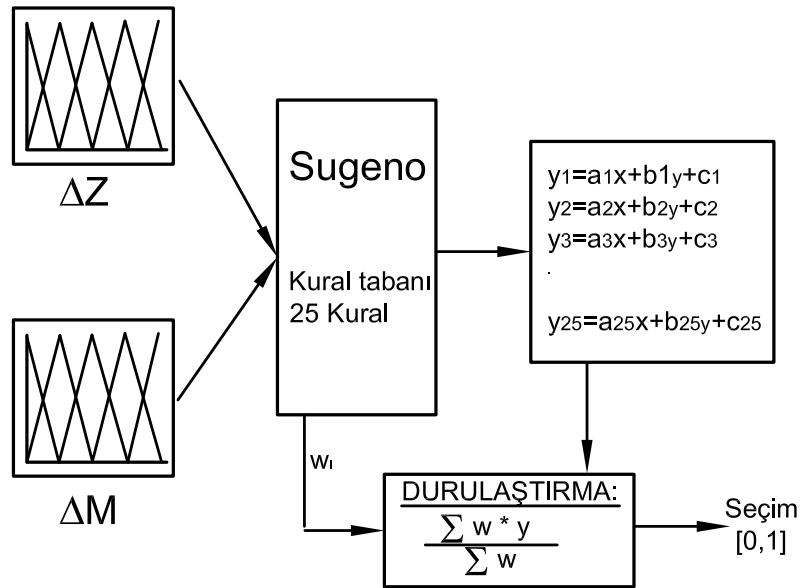
SB1, SB3, SB5

Bu modellerde çıktı doğrusal bir fonksiyon seçilmiştir. Her üç model için kullanılan değişkenler Tablo 6.9 'de verilmiştir.

Tablo 6.9: SB1, SB3, SB5 modellerine ait değişkenler

Girdi 1	: ΔZ [Çok Küçük (ÇK), Küçük (K), Sıfır (S),Büyük (B), Çok Büyük (ÇB)]
Girdi 2	: ΔM [Çok Küçük (ÇK), Küçük (K), Sıfır (S),Büyük (B), Çok Büyük (ÇB)]
Çıktı	:Seçim [Toplu Taşıma (TT), Kararsız (K), Özel Araç (ÖA)]

Bu modeller için kullanılan yapı, Şekil 6.23'de görülmektedir.



Şekil 6.23: SB1,SB3,SB5 modellerinin yapısı

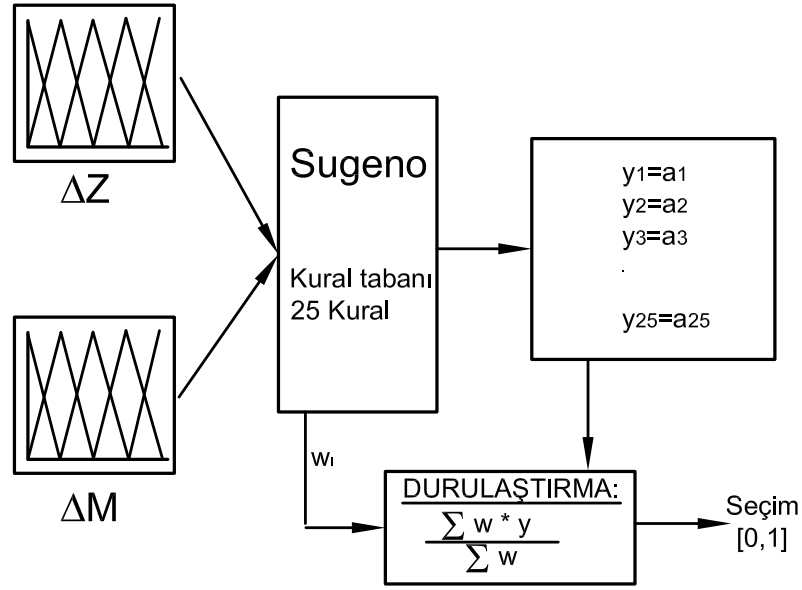
SB2,SB4, SB6

Bu modellerde çıktı sabit seçilmiştir. Her üç model için kullanılan değişkenler SB1, SB3, SB5 'te kullanılanlarla aynıdır (Tablo 6.9) Bu modeller için kullanılan yapı, Şekil 6.24'de görülmektedir.

SB1:

Gelir Grubu: :Düşük (D)

Gözlem sayısı :123



Şekil 6.24: SB2,SB4,SB6 modellerinin yapısı

Tahmin başarımı:

%Doğru çapraz tahmin tablosu				
	Tahmin		% -doğru	
Gözlenen	0	1		
0	32	22		59.26
1	8	61		88.41
Genel %-doğru				75.61

ROC eğrisi; Eğri altında kalan alan= 0.849

Değerlendirme:

Düşük gelir grubu içinde en iyi genel doğru tahmin oranına sahip modeldir. Hem yüksek toplu taşıma tahmini hem de özel araç tahminini yüksek başarımla yapmıştır. Mamdani yapısının tersine, Sugeno yapısı türevi alınabilen bir sürece sahip olduğundan dolayı hızlı bir şekilde eniyilenir. Bu modeller YSA lar ve bulanık mantığın birleştiği melez modellerdir. YSA ların öğrenme gücü ile bulanık mantığın gücünün birleştiği bu modeller oldukça tatmin edici sonuçlar vermişlerdir. Bu yapıdaki modellerde, kural etkinlikleri ve üyelik fonksiyonları tabanları, eniyileme süreçlerine dahil edilmezler. SB1'e ait üyelik kümelerinin ayrıntıları ve eniyilenmiş doğrusal fonksiyonun katsayıları Tablo G.8 'de verilmiştir.

SB2:

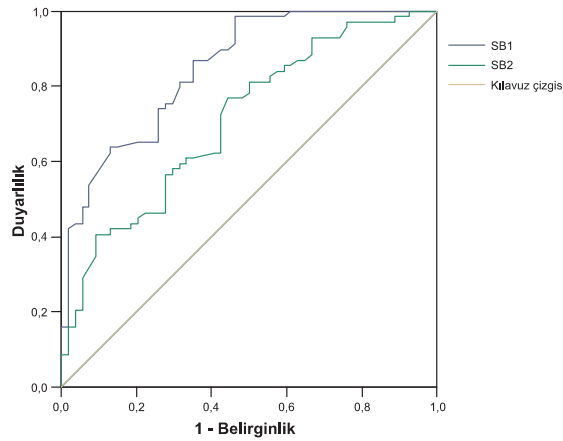
Gelir Grubu: :Düşük (D)

Gözlem sayısı :123

Tahmin başarımı:

%Doğru çapraz tahmin tablosu			
Gözlenen	Tahmin		% -doğru
	0	1	
0	23	31	42.59
1	11	58	84.06
Genel %-doğru			65.85

ROC eğrisi; Eğri altında kalan alan= 0.709

**Şekil 6.25:** SB1 ve SB2'ya ait ROC eğrileri**Değerlendirme:**

Çıktı kümesinin doğrusal bir fonksiyon yerine sabit seçilmesi tahmin başarımında düşmeye neden olmuştur. Bunun nedeni sabitin bağımlı değişkenlerle bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi açıklamakta yetersiz kalmasıdır. Yine de çok basit ve hızlı olmasına karşın, gösterdiği başarımla cazip kalmaktadır. Modele ait üyelik fonksiyonları ve eniyilenmiş katsayılar Tablo G.9'de verilmiştir.

SB3:

Gelir Grubu: :Orta (O)

Gözlem sayısı :82

Tahmin başarımı:

%Doğru çapraz tahmin tablosu				
Gözlenen	Tahmin		% -doğru	
	0	1		
0	15	9		62.50
1	4	54		93.10
Genel %-doğru				84.15

ROC eğrisi; Eğri altında kalan alan= 0.899

Değerlendirme:

En sorunlu grup olan orta gelir grubundaki tahmin başarımı en iyi modeldir. Özel araç ve toplu taşıma başarımı oldukça yüksek olan bu model sorunlu orta gelir grubu için en iyi modeldir. Ayrıca Sugeno modelinin göreceli olarak daha basit yapıda olması SB3'ü iyi bir tahmin modeli yapmaktadır. Modele ait üyelik fonksiyonları ve eniyilenmiş doğrusal fonksiyonun katsayıları Tablo G.10 'da verilmiştir.

SB4:

Gelir Grubu: :Orta (O)

Gözlem sayısı :82

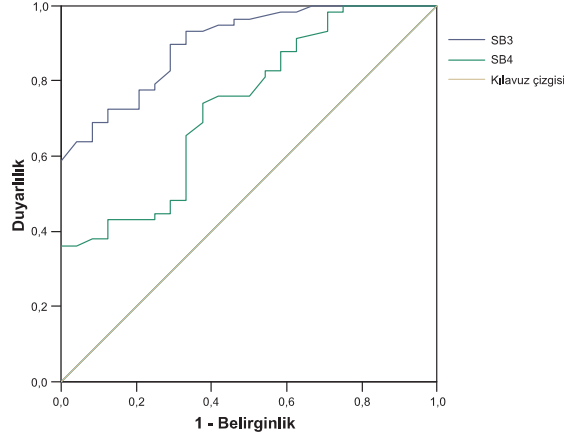
Tahmin başarımı:

%Doğru çapraz tahmin tablosu				
Gözlenen	Tahmin		% -doğru	
	0	1		
0	7	17		29.17
1	1	57		98.28
Genel %-doğru				78.05

ROC eğrisi; Eğri altında kalan alan= 0.733

Değerlendirme:

Çıktı değişkenin sabit bir sayı seçilmesinin FNMODEL2’de gösterdiği etki bu modelde de görülmektedir. Genel olarak geleneksel modellerden iyidir, ancak esnek modeller içinde düşük bir tahmin başarımına sahiptir. Modele ait üyelik fonksiyonları ve eniyilenmiş katsayılar Tablo G.11’de verilmiştir.



Şekil 6.26: SB3 ve SB4’e ait ROC eğrileri

SB5:

Gelir Grubu: :Yüksek (Y)

Gözlem sayısı :18

Tahmin başarımı:

%Doğru çapraz tahmin tablosu				
		Tahmin		% -doğru
Gözlenen	0	1		
	0	5	2	71.43
1	0	12		100.0
Genel %-doğru				89.47

ROC eğrisi; Eğri altında kalan alan= 0.964

Değerlendirme:

Bu gelir grubu eniyi tahmin başarıma sahip modeldir. Şu ana kadar esnek modeller içinde Sugeno (doğrusal) biçimindeki modeller iyi tahmin başarımları göstermişlerdir. Hem toplu taşıma hem de özel araç tahminleri ve bunu doğal sonucu iyi bir genel tahmin başarımına sahiptir. ROC eğrisi hem şekil hem de alan olarak en uygun şekilde oluşmuştur. Modele ait üyelik fonksiyonları ve eniyilenmiş doğrusal fonksiyonun katsayıları Tablo G.12 'da verilmiştir.

SB6:

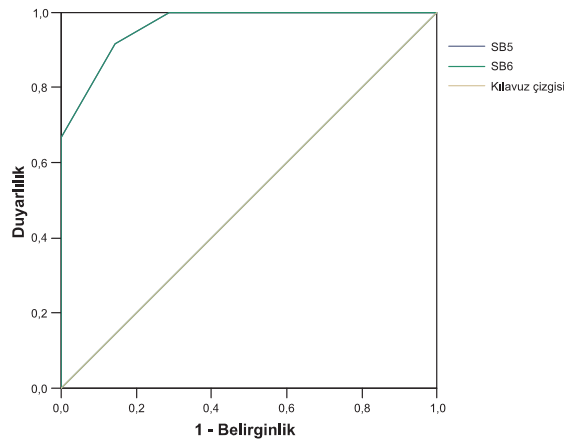
Gelir Grubu: :Yüksek (Y)

Gözlem sayısı :18

Tahmin başarımı:

%Doğru çapraz tahmin tablosu			
		Tahmin	% -doğru
Gözlenen	0	1	
0	6	1	85.71
1	1	11	91.67
Genel %-doğru			89.47

ROC eğrisi; Eğri altında kalan alan= 0.964



Şekil 6.27: SB5 ve SB6'ya ait ROC eğrileri

Değerlendirme:

Genel tahmin başarımını SB5'le aynı olmasına karşın, toplu taşıma başarımı biraz yüksektir. Ancak özel araç tahmin başarımı da aynı oranda düşmüştür. Yüksek gelir grubunda tüm modellerin tahminleri, diğer gelir gruplarına göre başarılıdır. Ancak basit yapısı ve uygulama kolaylığına karşın bu modelin aldığı sonuçlar oldukça tatmin edici gözükmemektedir.

6.3.5 Genel Değerlendirme

Tablo 6.10'de tüm modellere ait ortak başarımlar ölçütleri verilmiştir. Tablodan incelendiğinde, en kötü başarımlar değerlerini logit model aldığı görülebilir. Temel olarak esnek hesaplama yöntemlerinin tahmin modelleri olarak kullanılabileceği görülmektedir. Örneğin kalitesi tüm modelleri doğrudan etkilememektedir. Diğer yandan her modelin kendine göre uygulama gücü vardır. Esnek hesaplama modellerinin belirlenmiş bir biçimi olmadığı için sayısız bileşkede (kombinasyonda) model geliştirmek mümkündür. En iyi modelin nasıl olacağına karar vermek için genetik algoritmalar kullanılsa da, emek yoğun bir yöntem olması bu tür yöntemlerin uygulanmasını güçleştirir. Buna karşın, genel olarak kabul görmüş esnek biçimler kullanarak tahmin başarımları yüksek modeller yapmak mümkündür.

En uygun modelin seçiminde hangi ölçütün kullanılması gerektiği konusunda Tablo 6.10 'ye göre karar verecek olursak; geleneksel R^2 ölçütünün tüm modeller için yeterli olabileceği ve tüm diğer ölçütler gibi değeri en yüksek R^2 değerinin diğer ölçütlerle aynı modeli işaret ettiğini görülmüştür. Her üç gelir grubuna ait tüm modellerin daha önce tanımlanan başarımlar ölçütlerine göre karşılaştırmaları Şekil G.2, G.3, G.4 lerde gösterilmiştir.

BM lerin eniyilenmesi sonucunda kestirilmiş kural ağırlıkları Tablo G.1, G.2 ,G.3, G.4, G.5, G.6 'de gösterilmiştir. Bu listeden örnek içinde hangi olayların gözlemlendiği veya gözlenemediği ve gözlem sıklığını görülebilir. Bu durum, bulanık mantık modellerini şeffaf modeller yapar. Bu değişkenlerin karar üzerinde ne derecede etkin olduğunun gözlenebilmesi anlamına gelir.

6.3.6 Eşik Değerinin Tahmin Başarısına Etkisi

Tüm modeller tahminlerini $[0,1]$ arasındaki aralıkta verdiklerinden bunların tahminlere çevrilmesi için bir eşik değerine ihtiyaç vardır. Genel eğilim eşik değerinin 0.5 seçilerek bundan büyük ya da eşit olanların 1 'e, küçük olanların ise 0 'ra yuvarlanarak tahminlerin oluşturulmasıdır.

"Eşik değerinin farklı seçilmesi tahmin başarımını ne derece etkiler ya da tahmin

başarımını en büyüleyecek 0.5'den farklı bir eşik değeri var mıdır?" sorusunu yanıtlamak için tüm tahmin modellerinin farklı eşik değerlerindeki başarımlar ölçümleri araştırılmıştır.

Düşük gelir grubuna ait modellerde, eşik değerinin 0.45 olarak alınması tahmin modellerin başarımlar ölçümlerinin değerlerini artırırken, eşik değerini farklı seçmenin tahmin başarımları düşük modeller üzerinde olumlu bir etkisi gözlenmemiştir (Şekil G.5). Orta gelir grubun da, SB3'ün Kappa ölçütü 0.62 civarında artsa da bunun doğru tahmini üzerinde fazla bir etkisi olmamıştır (Şekil G.6). Yüksek gelir grubu için en yüksek tahmin 0.5 eşik değerinde olmuştur. (Şekil G.7)

Tablo 6.10: Tüm modellere ait genel başarımlar tablosu (Eşik değeri=0.5)

Model	GG	GS	R^2	DR^2	Duyarlılık	Belirginlik	Doğru Oran (%)	Hata Oranı (%)	DTO(%ÖA)	DTO(%TT)	Kappa(κ)
L1	D	123	0.01365	0.00550	0.573	0.538	56.91	43.09	91.3	13.0	0.047
L2	D	123	0.06843	0.06073	0.663	0.650	65.85	34.15	79.7	48.1	0.287
YSA1	D	123	-0.72697	-0.74124	0.566	1.000	56.91	43.09	100.0	1.9	0.021
YSA2	D	123	0.07254	0.06487	0.580	0.636	58.54	41.46	94.2	13.0	0.078
YSA3	D	123	0.33300	0.32749	0.794	0.727	76.42	23.58	78.3	74.1	0.522
BM1	D	123	-0.21125	-0.22126	0.589	0.625	59.35	40.65	91.3	18.5	0.106
BM2	D	123	-0.26098	-0.27140	0.618	0.714	63.41	36.59	91.3	27.8	0.204
SB1	D	123	0.37062	0.36541	0.735	0.800	75.61	24.39	88.4	59.3	0.490
SB2	D	123	0.14250	0.13542	0.652	0.676	65.85	34.15	84.1	42.6	0.278
L3	O	82	0.00396	-0.00849	0.707	0.000	70.73	29.27	100.0	0.0	0.000
L4	O	82	0.03667	0.02463	0.707	0.000	70.73	29.27	100.0	0.0	0.000
YSA4	O	82	-0.33527	-0.35197	0.716	1.000	71.95	28.05	100.0	4.2	0.058
YSA5	O	82	0.22130	0.21157	0.757	0.750	75.61	24.39	96.6	25.0	0.268
YSA6	O	82	0.34481	0.33662	0.797	0.769	79.27	20.73	94.8	41.7	0.422
BM3	O	82	0.01661	0.00432	0.761	0.636	74.39	25.61	93.1	29.2	0.265
BM4	O	82	0.03317	0.02109	0.806	0.733	79.27	20.73	93.1	45.8	0.437
SB3	O	82	0.46249	0.45577	0.857	0.789	84.15	15.85	93.1	62.5	0.592
SB4	O	82	0.18302	0.17281	0.770	0.875	78.05	21.95	98.3	29.2	0.341
L5	Y	18	0.20001	0.15296	0.833	0.714	78.95	21.05	83.3	71.4	0.548
YSA7	Y	18	0.16617	0.11712	0.769	0.667	73.68	26.32	83.3	57.1	0.417
BM5	Y	18	0.40593	0.37098	0.750	1.000	78.95	21.05	100.0	42.9	0.486
BM6	Y	18	-0.07446	-0.13766		0.368	36.84	63.16	0.0	100.0	0.000
SB5	Y	18	0.71726	0.70063	0.857	1.000	89.47	10.53	100.0	71.4	0.759
SB6	Y	18	0.68135	0.66261	0.917	0.857	89.47	10.53	91.7	85.7	0.774

GG:Gelir grubu, GS: Gözlem sayısı

DTO(%ÖA) : Özel araç doğru tahmin oranı

DTO(%TT) : Toplu taşıma doğru tahmin oranı

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında; Eskişehir Ulaştırma Ana Planı çerçevesinde toplanmış verilerle, esnek hesaplama yöntemleri ve logit model kullanarak, tür seçimi modelleri geliştirilmiştir. Çalışmanın amacı doğrultusunda, geleneksel ulaşırma türü seçim modeli olan logit modellerin başarımları, aynı gözlemlerle yapılan esnek modellerin başarımlarıyla karşılaştırılmış, geliştirilen esnek tür seçimi modelleri arasından başarımlı en yüksek olan model yapıları belirlenmiştir.

Bu çalışmada, üç gelir grubu için 5 'i logit, 16'sı esnek hesaplama yöntemleriyle yapılan toplam 21 adet tür seçim modeli geliştirilmiştir. Modellerin başarımlı ve elde edilen sonuçlarının değerlendirilmesi iki ana bölüm altında incelenmiştir. İlk bölüm başarımların kullanılan veriler (örnek) açısından değerlendirildiği bölümdür. Diğer bölümde modellerden elde edilen sonuçlar incelenmiştir.

7.1 Örnek Yapısı

EUAP verileriyle yapılan türel ayırım çalışmasında, kullanılan örneklerin bireysel tür seçimi olan logit modelle düşük ve orta gelir grubu için tatmin edici sonuçlar alınamamıştır. Logit model temel olarak genelleştirilmiş doğrusal regresyonun bir çeşidi, diğer yandan da McFadden'in ekonomik varsayımlar ve diğer yöntemleri birleştirilerek geliştirdiği bir model olarak görülür. Başka bir açıdan, logit model genel ekonomik seçim modelinin (GADM)¹ özel bir halidir. Ancak nasıl bakılırsa bakılsın ulaşırma türü seçim modeli istatistik bir modeldir ve varsayımlarıyla beraber gelir. Bu varsayımlar kolay uygulanabilir ve sınanabilir modeller sunarken, örneklerin kalitesindeki sınırlayıcı etki nedeniyle istenen sonuçlara ulaşmak güçleşir. Modellerde kullandığımız gözlemlerin rastgele olması, istatistik örnek modellerin kalitesini doğrudan etkiler.

Örnekleme rastgele yapıldığını anlamak için tüm EUAP içindeki yaş değişkeninin normal dağılıma uyup uymadığına bakılmıştır. Bir topluma ait yaş dağılımı normal dağılıma uyar ve toplumdan alınan '*rastgele*' örneklerin de normal dağılıma uyması beklenir. Örneğin normal dağılıma uymaması, örneğin rastgele toplanmadığı, bir başka söylemle toplumu temsil etmediği ve taraflı olduğu anlamına gelir. Bu

¹Genelleştirilmiş Aşırı Değer Modelleri

düşünceden hareketle, kullandığımız örneğin rastgele toplanıp toplanmadığı belirlemek için yaş değişkenine normal dağılım sınaması yapılmıştır. Şekil G.1’de yaş için normal dağılım çizimi görülmektedir. Şekilden özellikle 10 yaş altı 75 yaş üstündeki yaş gruplarının normal dağılımdan saptıkları görülebilir. Ancak bu iki grup arasındaki yaş dağılımı tam olarak normal dağılıma uymaktadır. Zaten çözümleme bu yaş gruplarının hareketliliği üzerinde odaklanmıştır. Örnek, rastgele toplanmış ve toplumu yansıtmaktadır. Diğer yandan her gelir grubundaki örneklerin aynı toplumdan gelip gelmediği sınındığın da, öznel ölçütlere göre (Bkz. Sf. 124 Tablo 6.1) yapılmış olan gelir gruplamasının, üç gelir grubunu rastgele gruplara ayıramadığı Kolmogorov-Smirnov sınaması ile görülmüştür.

Ancak logit modellere ait başarısızlığın tamamını bu şekilde açıklamak zordur. İstatistik çözümleme tümevarım yöntemi olduğundan bir ön bilgi ile yapılır. Logit modelde yolcu davranışının Şekil 3.5’deki gibi bir S eğrisine uymasını beklediğimiz bir çözümlemede yolcu seçimi bunun dışında bir biçimde oluşuyorsa kestirimin başarısızlığı da kaçınılmaz olur. Logit eğrisine göre, göreceli yarardaki azalmayla tercihler yavaşça diğer seçeneğe kaymaktadır. Ancak gözlemler rastgele olsa bile, ön bilgimizle önceden belirlenen model biçimi,² ele alınan olayı açıklamakta yetersizse, model ve kestirilen parametreler sınamaları geçemeyecektir.

Kullanıcı davranışındaki değişkenlik bölgeye ait özelliklere göre farklılıklar gösterebilir ve bu yüzden davranışın nasıl gerçekleşeceğini önceden kestirmek imkansızdır. Örneğin, eğimi fazla bir bölgede mesafe ne kadar kısa, motorlu ulaşım ne kadar pahalı olursa olsun kullanıcılar bisikleti tercih etmeyeceklerdir. Eğer gözlemi yapan uzman bu durumu bilmiyorsa örnekten şüphelenecektir. Diğer yandan uzman bunu biliyorsa ve model hala başarısız ise, kullanıcıların davranışlarını etkileyen fakat gözlenemeyen etken ya da etkenlerin varlığı söz konusudur. Ölçmedeki hata, hata terimiyle karşılanamayacak kadar seçim üzerinde etkili olur. Bu durum geleneksel ve diğer yöntemlerin başarımını etkiler. Özellikle orta gelir grubunda bu durum gözlenmiştir. Tüm modellerin başarımının bu grup için düşük olması örnekten kaynaklanan eksikliği işaret etmektedir.

Örnekleme için vardığımız sonuçlar listelenecek olursa;

1. Çözümlemede kullanılan gelir grupları örnekleri geldiği toplumu tam olarak temsil etmekten uzaktırlar.
2. Örneğin büyüklüğü kadar, temsil ettiği grubun içindeki seçimleri temsil etme oranı da önemlidir. Yüksek gelir grubu çok daha az örnek hacmine sahip olmasına rağmen daha iyi model sonuçları verebilmektedir. Ancak gelir

²Doğrusal ya da doğrusal olmayan matematiksel biçim

gruplarının öznel ölçütlere göre belirlenmesi nedeniyle, gelir gruplarının gerçekten doğru olarak belirlendiğini söylemek zordur.

3. Gelir gruplarındaki başarısız tahmin modellerinin ne düzeyde örnekten kaynaklandığının kestirilmesi zordur. 2’de verilen yargı tam anlamıyla geçerli olmayabilir. Çünkü grublamanın tam olarak yapılmış olması ancak orta gelir grubunun davranışını büyük oranda etkileyen bir değişkenin modele dahil edilmemesinden de kaynaklanmış olabilir.

7.2 Modeller

Rastgele yarar modelleri yukarıda 3 numaralı sonuçta bahsedilen gözlenemeyen veya ölçülemeyen değişkenleri çözümlemeye katmak için yaratılmış modellerdir. Buna rağmen bu modellerin başarısızlığının nedeni, belirsizliğin bir hata katsayısıyla ele alındığı rastgele yarar modellerinde bu hata katsayısı dağılımının gene bir ön bilgi yani bir varsayımla çözümlemeye katılmasıdır. Bu, kullanıcıların davranışlarındaki farkların belirli bir dağılıma (Sf. 40 ve 41) uyduğu varsayımdır. Gerçekle kabul arasındaki uyumsuzluk modeli başarısız yapar. Ek olarak göz önüne alınan hata sapmayı telafi etmeye yetmez ise model de başarısız olur.

Uygulamada kullandığımız logit model yüksek gelir grubu haricindeki diğer gelir gruplarında başarısız tahminler yapmıştır.

En başarılı modeller tüm gruplarda sinir-bulanık (SB) modeller olarak göze çarpmaktadır. Bu modeller YSA ve bulanık mantığın melezlendiği modellerdir. Bulanık örgün sistemlerin en büyük eksiği öğrenme (kalibrasyon) eksikliğidir. Bu YSA’ların örgüne gömülmesiyle aşılmış ve ortaya güçlü bir esnek modelleme aracı çıkmıştır. Esnek hesaplama yöntemleri, istatistik yöntemler gibi bir önbilgiye ihtiyaç duymadığından örgüne sokulan girdi ve çıktı arasındaki ilişkiyi araştırır ve örnekteki dokuya uygun bir model ortaya çıkartır. Bu örneğin rastgele toplanmasından etkilenmeyen bir özelliktir. Esnek hesaplama yöntemlerini istatistik yöntemlerden ayıran en önemli özellik bu önbilgilerin varlığından kaynaklanır. Ancak model kuran uzmanın dikkat etmesi gereken şey, önbilgi kavramının sağladığı esnekliği gerektiği kadar kullanmaktır. Özellikle rastgele olmayan örnekle yapılan esnek bir modelin verdiği sonuçlar, örnekle uyuşabilse de bu modelin toplumu yansıttığı anlamına gelmez. Diğer dikkat edilmesi gereken durum ise özellikle YSA’ların sahip olduğu öğrenme gücünün yüksekliğidir. YSA modellerinin ağ yapısının karmaşıklığına karşın tahmin başarımında artış görülmektedir. Örnek hacmi düşükse çok karmaşık bir YSA yapısının seçilmesi, örneğin geldiği toplumu değil sadece örneği yansıtmasına neden olur. Bu durum bellek etkisi olarak anılır. Bu nedenle modelin örneğin dışındaki verileri de tahmin edebilme yeteneği olmalıdır. YSA modelleri tüm gelir grupları

içinde eniyi olmasa bile, logit modellerden çok daha iyi tahmin başarımları göstermiştir (Bkz. Tablo 6.10). YSA'ların, etkisi zayıf olan ancak tekrarlanabilir değişkenlerde başarılı olduğu Beck ve diğ. [91] tarafından belirtilmiştir. Bizim uygulamamızda maliyet ve zamanın etkisinin logit modellerde seçime etkisinin zayıf çıkmasına karşın bu değişkenlerle yaptığımız YSA modellerinin tahmin başarımlarının yüksek çıkması bu görüşü desteklemektedir.

Diğer esnek yöntemler içinde özellikle BM'lerin tahmin başarımları diğer esnek yöntemlere göre düşüktür. Ancak Mamdani yapısındaki bu modeller uzman sistemler için daha uygundur ve kendine göre artıları vardır. Kuralların, yukarıda bahsedilen örnekle ilgili özelliklere dayanarak değiştirilmesi ve sonuca etki edilmesi kolaydır. Bu şekilde örnekteki uyumsuz ve tutarsız bilgilerin göz ardı edilmesi mümkün olacaktır. Bu durum örnekle ilgili tahmin başarımlarını yükseltmese de daha tutarlı bir model elde etmemizi sağlar.

Tablo 6.10'a bakıldığında logit modellerin yüksek gelir grubu hariç, bir tahmin modeli olarak kullanılması mümkün gözükmemektedir. Buna karşın logit andırımlı YSA modelleri de (YSA1,4,7) logit modellere benzer olarak ilgili gelir gruplarında yüksek başarımlı tahminler yapmamışlardır. Logit andırımlı YSA modellerinin en büyük avantajı bir logit modeldeki katsayılar gibi ağırlıkların kullanılabilmesidir. Bunu doğrulamak için [51] da, Finney verileri ile logit model ve logit andırımlı YSA modelinin katsayılarını karşılaştırmış ve bu uyum gösterilmiştir (Sf:105, Tablo 5.2) Bu şekilde YSA'ları kapalı kutu modeller değil istatistik modeller olarak görmek mümkündür. Ancak logit andırımlı YSA modellerinin en az logit model kadar örnek kalitesine bağlı olduğu sonuçlardan görülmektedir. Bu andırımın üzerinde durulmasının nedeni zaman değerinin hesaplanmasıdır. Çalışmada kullanılan tüm modeller içinde ancak logit model ve logit andırımlı YSA lar ile zaman değerini hesaplamak mümkündür.

EUAP verileriyle yaptığımız logit ve logit andırımlı YSA modellerine ait katsayılar, Sayfa 126'deki açıklamalar ışığında değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- Düşük gelir grubu

- Bu grupta zaman değişkenine ait katsayılar L1,L2'de (+) çıkmıştır. Buna karşın YSA1'de zaman değişkeni ve maliyet değişkeni (-) işareti almıştır. Zamanın değeri logit modeller için (-) çıkmaktadır. YSA modelinden elde edilen katsayılardan yüksek zaman değeri hesaplanmaktadır (Bkn Sf. 125). Her üç modelin zaman değeri ve katsayıları ulaştırma gerçeklerine uyumlu değildir.

- Orta gelir grubu

- L3,L4, ve YSA4 maliyet ve zamanın değeri açısından kabul edilebilir modeller değildir.

- Yüksek gelir grubu

- L5 ve YSA7 nin her ikisi de katsayıları uyumlu zaman ve maliyet işaretine sahiptir. Tahmin güçleri yaklaşık aynı olan iki model, farklı zaman değerlerine sahiptirler. Ancak, YSA modelinden hesaplanan zaman değeri, EUAP’da hesaplanan zaman değerine oldukça yakın çıkmıştır.

EUAP :1,686,707 TL/sa (Tüm gelir grupları için ortalama zaman değeridir.)

L5 :2,372,324 TL/sa

YSA7 :1,660,066 TL/sa

Logit ve logit andırımlı YSA örnek kalitesinden aynı derecede etkilenmişlerdir. Ancak logit andırımlı YSA modeli zaman değeri kestirimini logit modelden daha düşük yapmaktadır.

Tahmin başarımı en güçlü modeller, Sugeno yapısında olan ve çıktısı doğrusal olan modeller olmuştur. Ancak logit andırımlı YSA ve logit model dışındaki bu modellerle zaman değeri hesabı yapmak mümkün değildir. Daha düşük başarımlı gücüne sahip Mamdani yapısındaki modeller esnek yapıları nedeniyle kuralların ağırlıklarıyla oynayarak uzmanın görüşlerinin modele katılmasını sağlarlar. Bu, tutarsız verilerin örnek içinde gücünün belirlenmesine yardımcı olur.

Modellerin uyum-iyiliği konusunda R^2 sınamasının yeterli olduğu, diğer tüm sınamalarla aynı derecede modelin başarımlıdaki artışı yansıttığı görülmüştür. Buna ek olarak eşik değerinin model başarımlıyı yükseltebildiği görülmüştür (Şekil G.5). Ancak eşik değerinin başarımlı olumlu etkisi, özellikle düşük gelir grubundaki örneklerde gözlenmiştir. Yüksek gelir grubu gibi modellemekte zorlanılmayan örneklerde, eşik değerinin 0.5’den farklı seçilmesi sonucu etkilememektedir (Şekil G.7).

Sonuç olarak, esnek ve istatistik modellerde, rastgelelik dışlanamaz bir kavramdır. Esnek yöntemlerin sahip olduğu yüksek ilişkilendirme gücü, rastgeleliği aşmak için kullanmak doğru olmaz. Öğrenme gücü yüksek karmaşık YSA yapıları ya da gereğinden fazla ayrıntılı sinir-bulanık sistemler, toplumu değil örnekleri modellerler. Yeterli düzeyde tahmin yapabilen en basit esnek yapının seçilmesi, bu açıdan daha uygundur. Diğer yandan istatistik modeller, örneklerin rastgele toplanmış olmasına karşın, önbilginin yanlış tanımlanması nedeniyle başarısız olurlar. Bu nedenle karmaşık insan davranışına ait önbilginin belirlenmesindeki zorluk, bu modellerin eksik taraflarından birini oluşturur.

7.3 Öneriler

Esnek hesaplama ve logit modelin türel ayırım modellerinde kullanılmasının ele alındığı bu çalışma sonucu oluşan öneriler aşağıdaki gibi listelenmiştir.

1. Esnek modeller için kullanılan örnek verileri, geleneksel türel ayırım modelleri için oluşturulmuş, seçilmiş seçenekler yöntemiyle toplanmıştır. Esnek ve logit modeller kullanıcıların algıladıkları değerlerle değil, ulaştırma ağından hesaplanan maliyet ve zaman değerleri ile kalibre edilmiştir. Esnek hesaplama yöntemleri özellikle bulanık mantığın insan algılamasına en yakın şekildeki modeli oluşturması için, kullanıcıların algıladıkları zaman ve maliyetleri ölçecek biçimde anketlerin düzenlenmesi ve modellerin başarımının yeni verilerle karşılaştırılması gerekmektedir.
2. Esnek yöntemler özellikle YSA'lar çok güçlü öğrenme yetenekleri nedeniyle örneğe aşırı bağlı tahminler yapabilirler. Bunun önüne geçmek için YSA ve bulanık mantığın yapısını karmaşıklştırmaktan kaçınılmalı ve yeterli örnek mevcutsa bu örneklerin bir kısmı çapraz doğrulama için ayrılmalıdır.
3. Esnek hesaplama yöntemlerine veri girişleri belirli aralıklardır. YSA'larda normalizasyon, bulanık mantıkta ise kural tabanları sınırları belirlediğinden geleceğe yönelik tahminler yaparken, değişkenlerin bu sınırlar içinde olması gerekir. Bu nedenle modeller kurulurken alt ve üst sınırlar önceden iyi belirlenmelidir.
4. Logit andırımlı YSA modelleri, logit modellere karşı zaman değerinin hesaplanmasında gösterdiği başarım farklı bölge ve veriler için sınanmalıdır.
5. Zaman değerinin hesabının bulanık mantık modelleriyle de kestiriminin yapılması için modeller tasarlanmalı ve bunların başarımı farklı bölge ve veriler için sınanmalıdır.
6. Yeni geliştirilen Mamdani algoritmaları kullanılarak model kalibrasyonları yapılmalı ve bunların gösterdiği başarımalar diğer modellerle karşılaştırılmalıdır.
7. Eskişehir'e ait gelecekte elde edilecek türel ayırım gözlemleri, elde edilen modellerin tahminleriyle karşılaştırılmalıdır.
8. Öznel olan gruptama yöntemi, esnek ve istatistik sınıflama yöntemleriyle nesnel ölçütlere göre belirlenmeli ve bunun modellerin başarımına olan etkileri sınanmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] **Crider, A. and Goethals, G. R.**, 1983. *Eğitim ve Eğitim Bilimleri Sözlüğü*, Psychology, Foresman and Company, İstanbul.
- [2] **Cacciabue, P. C.**, 1998. *Modelling and Simulation of Human Behaviour in System Control*, Advances in industrial control, Springer, Berlin:Springer.
- [3] **McFadden, D.**, 1997. Rationality for economists?, *Journal of Risk and Uncertainty*, **Special Issue on Preference Elicitation**(19), 73–105.
- [4] **Domencich, T. A. and McFadden, D.**, 1975. *Urban Travel Demand: A Behavioral Analysis*, Contributions to Economic Analysis, North-Holland Publishing, Amsterdam, reprinted 1996 ed.
- [5] **Brzoska, M.**, 2004. The rationality of defence, *Eighth Annual Conference on Economics and Security*.
- [6] **Selten, R.**, 1998. Features of experimentally observed bounded rationality, *European Economic Review*, **42**, 413–436.
- [7] **Miller, N.**, 2003, Notes on microeconomic theory, <http://ksghome.harvard.edu/nmiller/notes.htm>.
- [8] **Hensher, D. A. and Button, K. J.** (eds.), 2000. *Handbook of Transport Modelling*, chap. 2, Handbooks in transport ; 1, Elsevier Science B.V., New York, 11–32.
- [9] **Kanafani, A.**, 1972. An aggregative model of trip making, *Transportation Research*, **6**, 119–124.
- [10] **Kanafani, A.**, 1983. *Transportation Demand Analysis*, Series in transportation, Mcgraw-Hill, New York.
- [11] **McFadden, D. L.**, 2000, Economic choices, Prize Lecture.
- [12] **McFadden, D.**, 1977. *The Urban Travel Demand Forecasting Project Phase I Final Reprt Series, Special Report UCB-ITS-SR-77-9*, The Institute of Transportation Studies University of California, 109 McLaughlin Hall, University of California, Berkeley, California 97720.
- [13] **W.B.Tye, L.Sherman and et al**, 1982. *Application of Disaggregate Travel Demand Models*, National cooperative highway research program report:253, Transportation Research Board, TBR,National Research Council,Washinton D.C.

- [14] **McFadden, D.**, 1976, The theory and practice of disaggregate demand forecasting for various modes of urban transportation, Paper presented at Seminar on Emerging Transportation Planning Methods, Daytona Beach.
- [15] **Koppelman, F. S. and Sethi, V.**, 2000. *Handbook of Transport Modeling*, chap. Closed Form Discrete Choice Models, Pergamon Press, Oxford, 211–228.
- [16] **Koppelman, F. S. and Sethi, V.**, 2005. Incorporating variance and covariance heterogeneity in the generalized nested logit model: An application to modeling long distance travel choice behaviour, *Transportation Research Part B*, **39**, 825–853.
- [17] **McFadden, D.**, 1978. Modeling of the choice of residential location, in *Spatial Interaction Theory and Residential Location* (Ed. A. Karlquist), North-Holland, Amsterdam, 75–96.
- [18] **Wen, C.-H. and Koppelman, F. S.**, 2001. The generalized nested logit model, *Transportation Research Part B*, **35**, 627–641.
- [19] **Russel, B.**, 1999. *The Basic Writings of Bertrand Russell*, chap. The Logician and Philosopher of Mathematics, Routledge, London, 145–207.
- [20] **Kosko, B.**, 1993. *Fuzzy Thinking*, Logic, Flamingo, New York, 1st ed.
- [21] **Smets, P.**, 1997. Imperfect information : Imprecision - uncertainty, in *Uncertainty Management in Information Systems. From Needs to Solutions* (Eds. A. Motro and P. Smets), Kluwer Academic Publishers, 225–254.
- [22] **Black, M.**, 1937. Vagueness: An exercises in logical analysis, *Philosophy of Science*, **4**, 424–455.
- [23] **Bonissone, P. P. and Tong, R. M.**, 1985. Editorial: Reasoning with uncertainty in expert systems., *International Journal of Man-Machine Studies*, **22**, 3, 241–250.
- [24] **Besnard, P., Brewka, G. and et al**, 1991, Special issue: Uncertainty conditionals and non-monotonicity positions and debates in non-standard logics.
- [25] **Krause, P. and Clark, D.**, 1993. *Representing Uncertain Knowledge: An Artificial Intelligence Approach*, Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, USA.
- [26] **Lopez de Mantaras, R.**, 1990. *Aproximate Reasoning Models*, Artificial Intelligence, Ellis Horwood, U.K.
- [27] **Smithson, M.**, 1988. *Ignorance and Uncertainty: Emerging Paradigms*, Springer-Verlag, New York.
- [28] **Şen, Z.**, 2001. *Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri*, Bilge Kültür Sanat, İstanbul.
- [29] **Finetti, B. D.**, 1974. *Theory of Probability; A Critical Introductory Treatment.*, Wiley series in probability and mathematical statistics, Wiley, London.
- [30] **Zadeh, L.**, 1965. Fuzzy Sets, *Information and Control*, **3**, 8, 338–353.

- [31] **Zadeh, L.**, 1978. Fuzzy sets as a basis for theory of possibility, *Fuzzy Sets and Systems*, **1**, 3–28.
- [32] **Kreyszig, E.**, 1993. *Advanced Engineering Mathematics*, John Wiley&Sons. Inc., New York, 7th ed.
- [33] **Bayazit, M.**, 1996. *İnşaat Mühendisliğinde Olasılık Yöntemleri*, İ.T.Ü. İNŞAAT FAK. MATBAASI, İstanbul.
- [34] **Cox, E.**, c1999. *The Fuzzy Systems Handbook : A Practioner's Guide to Building Using, and Maintaining Fuzzy Systems*, AP Professional, San Diego, 2nd ed.
- [35] **Patyra, M. J. and Mlynek, D.** (eds.), c1996. *Fuzzy logic : Implementation and Applications*, Wiley & Teubner, Chichester.
- [36] **Schweizer, B. and Sklar, A.**, 1960. Statistical metric spaces, *Pacific J. Math.*, **10**, 313–334.
- [37] **Schweizer, B. and Sklar, A.**, 1983. *Probablistic Metric Spaces*, North-Holland, New York, Amsterdam, Oxford.
- [38] **Driankov, D., Hellendoorn, H. and Reinfrank, M.**, c1996. *An Introduction to Fuzzy Control*, Springer, Berlin.
- [39] **Roventa, E. and Spircu, T.**, 2003. Averaging procedures in defuzzificationnext term processes, *Fuzzy Sets and Systems*, **136**, 375–385.
- [40] **Patel, A. V. and Mohan, B. M.**, 2002. Some numerical aspects of center of area defuzzificationnext term method, *Fuzzy Sets and Systems*, **132**, 401–409.
- [41] **Demir, Y. K.**, 1997. Yapay sinir ağları ile ulaşırma taleplerinin belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [42] **Sanches-Sinencio, E. and Lau, C.** (eds.), 1992. *Artificial Neural Networks: Paradigms, Applications, and Hardware Implementations*, IEEE Press.
- [43] **Goss, E. P. and Vozikis, G. S.**, 2002. Improving health care organizational management through neural network learning, *Health Care Management Science*, **5**, 221–227.
- [44] **Dreiseitl, S. and Ohno-Machado, L.**, 2002. Logistic regression and artificial neural network classification models: A methodology review, *Journal of Biomedical Informatics*, **35**, 352–359.
- [45] **Manel, S. P., Dias, J. and etal.,** 1999. Alternative methods for predicting species distribution: An illustration with himalayan river birds, *Journal of Applied Ecology*, **36**, 734–747.
- [46] **Segurado, P. and jo, M. B. A.**, 2004. An evaluation of methods for modelling species distributions, *Journal of Biogeography*, **31**, 1555–1568.
- [47] **Cocu, N., Harrington, R. and et.al.,** 2005. Geographical location, climate and land use influences on the phenology and numbers of the aphid, myzus persicae, in europe, *Journal of Biogeography*, **32**, 615–632.

- [48] **Goldberg, A. and Kaczka, E. E.**, 1979. Comparison of models of individual choice in a complex setting, in *1979 Winter Simulation Conference*, IEEE, 181–185.
- [49] **Beck, N., King, G. and Zeng, L.**, 2000. Improving quantitative studies of international conflict: A conjecture, *American Political Science Review*, **94**, 1, 21–35.
- [50] **Demarchi, S., Gelpi, C. and Grynaviski, J. D.**, 2004. Untangling neural nets, *American Political Science Review*, **98**, 2, 371–378.
- [51] **Schumacher, M. and Reinhard Robner, W. V.**, 1996. Neural networks and logistic regression: Part i, *Comput. Stat. Data Anal.*, **21**, 6, 661–682.
- [52] **Vach, W., Robner, R. and Schumacher, M.**, 1996. Neural networks and logistic regression: Part ii, *Comput. Stat. Data Anal.*, **21**, 6, 683–701.
- [53] **S.Sarle, W.**, 1994. Neural networks and statistical models, in *Proceedings of the Nineteenth Annual SAS Users Group International Conference*, SAS Inc., 1–13.
- [54] **Nakatsuyama, M., Nagahashi, N. and Nishizuka, N.**, 1983. fuzzy logic phase controller for traffic functions in the one-way arterial road, in *Proceedings of the IFAC Ninth Triennial World Congress*, Pergamon Press, Oxford, 2865–2870.
- [55] **Sugeno, M. and Murakami, K.**, 1985. An experimental study on fuzzy parking control using a model car, in *Industrial Application of fuzzy control* (Ed. M.Sugeno), Elsevier Science, Amsterdam, 105–124.
- [56] **M.Sugeno and Nishida, M.**, 1985. Fuzzy control of model car, *Fuzzt sets and systems*, **16**, 103–113.
- [57] **Sasaki, T. and Akiyama, T.**, 1986. Development of fuzzy traffic control system on urban expressway, in *Fifth IFAC/IFIP/OFORS international conference in transportation systems*, IFAC, 333–338.
- [58] **Sasaki, T. and Akiyama, T.**, 1987. Fuzzy on-ramp control model on urban expressway and its extension, in *Transportation and Traffic Theory* (Eds. N. Gartner and N. Wilson), Elsevier Science, New York, 337–395.
- [59] **Sasaki, T. and Akiyama, T.**, 1988. Traffic control process of expressway by fuzzy logic, *Fuzzy sets and systems*, **26**, 165–178.
- [60] **Teodorovic, D. and Vukadinovic, K.**, c1998. *Traffic Control and Transport Planning : A Fuzzy Sets and Neural Networks Approach*, International series in intelligent technologies, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- [61] **S.G., R. and Cheu, R.**, 1993. Simulation of freeway incident detection using artificial neural networks, *Transportation Research C*, **1**, 3, 203–217.
- [62] **Srinivasan, D., Jin, X. and Cheu, R. L.**, 2005. Adaptive neural network models for automatic incident detection on freeways, *Neurocomputing*, **64**, 473–496.

- [63] **Stephen, B. and Ritchie, G.**, 1999. Enhancing the universality and transferability of freeway incident detection using a bayesian-based neural network, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, **7**, Issue, 261–280.
- [64] **Khan, S. I. and Ritchie, S. G.**, 1998. Statistical and neural classifiers to detect traffic operational problems on urban arterials, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, **6**, Issues 5-6, 291–314.
- [65] **Weil, R., Wootton, J. and García-Ortiz, A.**, 1998. Traffic incident detection: Sensors and algorithms, *Mathematical and Computer Modelling*, **27**, Issues 9-11, 257–291.
- [66] **Dia, H. and Rose, G.**, 1997. Development and evaluation of neural network freeway incident detection models using field data, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, **5**, Issue 5, 313–331.
- [67] **Dougherty, M.**, 1995. A review of neural networks applied to transport, *Transportation Research C*, **3**, 4, 247–260.
- [68] **Finney, D. J.**, 1947. The estimation from individual records of the relationship between dose and quantal response, *Bimetrica*, **34**, 320–334.
- [69] **Kullback, S. and Leibler, R. A.**, 1951. On information and sufficiency, *Annals of Mathematical Statistics*, **86**, 6, 22–79.
- [70] **Hawas, Y. E.**, 2004. Development and calibration of route choice utility models: Neuro-fuzzy approach, *Journal of Transportation Engineering*, **130**, 2, 171–182.
- [71] **Hoogendoorn-Lanser, S. and Hoogendoorn, S. P.**, 1999. A fuzzy genetic approach to travel choice behaviour in public transport networks, *Workshop on Intelligent Traffic Management Models*.
- [72] **Lin, J. W., I.Hwang, M. and Becker, J. D.**, 2003. A fuzzy neural network for assessing the risk of fraudulent financial reporting, *Managerial Auditing Journal*, **18**, 8, 657–665.
- [73] **Kikuchi, S. and Pursula, M.**, 1998. Treatment of uncertainty in study of transportation: Fuzzy set theory and evidence theory, *Journal of Transportation Engineering*, **124**, 1, 1–8.
- [74] **Vythoulkas, P. C. and Koutsopoulos, H. N.**, 2003. Modeling discrete choice behavior using concepts from fuzzy set theory, approximate reasoning and neural networks, *Transportation Research Part C*, **11**, 51–73.
- [75] **Lin, C.-T. and Lee, C.**, 1991. Neural-network-based fuzzy logic control and decision system, *IEEE Transactions on Computers*, **40**, 12, 1320–1336.
- [76] **Neagu, C.-D. N., Aptula, A. O. and Gini, G.**, 2002. Neural and neuro-fuzzy models of toxic action of phenols, in *International Symposium 'Intelligent Systems' Methodology, Models, Applications in Emerging Technologies IS2002*, IEEE, Varna, Bulgaria, 10–12.

- [77] **Balcaen, S. and Ooghe, H.**, 2004. *Alternative Methodologies in Studies on Business Failure: Do They Produce Better Results than the Classical Statistical Methods?*, Working Paper 249, Faculteit Economie En Bedrijfskunde, Hoveniersberg 24.
- [78] **Vythoulkas, P. C.**, -. An approach to travel behaviour modelling based on the concepts of fuzzy logic and neural networks, -, -, -, 189–204.
- [79] **Nijkamp, P., Reggiani, A. and Tritapepe, T.**, 1997. Spatial choice behaviour: Logit models and neural network analysis, *The Annals of Regional Science*, **31**, 4, 411–429.
- [80] **Sayed, T. and Razavi, A.**, 2000. Comparison of neural and conventional approaches to mode choice analysis, *Journal of Computing in Civil Engineering*, **14**, 1, 23–30.
- [81] **Kalic, M. and Teodorovic, D.**, 2003. Trip distribution modelling using fuzzy logic and a genetic algorithm, *Transportation Planning and Technology*, **36**, 3, 212–238.
- [82] **(Ed.), R. W. H.**, 2003. *Handbook of Transportation Science*, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- [83] **Gerçek, H. ve Demir, O.**, 2003. *Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Ulaştırma Ana Planı, Model kalibrasyon raporu*, İstanbul Teknik Üniversitesi UY-AR Merkezi, İstanbul.
- [84] **Hess, S., Bierlaire, M. and Polak, J. W.**, 2005. Estimation of value-of-time using mixed logit models, *TRB 2005 Annual Meeting*.
- [85] **Estrella, A.**, 1997. *A New Measure of Fit for Equations with Dichotomous Dependent Variables*, Research Paper 9716, Federal Reserve Bank of New York, New York.
- [86] **Tang, T.-C. and Chi, L.-C.**, 2005. Predicting multilateral trade credit risk: Comparison of logit and fuzzy logic models using roc curve analysis, *Expert System with Applications*, **28**, 547–556.
- [87] **Strickland, R. N.**, 2002. *Image-Processing Techniques Tumor Detection*, Marcel Dekker Incorporated, New York.
- [88] **Liu, C., M.Berry, P. and et al**, 2005. Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions, *Ecography*, **28**, 385–393.
- [89] **Cramer, J.**, 2003. *Logit models: From Economics and Other Cumming*, Cambridge University.
- [90] **Silman, A.**, 2002. *Epidemiological Studies*, Cambridge University, New York.
- [91] **Beck, N., King, G. and Zeng, L.**, 2004. Theory and evidence in international conflict: A response to de marchi, gelpi, and grynawski, *American Political Science Review*, **98**, 2, 379–389.

.

EKLER

EK LİSTESİ

EK A:	Bulanık Mantık Üyelik Fonksiyonları
EK.B:	Finney Verileri
EK.C:	Kullanıcı Düzeyindeki Veriler
EK.D:	Yolculuk Düzeyindeki Veriler
EK.E:	Zaman ve Maliyet Matrisleri
EK.F:	Model Verileri
EK.G:	Çözümleme Sonuçları

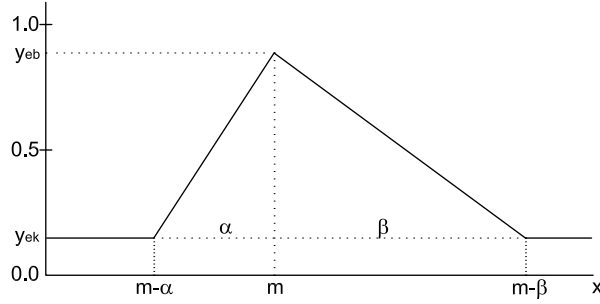
A. BULANIK MANTIK ÜYELİK FONKSİYONLARI

Tanım A.1. *Üçgen fonksiyonu: Toplam beş parametresi vardır. $m \in IR, (\alpha, \beta) \in IR^+,$*

$$(y_{ek}, y_{eb}) \in [0, 1]$$

$$f_{\text{üçgen}}(x, m, \alpha, \beta, y_{ek}, y_{eb}) := \left\{ \begin{array}{ll} y_{ek} & x \leq ma, x \geq mb \\ y_{ek} + \frac{dy(x-ma)}{\alpha} & ma < x \leq m \\ y_{ek} + \frac{dy(mb-x)}{\beta} & m < x < mb \end{array} \right\} \quad (\text{A.1})$$

$$\begin{aligned} ma &= m - \alpha \\ mb &= m + \beta \\ dy &= y_{eb} - y_{ek} \end{aligned}$$

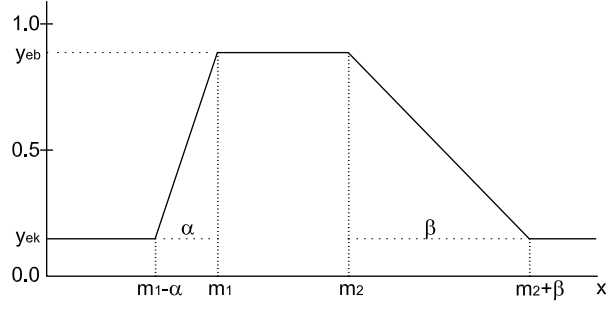


Şekil A.1: Üçgen üyelik fonksiyonu

Tanım A.2. *Yamuk fonksiyonu: Toplam altı parametresi vardır. $(m_1, m_2) \in IR(m_1 < m_2),$
 $(\alpha, \beta) \in IR^+, (y_{ek}, y_{eb}) \in [0, 1]$*

$$f_{\text{yamuk}}(x, m_1, m_2, \alpha, \beta, y_{ek}, y_{eb}) := \left\{ \begin{array}{ll} y_{ek} & x \leq ma, x \geq mb \\ y_{eb} & m_1 \leq x \leq m_2 \\ y_{ek} + \frac{dy(x-ma)}{\alpha} & ma < x \leq m_1 \\ y_{ek} + \frac{dy(mb-x)}{\beta} & m_2 < x < mb \end{array} \right\} \quad (\text{A.2})$$

$$\begin{aligned} ma &= m_1 - \alpha \\ mb &= m_2 + \beta \\ dy &= y_{eb} - y_{ek} \end{aligned}$$



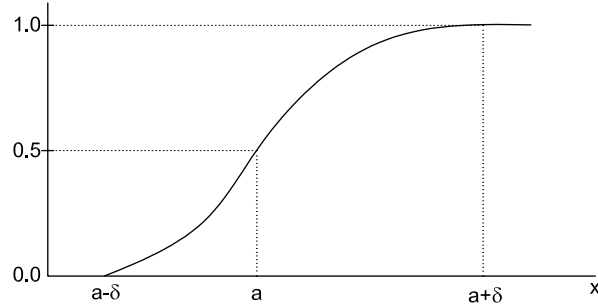
Şekil A.2: Yamuk üyelik fonksiyonu

Tanım A.3. *S fonksiyonu: Toplam iki parametresi vardır. $(a, \beta) \in IR$*

$$S(x, a, \beta) := \left\{ \begin{array}{ll} 0 & x \leq (a - \delta) \\ 2\left(\frac{x-a+\delta}{2\delta}\right)^2 & (a - \delta) < x \leq a \\ 1 - 2\left(\frac{a-x+\delta}{2\delta}\right)^2 & a < x \leq (a + \delta) \\ 1 & x \geq (a + \delta) \end{array} \right\} \quad (\text{A.3})$$

a =fonksiyonuna ait dönüş noktası

δ =dönüş noktasını ile fonksiyonun uç noktalarına olan yatay mesafe



Şekil A.3: S üyelik fonksiyonu

Tanım A.4. *Z fonksiyonu: Toplam iki parametresi vardır. $(a, \beta) \in IR$*

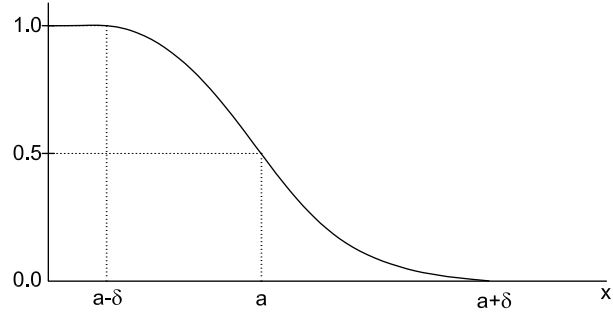
$$Z(x, a, \beta) := 1 - S(x, a, \delta) \quad \forall x \in IR \quad (\text{A.4})$$

a =fonksiyonuna ait dönüş noktası

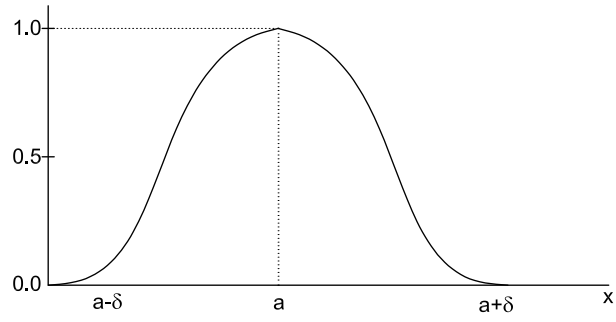
δ =dönüş noktasını ile fonksiyonun uç noktalarına olan yatay mesafe

Tanım A.5. *π fonksiyonu: Toplam iki parametresi vardır. $(a, \beta) \in IR$*

$$\pi(x, a, \beta) := \left\{ \begin{array}{ll} S(x, a - \frac{\delta}{2}, \frac{\delta}{2}) & x \leq a \\ Z(x, a + \frac{\delta}{2}, \frac{\delta}{2}) & x \geq a \end{array} \right\} \quad (\text{A.5})$$



Şekil A.4: Z üyelik fonksiyonu



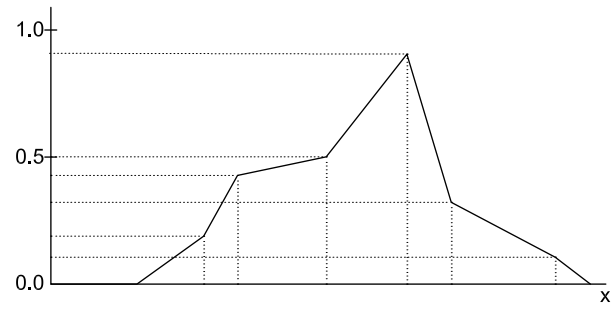
Şekil A.5: Π Üyelik fonksiyonu

Tanım A.6. Genelleştirilmiş bulanık küme ($\tilde{G}$) ikili kümelerle gösterilir. Belli bir formu yoktur. Ancak bulanık fonksiyonun özelliklerini sağlar.

$$\tilde{G} := \{(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)\} \quad (\text{A.6})$$

Bu fonksiyonda aşağıdaki şartlar sağlanmalıdır;

- $x_i < x_j, \forall i < j$
- $0 \leq y_i \leq 1, \forall i \in \{1, \dots, n\}$

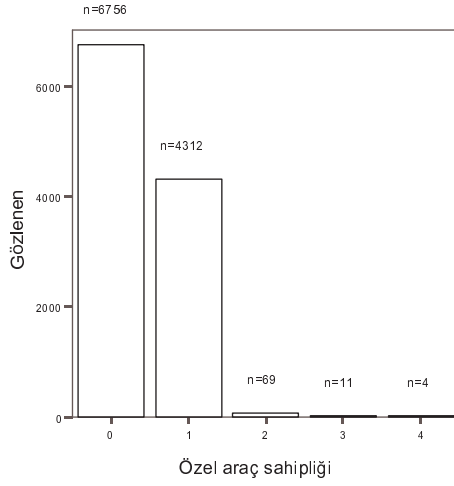


Şekil A.6: Genelleştirilmiş üyelik fonksiyonu

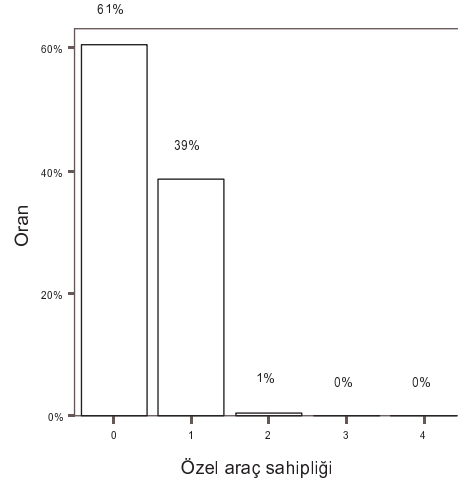
B. FINNEY VERİLERİ

Gözlem No:	Hacim (V)	Oran (R)	Tepki (R)
1	3.7	0.825	1
2	3.5	1.09	1
3	1.25	2.5	1
4	0.75	1.5	1
5	0.8	3.2	1
6	0.7	3.5	1
7	0.6	0.75	0
8	1.1	1.7	0
9	0.9	0.75	0
10	0.9	0.45	0
11	0.8	0.57	0
12	0.55	2.75	0
13	0.6	3	0
14	1.4	2.33	1
15	0.75	3.75	1
16	2.3	1.64	1
17	3.2	1.6	1
18	0.85	1.415	1
19	1.7	1.06	0
20	1.8	1.8	1
21	0.4	2	0
22	0.95	1.36	0
23	1.35	1.35	0
24	1.5	1.36	0
25	1.6	1.78	1
26	0.6	1.5	0
27	1.8	1.5	1
28	0.95	1.9	0
29	1.9	0.95	1
30	1.6	0.4	0
31	2.7	0.75	1
32	2.35	0.03	0
33	1.1	1.83	0
34	1.1	2.2	1
35	1.2	2	1
36	0.8	3.33	1
37	0.95	1.9	0
38	0.75	1.9	0
39	1.3	1.625	1

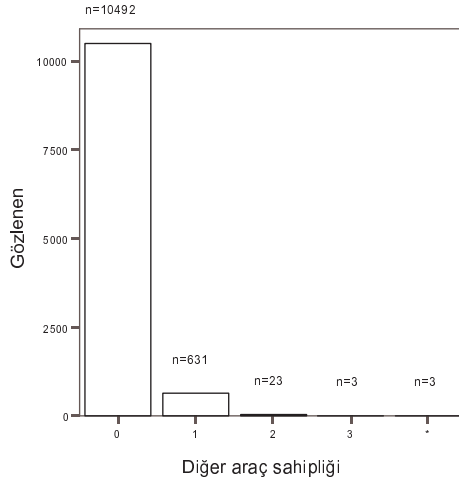
C. KULLANICI DÜZEYİNDEKİ VERİLER



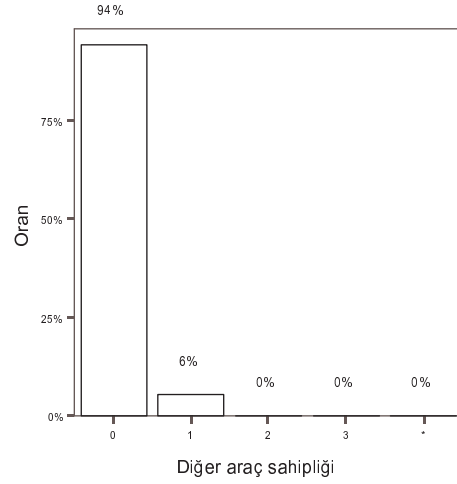
(a) Tüm örnek içindeki ÖA sayısı dağılımı



(b) Tüm örnek içindeki ÖA oranları

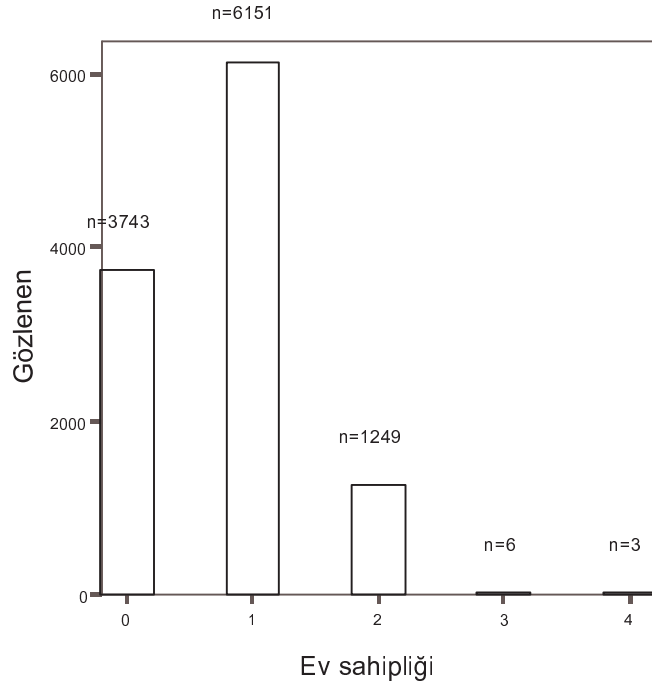


(c) Tüm örnek içindeki DA sayısı dağılımı

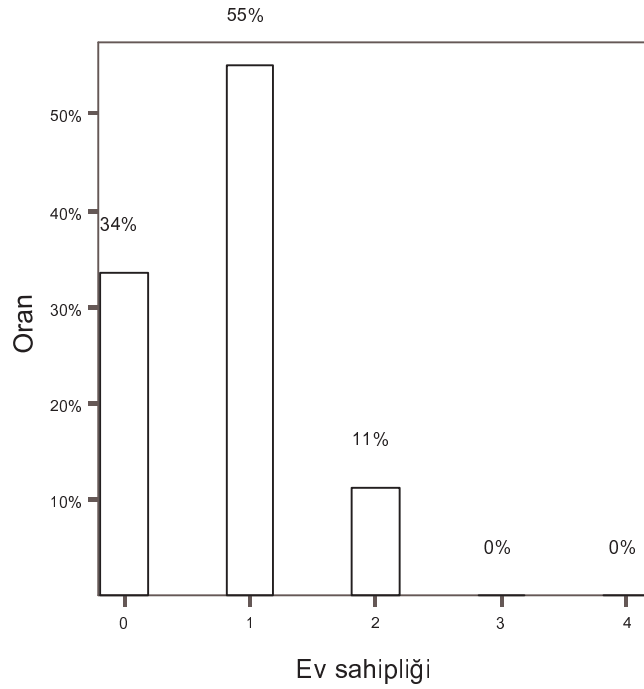


(d) Tüm örnek içindeki DA oranları

Şekil C.1: Araç sahipliği (Özel/Diğer=ÖA/DA) dağılımları

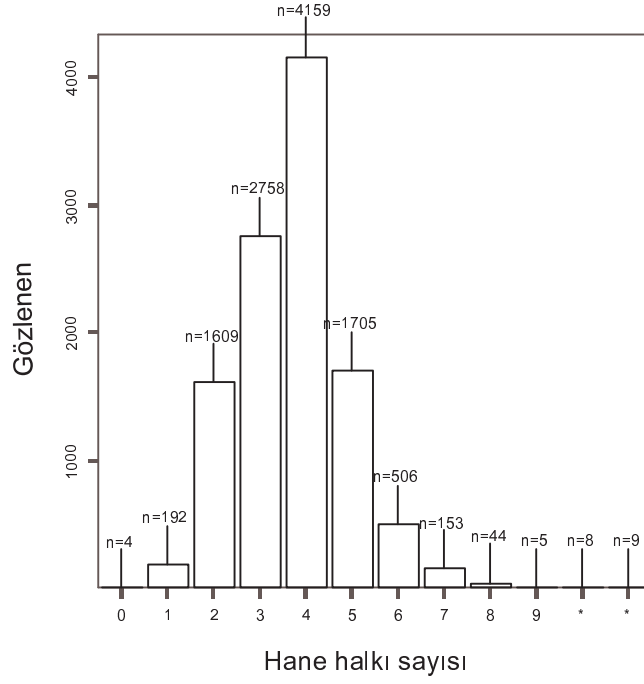


(a) Tüm örnek içindeki ES dağılımı

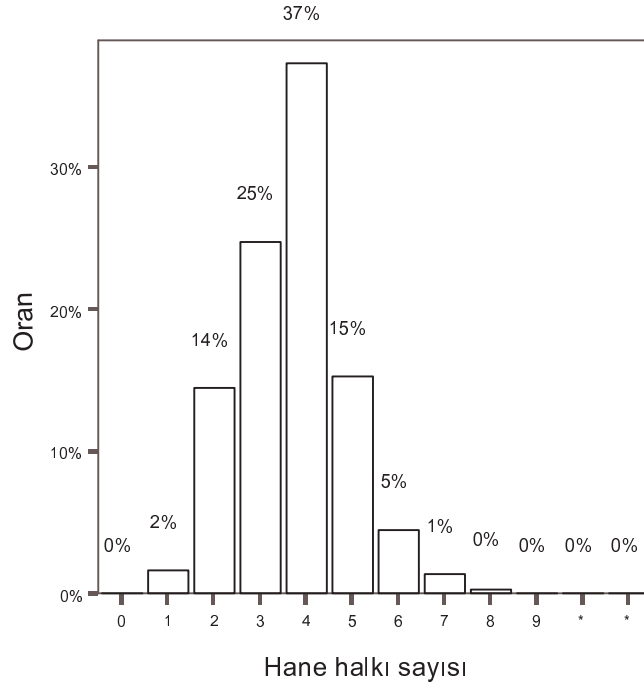


(b) Tüm örnek içindeki ES oranları

Şekil C.2: Ev sahipliği (ES) dağılımları

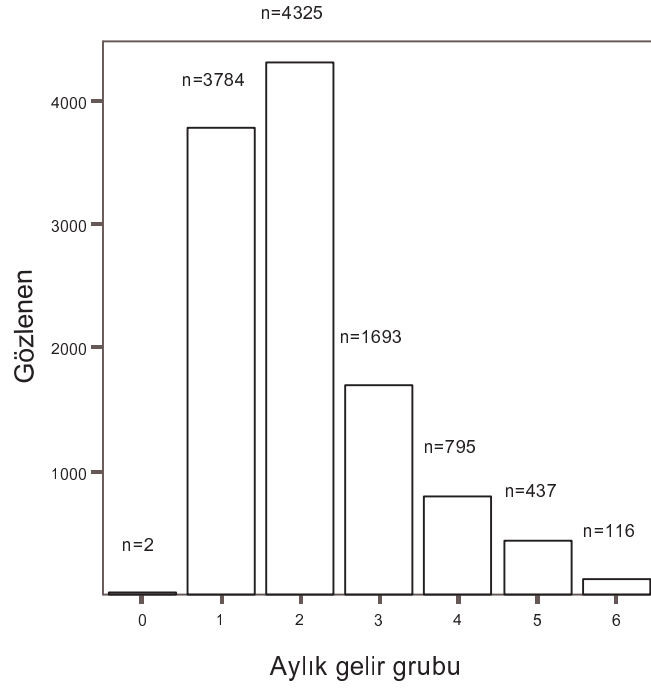


(a) Tüm örnek içindeki HHS dağılımı

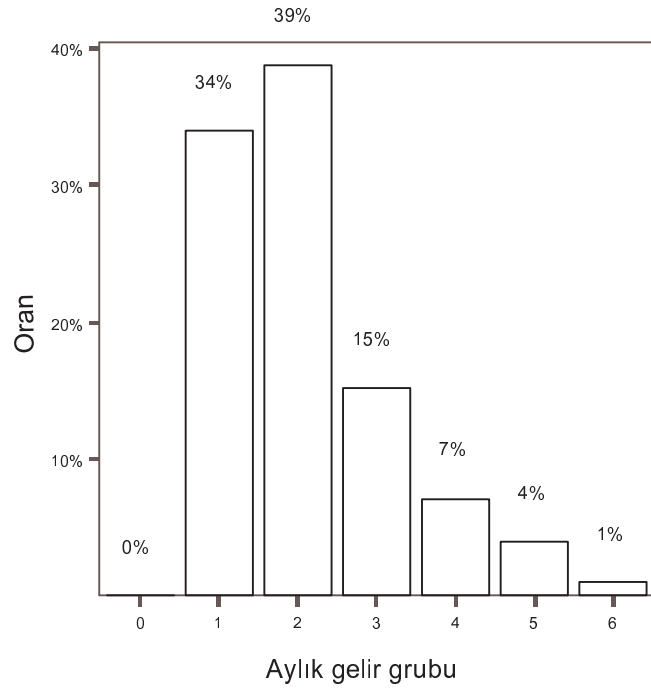


(b) Tüm örnek içindeki HHS oranları

Şekil C.3: Hane halkı sayısı (HHS) dağılımları



(a) Tüm örnek içindeki AGG dağılımı



(b) Tüm örnek içindeki AGG oranları

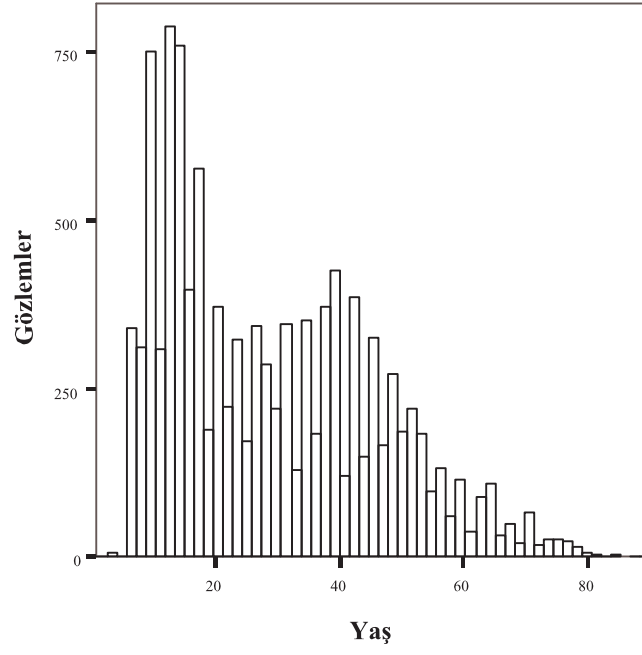
Şekil C.4: Aylık gelir grubu (AGG) dağılımları

Tablo C.1: YAŞ değişkenine ait istatistiler

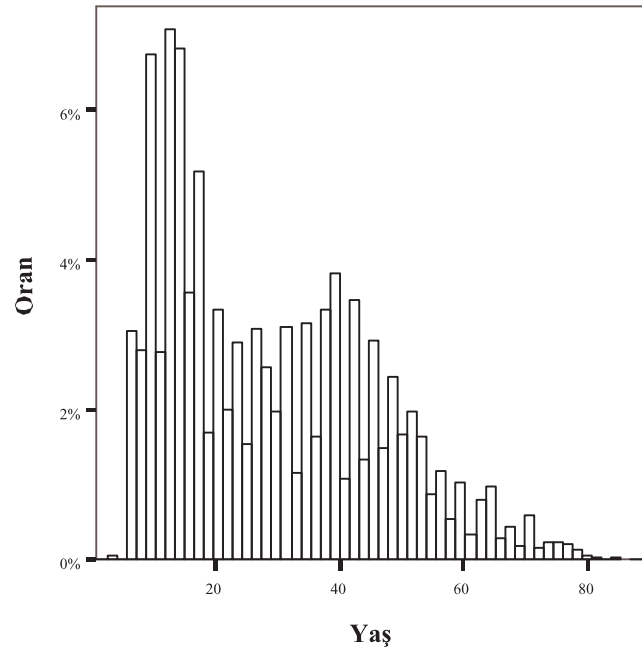
YAŞ İstatistikleri		
	N	Geçerli
		Eksik
		11,152
		0
Ortalama		29.06
Ortalama standart hata		0.161
Orta değer (medyan)		26
Mod		12
Standart sapma		17.01
Yayılım (Varyans)		289.44
Çarpıklık		0.63
Çarpıklığın standart hatası		0.023
Basıklık (Kurtosis)		-0.481
Basıklığa ait standart hata		0.046
Değişim aralığı (Range)		89.000
Enküçük		1.000
Enbüyük		90.000
Toplam		324,072.000
Yüzdelikler (percentiles)	10	10
	20	13
	25	14
	30	16
	40	20.00
	50	26.00
	60	32.00
	70	39.00
	75	42.00
	80	45.00
	90	53.00

Tablo C.2: YAŞ değerlerine ait gözlenen sıklıklar

	Sıklıklar	Yüzdelikler	Geçerli Yüzdelikler	Birikimli Yüzdelikler
1	2	0.0	0.0	0.0
3	3	0.0	0.0	0.0
4	3	0.0	0.0	0.1
5	1	0.0	0.0	0.1
6	29	0.3	0.3	0.3
7	311	2.8	2.8	3.1
8	313	2.8	2.8	5.9
9	369	3.3	3.3	9.2
10	381	3.4	3.4	12.7
11	309	2.8	2.8	15.4
12	429	3.8	3.8	19.3
13	360	3.2	3.2	22.5
14	377	3.4	3.4	25.9
15	383	3.4	3.4	29.3
16	397	3.6	3.6	32.9
17	332	3.0	3.0	35.9
18	245	2.2	2.2	38.1
19	190	1.7	1.7	39.8
20	203	1.8	1.8	41.6
21	169	1.5	1.5	43.1
22	225	2.0	2.0	45.1
23	160	1.4	1.4	46.5
24	164	1.5	1.5	48.0
25	173	1.6	1.6	49.6
26	170	1.5	1.5	51.1
27	173	1.6	1.6	52.6
28	162	1.5	1.5	54.1
29	123	1.1	1.1	55.2
30	222	2.0	2.0	57.2
31	144	1.3	1.3	58.5
32	201	1.8	1.8	60.3
33	131	1.2	1.2	61.5
34	158	1.4	1.4	62.9
35	195	1.7	1.7	64.6
36	184	1.6	1.6	66.3
37	163	1.5	1.5	67.7
38	208	1.9	1.9	69.6
39	162	1.5	1.5	71.1
40	263	2.4	2.4	73.4
41	121	1.1	1.1	74.5
42	240	2.2	2.2	76.6
43	146	1.3	1.3	78.0
44	149	1.3	1.3	79.3
45	172	1.5	1.5	80.8
46	155	1.4	1.4	82.2
47	168	1.5	1.5	83.7
48	169	1.5	1.5	85.2
49	102	0.9	0.9	86.2
50	187	1.7	1.7	87.8
51	74	0.7	0.7	88.5
52	147	1.3	1.3	89.8
53	97	0.9	0.9	90.7
54	88	0.8	0.8	91.5
55	98	0.9	0.9	92.4
56	69	0.6	0.6	93.0
57	63	0.6	0.6	93.5
58	62	0.6	0.6	94.1
59	34	0.3	0.3	94.4
60	81	0.7	0.7	95.1
61	38	0.3	0.3	95.5
62	54	0.5	0.5	96.0
63	35	0.3	0.3	96.3
64	44	0.4	0.4	96.7
65	67	0.6	0.6	97.3
66	32	0.3	0.3	97.6
67	31	0.3	0.3	97.8
68	20	0.2	0.2	98.0
69	22	0.2	0.2	98.2
70	55	0.5	0.5	98.7
71	13	0.1	0.1	98.8
72	19	0.2	0.2	99.0
73	13	0.1	0.1	99.1
74	15	0.1	0.1	99.2
75	26	0.2	0.2	99.5
76	16	0.1	0.1	99.6
77	9	0.1	0.1	99.7
78	11	0.1	0.1	99.8
79	5	0.0	0.0	99.8
80	8	0.1	0.1	99.9
81	1	0.0	0.0	99.9
82	2	0.0	0.0	99.9
83	1	0.0	0.0	99.9
84	1	0.0	0.0	100.0
85	3	0.0	0.0	100.0
88	1	0.0	0.0	100.0
90	1	0.0	0.0	100.0
Toplam	11,152	100.0	100.0	

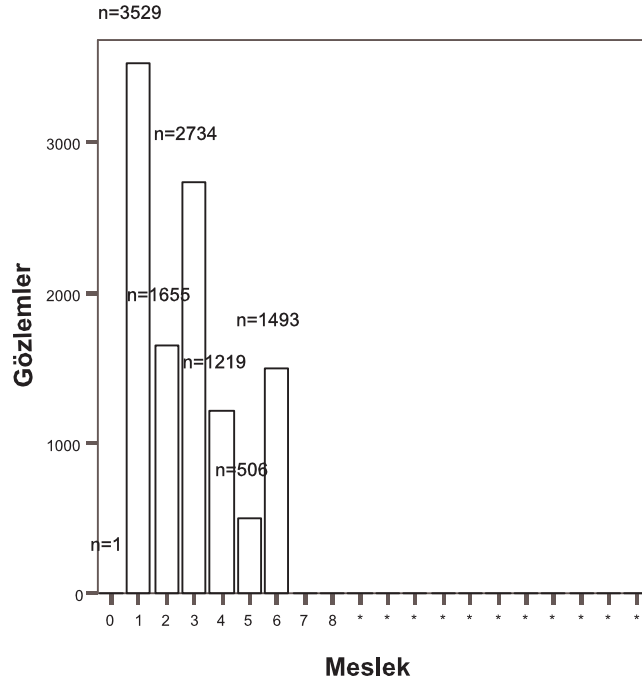


(a) YAŞ dağılımı

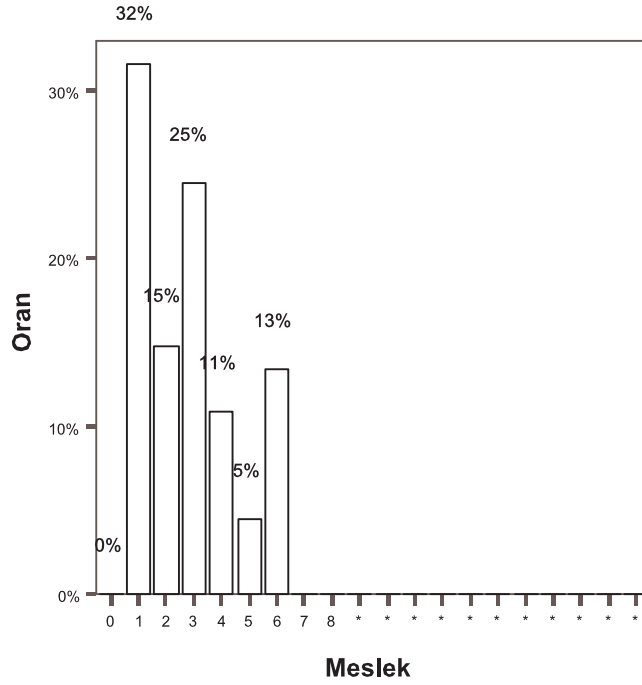


(b) YAŞ oranları

Şekil C.5: YAŞ değişkenine ait dağılım



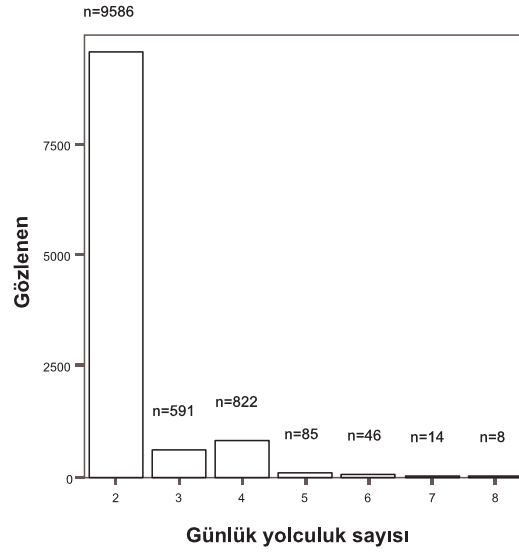
(a) Meslek dağılımı



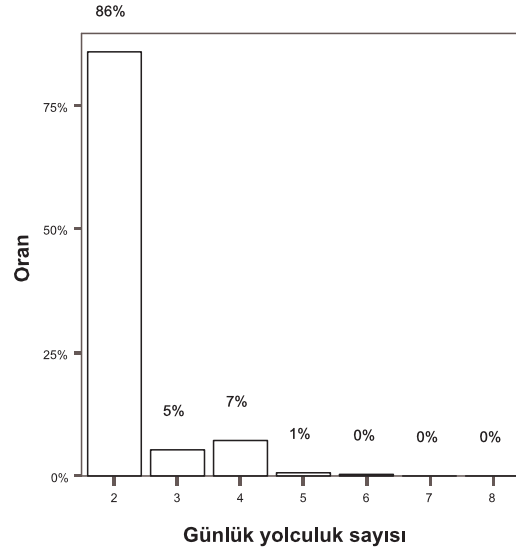
(b) Meslek oranları

Şekil C.6: Mesleklerin dağılımı

D. YOLCULUK DÜZEYİNDEKİ VERİLER

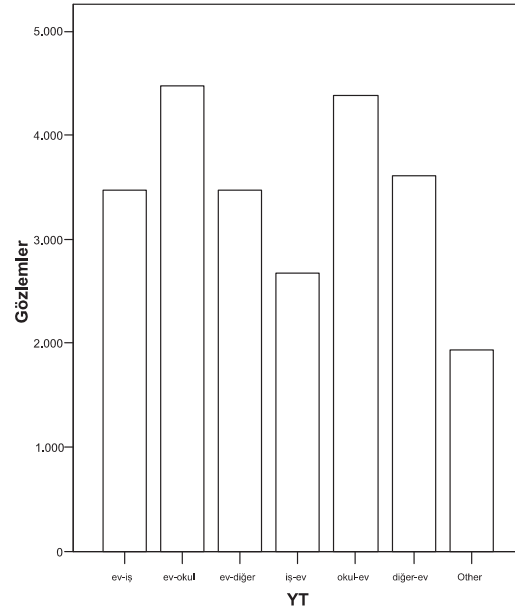


(a) Tüm örnek içindeki GYS dağılımı

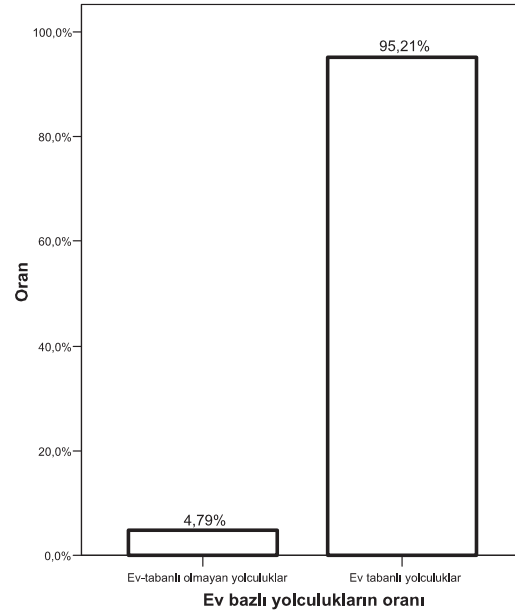


(b) Tüm örnek içindeki GYS oranları

Şekil D.1: Kişiler seviyesindeki günlük yolculuk sayısı (GYS) dağılımı



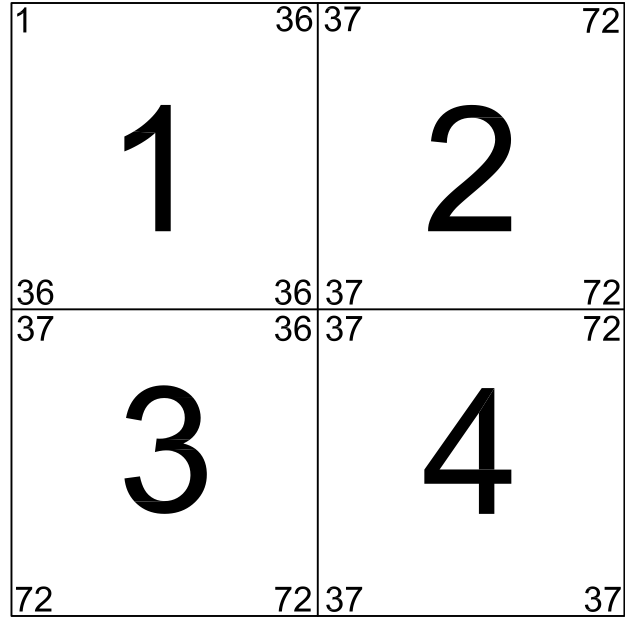
(a) Tüm örnek içindeki yolculuk türlerinin dağılımı



(b) Tüm örnek içindeki ev tabanlı yolculuklar

Şekil D.2: Yolculuk türlerinin dağılımı

E. ZAMAN VE MALİYET MATRİSLERİ



Şekil E.1: 72X72 Matrisin parçalı gösterim biçimi

Tablo E.1: Karayolu bölgeler arası zaman matrisi (1.Parça)

0	17	0	21	19	18	19	20	22	28	22	21	20	18	19	20	17	25	23	24	23	23	18	21	22	19	18	22	21	21	24	18	20	20	22
17	21	24	0	12	23	14	13	18	32	25	16	14	12	20	23	30	27	19	18	22	22	22	22	21	22	23	20	24	26	21	22	22	26	
19	22	12	0	10	12	11	16	21	16	13	11	20	15	14	11	19	15	18	17	15	19	14	14	14	15	16	19	14	16	16	15	14	14	
18	22	13	0	0	12	11	17	22	16	13	12	20	15	14	11	20	14	18	17	15	20	13	14	14	15	16	17	13	12	15	14	12	14	
19	22	14	12	12	0	13	19	24	18	15	13	22	16	15	13	20	14	20	19	17	17	20	16	16	16	17	16	14	15	18	13	14	16	
20	23	12	11	12	14	0	16	21	16	13	12	20	16	15	12	20	16	18	17	15	16	21	15	14	15	16	18	13	14	13	14	13	13	
22	22	24	19	17	19	16	0	20	20	19	14	18	20	21	15	24	22	18	20	20	21	17	19	20	21	25	20	15	14	15	18	16	15	
22	22	25	16	16	18	17	19	20	0	17	15	19	18	16	17	15	18	17	20	20	21	25	20	21	21	25	21	22	20	25	22	23	23	
21	24	15	13	13	15	13	14	20	18	0	17	15	13	0	14	20	16	17	18	15	12	13	15	14	18	18	19	18	11	12	10	12	15	
20	23	12	11	12	13	12	17	21	15	13	0	20	16	14	12	20	16	17	18	15	16	20	15	14	18	18	19	18	15	14	13	14	13	
27	30	20	20	20	22	21	20	15	19	20	20	20	20	16	0	23	21	21	21	20	21	25	24	19	21	20	25	21	22	20	24	22	21	21
19	22	17	15	15	16	16	21	24	18	18	16	17	14	21	23	17	19	15	15	20	21	25	19	21	20	18	17	16	17	20	16	17	18	
18	22	15	14	14	15	15	20	22	16	17	14	21	19	13	12	16	13	18	17	20	22	16	17	19	15	18	13	18	17	16	19	15	16	
24	26	17	15	15	17	15	13	21	20	19	12	13	17	21	20	25	18	14	14	0	14	18	19	17	13	19	19	13	14	13	18	15	14	
23	25	18	15	16	18	15	13	21	20	19	15	24	19	18	14	0	18	18	19	13	19	19	17	13	19	23	19	18	14	13	15	18	15	
23	25	21	19	20	19	20	17	25	25	19	25	20	19	22	22	22	19	18	0	19	23	19	18	17	15	23	19	18	20	19	18	22	22	
18	20	16	14	13	14	15	17	25	20	17	15	24	16	16	15	19	13	21	18	19	18	19	0	18	17	15	17	16	16	19	12	15	16	
21	25	14	14	14	16	15	19	20	15	16	13	19	16	15	21	17	17	19	18	19	23	18	18	0	18	15	21	16	16	18	17	16	16	
23	25	17	14	15	17	14	21	19	12	16	21	19	13	19	14	23	19	19	15	13	13	19	18	0	20	19	12	13	12	14	18	14	13	
19	23	16	15	15	16	16	20	21	14	18	14	20	16	18	14	0	16	18	21	20	20	23	17	15	0	19	18	17	18	20	17	17	18	
21	24	14	12	12	14	12	15	21	18	25	21	17	16	12	13	16	23	19	19	18	19	15	15	18	19	0	17	16	17	19	16	15	16	
21	23	14	12	13	14	12	15	22	18	12	13	14	17	16	12	21	16	19	15	14	18	16	16	12	17	17	0	11	14	15	12	11	15	
22	24	17	15	15	17	13	14	21	19	10	14	21	18	17	12	13	18	15	14	17	16	17	17	12	18	18	11	12	0	13	16	12	16	
24	27	15	13	13	15	17	15	15	20	19	12	16	20	19	15	24	19	18	15	14	15	20	19	17	14	19	20	13	14	13	0	18	15	14
18	21	16	14	13	13	15	18	25	19	16	15	15	18	19	12	17	18	13	21	19	18	19	12	17	16	17	16	17	16	19	0	15	17	
20	22	14	12	12	14	12	15	22	18	12	13	22	14	18	15	24	19	16	14	18	15	16	13	17	16	13	17	16	12	11	14	15	0	
21	24	15	12	13	15	12	14	21	16	12	13	18	16	16	12	12	18	11	11	11	13	18	11	11	18	12	18	11	11	13	16	12	0	
22	25	16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	0	

Tablo E.2: Karayolu bölgeler arası zaman matrisi (2.Parça)

17	23	22	20	20	20	21	19	26	24	23	21	19	25	23	26	22	20	23	18	20	23	25	23	21	27	32	23	30	22	25	21
21	26	24	23	22	23	21	22	29	29	29	25	23	21	27	25	28	22	25	23	25	20	23	25	24	25	27	30	34	33	26	27
14	14	18	15	14	14	12	17	12	19	15	19	18	12	17	20	16	16	17	17	14	18	20	25	28	23	23	23	23	23	23	26
12	12	14	16	12	12	11	14	11	19	15	18	16	11	14	20	15	19	13	14	16	14	16	16	13	16	20	25	26	23	22	20
11	15	17	12	12	12	12	15	11	20	15	18	16	11	14	20	15	19	14	16	14	16	16	14	16	16	21	25	26	24	22	21
12	17	19	14	14	14	24	17	13	22	17	20	17	13	15	22	17	21	16	15	18	14	17	18	15	18	23	27	26	25	23	22
13	14	16	14	13	13	25	19	12	15	16	18	17	11	16	19	15	18	13	15	16	16	16	14	17	20	25	27	23	23	22	23
18	17	12	18	15	15	26	20	17	17	15	17	13	13	17	19	18	13	17	17	13	17	21	13	19	18	22	28	24	27	18	25
22	20	20	24	22	21	34	21	21	19	22	21	18	20	19	21	18	20	24	19	25	22	19	21	21	16	18	36	25	28	22	33
14	14	14	14	12	11	26	20	13	15	14	14	14	19	15	17	13	16	15	14	13	17	18	13	16	15	20	24	30	22	25	27
13	14	17	13	13	13	25	19	11	19	15	18	17	11	16	20	16	18	13	15	17	18	13	16	15	18	23	28	24	25	20	26
21	19	20	22	22	21	33	20	20	17	19	19	21	19	25	19	21	18	19	24	21	19	24	19	20	21	16	20	35	24	27	25
13	19	21	16	17	16	24	22	14	20	19	15	20	18	17	19	20	22	18	16	21	16	16	21	16	20	23	28	26	26	22	24
13	17	20	15	15	16	15	24	20	13	19	18	13	19	14	20	18	20	16	17	19	16	14	20	15	20	21	26	26	24	20	24
13	14	16	14	13	13	26	19	12	15	16	17	12	16	19	15	18	14	16	15	16	17	16	14	17	20	25	27	23	23	22	25
17	23	24	20	21	20	24	26	18	24	23	19	26	24	21	27	24	27	22	25	19	20	24	21	22	28	32	25	30	23	27	24
13	19	18	16	16	16	22	22	14	20	17	15	15	22	19	22	18	17	19	13	16	19	17	17	17	24	29	24	26	22	21	22
19	16	17	20	19	19	31	18	18	15	20	18	19	17	22	18	16	21	17	22	19	17	22	19	18	19	17	21	33	22	25	31
19	17	13	18	16	16	27	21	18	18	15	18	14	18	15	14	16	18	19	14	18	22	13	20	14	18	22	29	25	28	19	26
16	15	14	16	14	14	28	20	16	16	15	16	17	16	17	16	16	12	19	21	13	18	15	18	15	18	23	29	24	27	20	27
17	17	13	17	14	14	27	21	16	17	13	16	18	17	12	16	18	17	13	18	21	14	19	14	18	14	18	23	28	25	27	19
20	22	17	20	17	18	27	25	20	22	17	20	18	21	19	21	22	20	18	18	24	18	24	18	16	23	28	29	29	29	20	27
14	18	17	15	16	15	22	23	14	19	17	15	23	19	15	23	19	21	17	16	19	12	18	17	16	23	28	24	27	23	21	22
14	14	19	16	16	15	27	18	13	15	18	13	15	18	20	18	18	13	18	18	16	18	16	13	20	20	24	29	22	22	25	26
16	15	14	15	13	13	27	21	15	16	14	17	14	15	16	14	18	20	14	18	20	14	18	15	19	24	29	25	26	20	26	20
17	21	18	17	16	16	22	25	17	22	17	18	15	19	21	20	19	15	19	15	19	14	19	14	17	23	28	24	30	25	21	21
13	16	15	13	11	11	26	21	13	16	14	13	14	18	13	14	16	18	14	16	18	14	15	15	19	24	27	25	24	20	25	24
14	16	15	13	10	11	25	21	13	16	12	13	14	18	13	14	18	16	13	14	16	18	15	16	14	20	24	27	25	24	18	25
14	15	14	12	11	11	26	21	14	15	14	14	15	16	14	14	14	13	17	12	17	18	14	16	15	18	23	28	25	25	20	26
16	15	15	16	14	14	29	20	16	16	15	16	16	17	17	15	16	16	14	13	19	21	14	18	16	18	22	30	24	26	21	28
13	18	18	15	15	15	23	23	14	19	17	14	15	21	18	14	15	17	16	19	13	17	18	15	17	23	28	24	27	23	21	22
13	16	15	12	10	11	24	21	13	13	13	13	18	13	13	18	16	12	14	15	18	15	16	15	20	24	26	25	24	19	23	21
14	15	14	13	11	11	26	21	13	13	13	13	15	18	13	15	18	13	14	17	18	14	17	16	14	19	24	28	25	24	19	25
15	16	16	15	16	13	12	22	22	19	17	14	16	18	14	16	18	14	14	17	18	19	18	15	17	20	24	28	29	26	26	21

Tablo E.3: Karayolu bölgeler arası zaman matrisi (3.Parça)

21	23	26	14	12	11	17	13	18	22	16	14	13	21	19	13	13	17	13	19	19	17	17	17	14	16	14	17	15	14	16	14	17	13	13	
17	23	21	14	12	11	17	15	17	20	16	14	14	13	21	19	13	13	17	13	19	19	17	17	17	14	16	14	17	15	14	16	14	17	13	13
23	26	14	14	15	12	17	19	16	12	20	19	14	18	20	21	20	16	24	18	17	13	14	13	17	19	14	20	18	15	15	14	16	15	18	16
22	24	19	17	17	19	16	12	17	20	19	14	18	20	21	20	16	24	18	17	13	14	13	17	19	14	20	18	15	15	14	16	15	18	16	15
23	15	12	14	12	14	12	14	12	14	21	18	11	13	21	17	16	12	20	16	19	15	13	13	17	16	12	17	14	13	14	16	15	18	16	15
14	12	14	12	14	12	14	12	14	21	18	11	13	21	17	16	12	20	16	19	15	13	13	17	16	12	17	14	13	14	16	15	18	16	15	
23	14	12	14	12	14	12	14	12	14	21	18	11	13	21	17	16	12	20	16	19	15	13	13	17	16	12	17	14	13	14	16	15	18	16	15
21	26	24	24	24	24	25	16	34	28	25	25	33	24	24	25	24	22	31	27	28	27	28	27	14	18	15	17	12	11	14	15	11	14	15	
29	19	19	21	20	20	21	20	20	21	18	20	19	20	22	20	20	26	22	18	21	20	21	25	23	18	21	18	25	20	21	20	23	21	21	21
26	29	19	19	21	20	21	20	21	16	14	11	20	14	13	12	18	14	18	18	16	16	16	20	14	13	15	14	17	14	13	13	15	14	13	14
24	28	15	16	16	18	16	17	19	17	19	14	15	18	20	19	17	25	20	15	18	16	17	22	19	15	16	17	22	15	16	15	16	19	17	16
18	21	23	17	14	15	17	14	15	22	20	14	16	22	19	18	14	23	17	15	18	16	13	17	17	18	14	20	17	14	12	13	16	17	14	
21	22	12	11	11	13	12	17	21	16	14	11	20	15	13	12	19	15	18	18	16	16	16	20	15	13	15	14	18	14	13	15	14	13	14	13
26	29	19	19	20	22	20	19	18	18	19	17	22	20	26	23	16	20	20	25	23	18	21	19	25	20	21	22	20	21	20	23	22	21	21	21
24	27	15	15	17	16	18	20	16	16	15	19	20	18	16	24	20	19	19	19	24	19	19	24	19	15	19	22	16	17	17	18	19	18	17	17
25	20	18	18	20	18	13	19	21	15	19	19	22	22	18	25	20	19	13	15	14	19	19	20	16	21	19	20	16	21	16	15	16	19	18	17
23	21	23	18	16	16	17	16	13	21	1	15	17	21	19	19	16	22	17	19	14	15	15	14	19	16	20	16	21	16	14	15	16	16	14	19
12	11	13	14	16	17	13	11	16	21	15	13	11	19	15	14	12	20	15	17	17	15	16	20	14	13	15	15	17	13	13	15	14	13	13	14
21	17	14	14	16	14	16	14	16	24	16	14	16	24	18	17	14	21	15	22	18	16	17	21	18	15	18	15	17	14	13	14	16	15	14	13
19	21	23	12	11	11	13	12	17	21	16	14	11	20	15	13	12	19	15	18	18	16	16	20	15	13	15	14	18	14	13	15	14	13	14	13
26	29	19	19	20	22	20	19	18	18	19	17	22	20	26	23	16	20	20	25	23	18	21	19	25	20	21	22	20	21	20	23	22	21	21	21
24	27	15	15	17	16	18	20	16	16	15	19	20	18	16	24	20	19	19	19	24	19	19	24	19	15	19	22	16	17	17	18	19	18	17	17
25	20	18	18	20	18	13	19	21	15	19	19	22	22	18	25	20	19	13	15	14	19	19	20	16	21	19	20	16	21	16	15	16	19	18	17
23	21	23	18	16	16	17	16	13	21	1	15	17	21	19	19	16	22	17	19	14	15	15	14	19	16	20	16	21	16	14	15	16	16	14	19
12	11	13	14	16	17	13	11	16	21	15	13	11	19	15	14	12	20	15	17	17	15	16	20	14	13	15	15	17	13	13	15	14	13	13	14
21	17	14	14	16	14	16	14	16	24	16	14	16	24	18	17	14	21	15	22	18	16	17	21	18	15	18	15	17	14	13	14	16	15	14	13
19	21	23	12	11	11	13	12	17	21	16	14	11	20	15	13	12	19	15	18	18	16	16	20	15	13	15	14	18	14	13	15	14	13	14	13
26	29	19	19	20	22	20	19	18	18	19	17	22	20	26	23	16	20	20	25	23	18	21	19	25	20	21	22	20	21	20	23	22	21	21	21
24	27	15	15	17	16	18	20	16	16	15	19	20	18	16	24	20	19	19	19	24	19	19	24	19	15	19	22	16	17	17	18	19	18	17	17
25	20	18	18	20	18	13	19	21	15	19	19	22	22	18	25	20	19	13	15	14	19	19	20	16	21	19	20	16	21	16	15	16	16	14	19
23	21	23	18	16	16	17	16	13	21	1	15	17	21	19	19	16	22	17	19	14	15	15	14	19	16	20	16	21	16	14	15	16	16	14	19
12	11	13	14	16	17	13	11	16	21	15	13	11	19	15	14	12	20	15	17	17	15	16	20	14	13	15	15	17	13	13	15	14	13	13	14
21	17	14	14	16	14	16	14	16	24	16	14	16	24	18	17	14	21	15	22	18	16	17	21	18	15	18	15	17	14	13	14	16	15	14	13
19	21	23	12	11	11	13	12	17	21	16	14	11	20	15	13	12	19	15	18	18	16	16	20	15	13	15	14	18	14	13	15	14	13	14	13
26	29	19	19	20	22	20	19	18	18	19	17	22	20	26	23	16	20	20	25	23	18	21	19	25	20	21	22	20	21	20	23	22	21	21	21
24	27	15	15	17	16	18	20	16	16	15	19	20	18	16	24	20	19	19	19	24	19	19	24	19	15	19	22	16	17	17	18	19	18	17	17
25	20	18	18	20	18	13	19	21	15	19	19	22	22	18	25	20	19	13	15	14	19	19	20	16	21	19	20	16	21	16	15	16	16	14	19
23	21	23	18	16	16	17	16	13	21	1	15	17	21	19	19	16	22	17	19	14	15	15	14	19	16	20	16	21	16	14	15	16	16	14	19
12	11	13	14	16	17	13	11	16	21	15	13	11	19	15	14	12	20	15	17	17	15	16	20	14	13	15	15	17	13	13	15	14	13	14	13
21	17	14	14	16	14	16	14	16	24	16	14	16	24	18	17	14	21	15	22	18	16	17	21	18	15	18	15	17	14	13	14	16	15	14	13
19	21	23	12	11	11	13	12	17	21	16	14	11	20	15	13	12	19	15	18	18	16	16	20	15	13	15	14	18	14	13	15	14	13	14	13
26	29	19	19	20	22	20	19	18	18	19	17	22	20	26	23	16	20	20	25	23	18	21	19	25	20	21	22	20	21	20	23	22	21	21	21
24	27	15	15	17	16	18	20	16	16	15	19	20	18	16	24	20	19	19	19	24	19	19	24	19	15	19	22	16	17	17	18	19	18	17	17
25	20	18	18	20	18	13	19	21	15	19	19	22	22	18	25	20	19	13	15	14	19	19	20	16	21	19	20	16	21	16	15	16	16	14	19
23	21	23	18	16	16	17	16	13	21	1	15	17	21	19	19	16	22	17	19	14	15	15	14	19	16	20	16	21	16	14	15	16	16	14	19
12	11	13	14	16	17	13	11	16	21	15	13	11	19	15	14	12	20	15	17	17	15	16	20	14	13	15	15	17	13	13	15	14	13	14	13
21	17	14	14	16	14	16	14	16	24	16	14	16	24	18	17	14	21	15	22	18	16	17	21	18	15	18	15	17	14	13	14	16	15	14	13
19	21	23	12	11	11	13	12	17	21	16	14	11	20	15	13	12	19	15	18	18	16	16	20	15	13	15	14	18	14	13	15	14	13	14	13
26	29	19	19	20	22	20	19	18	18	19	17	22	20	26	23	16	20																		

Tablo E.4: Karayolu bölgeler arası zaman matrisi (4.Parça)

0	16	18	13	13	13	23	20	11	17	16	11	20	17	19	17	12	15	21	16	20	15	15	17	14	15	18	13	13	17	22	26	25	24	21	22		
16	0	17	15	15	15	26	19	15	13	18	15	18	15	18	13	17	19	19	17	17	15	14	16	15	17	18	16	15	18	13	17	22	30	23	23	28	
18	17	0	18	15	15	26	20	17	17	17	13	22	17	19	18	17	13	14	16	15	14	17	15	17	15	17	16	17	16	17	22	28	24	27	18	25	
13	16	17	0	13	12	25	21	12	16	13	13	22	17	19	17	13	14	18	20	16	20	16	14	17	15	17	17	16	17	22	27	25	24	22	24		
13	15	14	13	0	10	25	21	13	16	13	13	21	17	16	14	12	14	18	13	18	15	13	14	16	17	14	15	14	19	24	27	25	24	19	25		
13	15	15	12	10	0	25	20	12	16	13	12	21	17	16	15	12	14	18	13	18	15	13	14	16	17	15	15	15	15	20	24	27	25	23	19	24	
23	28	26	25	24	25	0	32	24	29	25	24	32	21	27	25	25	23	29	27	30	27	24	27	22	26	27	26	25	32	36	18	36	29	29	24	24	
20	19	20	21	21	20	32	0	19	18	22	19	19	19	21	21	18	24	21	21	19	18	23	20	22	23	20	19	19	21	20	25	34	19	26	31	31	
17	15	17	12	13	12	24	19	0	16	15	10	20	15	18	17	11	15	20	15	19	13	14	16	14	15	17	13	17	17	20	25	26	23	21	21	23	23
17	13	17	18	16	16	30	18	16	0	18	16	17	15	18	15	18	17	16	14	16	17	16	14	15	16	16	16	18	18	22	31	22	31	22	24	23	29
16	18	15	16	13	13	25	22	15	18	0	15	22	20	16	14	15	16	18	14	18	15	15	16	15	16	20	15	18	14	20	25	27	26	26	18	24	24
11	15	17	13	13	12	24	19	10	16	15	0	20	15	18	17	11	15	20	16	19	13	15	16	15	15	15	17	13	17	20	25	26	23	21	21	31	
20	18	19	22	21	21	32	19	20	17	22	20	0	18	20	21	19	24	19	21	18	18	23	19	24	20	19	19	20	17	22	34	23	26	25	31	31	
17	15	18	17	17	17	29	19	15	15	20	15	18	0	20	20	14	20	19	19	17	14	19	18	19	18	18	16	20	19	24	31	23	24	24	28	28	
19	18	13	19	17	16	27	21	19	18	16	19	20	20	0	15	19	18	16	15	17	19	15	18	19	18	18	14	21	14	17	22	29	25	28	19	27	
17	18	13	17	14	15	25	21	17	18	14	17	21	20	15	0	17	16	17	15	17	19	17	15	16	21	14	19	12	19	24	26	27	17	24	31	31	
12	14	16	13	12	12	25	18	11	15	15	11	19	14	18	17	0	15	19	15	18	13	15	15	15	16	16	13	17	20	24	27	23	22	21	24	21	
15	18	17	14	13	13	23	24	15	19	16	15	24	20	18	16	15	0	20	16	20	18	13	17	14	19	17	18	16	22	27	25	28	25	20	23	23	
21	19	15	20	18	18	29	21	20	18	18	20	19	19	16	17	20	20	0	17	15	19	21	16	20	22	15	21	17	17	21	31	25	28	21	29	21	
17	16	14	16	14	14	27	21	16	16	14	16	21	19	15	17	16	17	17	0	17	16	14	18	21	18	21	14	18	15	19	24	29	25	27	19	26	
20	17	16	20	18	17	30	19	19	16	18	19	18	17	17	17	18	21	15	17	0	17	20	15	21	20	15	19	16	20	31	23	26	22	29	26	26	
15	13	18	16	15	15	27	18	13	14	18	13	18	14	19	19	13	18	19	17	17	0	17	18	17	18	17	14	19	19	24	29	22	22	24	27	21	
15	17	16	15	12	12	24	23	14	17	14	14	22	19	18	16	14	13	20	15	19	17	0	16	15	19	16	17	16	21	26	26	27	25	21	24	21	
17	15	13	16	14	14	27	20	16	16	15	16	19	18	15	16	18	16	14	15	17	17	17	0	18	21	12	18	14	17	22	29	24	27	19	26	26	
14	19	17	15	15	16	22	23	14	20	16	15	24	19	18	16	15	14	16	18	14	15	18	15	18	0	18	17	16	23	27	24	27	23	20	21	21	
15	18	21	17	17	17	26	20	15	19	20	15	20	18	23	21	16	19	22	20	20	17	19	12	18	0	21	15	21	22	26	28	24	20	26	25	25	
17	16	13	17	15	14	27	19	17	16	15	17	19	18	14	14	16	18	15	14	15	17	17	12	18	0	19	14	17	22	29	23	26	19	26	19	26	
13	15	19	16	15	15	26	19	13	16	18	13	19	16	20	19	13	18	21	18	19	14	17	18	17	15	18	0	19	20	25	28	23	21	24	26	26	
17	18	13	17	14	15	25	21	17	18	14	17	20	14	12	12	17	16	17	15	17	19	17	14	16	21	14	19	0	19	23	27	25	27	17	24	31	
22	19	18	22	20	19	32	20	20	18	20	20	17	19	17	19	20	23	17	19	16	19	22	17	23	22	17	20	19	0	19	33	24	27	24	31	31	
26	23	22	26	24	24	36	25	25	25	22	25	22	24	22	24	27	23	21	24	20	24	22	22	27	26	22	25	23	19	0	38	29	32	28	36	36	
25	30	28	27	26	26	18	34	26	31	29	26	34	31	29	26	27	25	31	29	31	29	26	29	24	28	29	28	27	33	38	0	38	29	32	28	36	
24	23	24	25	25	25	36	19	23	22	26	23	23	25	26	23	28	25	25	25	25	23	22	27	24	27	24	23	25	24	29	38	0	30	30	35	35	
21	23	27	24	24	24	23	29	26	21	24	26	21	26	24	28	27	22	25	28	27	26	22	25	27	23	20	26	21	27	32	31	30	0	31	30		
22	23	18	22	19	19	29	26	21	23	18	21	25	24	19	17	21	20	21	19	22	24	21	19	20	26	19	24	17	24	28	31	30	31	30	0	28	0
22	28	25	24	23	23	24	31	23	29	24	24	31	28	27	24	24	23	29	26	29	26	27	26	21	25	26	26	24	31	36	26	35	30	28	28	0	

Tablo E.5: Karayolu bölgeler arası maliyet matrisi (1.Parça)

0	57	50	42	42	36	46	63	106	70	53	47	91	41	46	46	23	37	80	68	60	59	58	34	58	55	57	25	51	51	51	60	29	48	48	55
57	0	98	89	89	89	85	93	109	118	99	95	139	91	96	94	46	72	87	128	114	106	105	104	81	106	101	107	98	97	97	107	77	94	48	55
50	98	0	19	19	27	19	41	70	34	27	17	56	40	37	19	46	31	45	46	32	36	57	30	22	32	32	48	28	30	30	27	34	27	31	102
42	89	19	0	10	19	14	35	75	39	23	16	60	32	29	15	37	23	49	40	29	30	49	22	27	26	34	40	20	22	22	29	26	20	20	24
42	89	19	10	0	19	14	35	75	39	23	16	60	32	29	15	37	23	49	40	29	30	49	22	27	26	34	40	20	22	22	29	26	20	20	24
36	85	27	19	19	0	23	43	83	47	31	24	68	31	30	23	32	22	57	48	37	38	56	17	35	34	41	36	28	30	30	37	21	28	28	32
46	93	19	14	14	23	0	35	71	40	22	18	56	36	33	11	41	27	45	40	29	30	49	26	27	26	36	43	20	22	22	25	30	19	19	24
63	109	38	35	35	43	35	0	63	58	25	40	51	56	54	34	34	62	47	48	18	24	18	41	43	46	23	57	53	26	28	34	51	31	31	29
104	152	70	73	73	81	69	63	0	78	64	73	24	94	91	70	100	85	41	64	62	65	91	84	69	69	84	68	66	73	73	64	89	71	71	68
70	118	34	39	39	47	40	61	78	0	47	34	64	45	38	40	64	47	53	66	52	56	78	50	25	52	26	69	49	51	51	20	24	38	18	14
53	100	24	22	22	30	22	25	65	44	0	26	53	43	41	21	49	35	45	30	17	20	47	31	32	15	42	45	13	20	20	24	38	18	18	14
47	95	17	16	16	24	18	41	74	34	28	0	59	37	35	19	43	28	48	46	33	36	55	27	21	32	28	46	25	28	28	28	32	25	25	29
90	138	56	59	59	67	55	51	24	64	52	59	0	80	77	56	86	71	27	54	49	52	79	70	55	56	70	86	54	61	61	52	75	59	59	55
41	91	40	32	32	31	36	57	96	45	44	37	81	0	21	36	34	17	70	62	50	51	70	35	44	47	32	51	41	43	43	50	36	41	41	45
46	96	37	29	29	30	33	54	91	38	41	35	77	21	0	34	39	22	66	59	48	49	68	34	36	44	24	53	38	41	41	47	38	38	38	42
46	94	19	15	15	23	11	34	71	40	22	19	57	36	34	0	42	27	46	39	28	29	48	26	28	25	37	42	19	21	21	25	31	19	19	23
23	72	46	37	37	32	41	62	101	64	49	43	87	34	39	42	0	30	76	67	56	57	61	31	54	53	51	32	47	49	49	55	24	46	46	51
37	87	31	23	23	22	27	48	87	47	35	28	73	17	22	27	30	0	62	53	41	42	61	26	39	38	34	45	32	34	34	41	30	32	32	36
79	127	45	48	48	48	44	48	41	53	43	47	27	69	66	45	75	60	0	53	47	50	76	59	44	48	59	76	46	52	52	43	64	51	51	47
68	114	43	40	40	48	40	18	64	63	30	45	54	61	59	39	67	52	53	0	29	23	46	48	51	28	62	58	31	33	33	39	56	36	36	34
60	107	31	29	29	37	28	24	62	50	17	32	49	50	47	28	56	41	47	29	0	21	49	37	38	22	49	51	20	26	26	28	45	24	24	21
60	106	33	30	30	38	30	18	65	53	20	35	52	51	49	29	57	42	50	23	21	0	41	38	41	17	52	50	21	23	23	31	46	25	25	24
58	104	58	51	51	56	51	41	91	77	44	57	79	73	70	50	61	64	76	46	49	41	0	50	66	45	75	49	44	37	37	57	52	47	47	48
34	81	30	22	22	17	26	43	86	50	31	27	71	35	34	26	31	26	60	48	37	37	50	0	38	33	45	30	28	29	29	40	20	27	27	32
58	106	22	27	27	35	27	49	69	25	35	21	55	44	36	28	54	39	44	54	40	44	65	38	0	33	40	29	56	36	39	39	35	43	36	39
57	104	29	26	26	34	26	23	69	49	15	30	57	47	44	25	53	38	49	28	22	17	45	34	37	0	47	48	17	23	23	29	41	21	21	19
57	107	32	34	34	41	36	59	84	26	45	28	70	32	24	37	51	34	59	64	50	54	72	45	29	49	0	63	43	46	46	45	49	43	43	47
25	71	48	40	40	40	36	43	53	69	43	46	86	51	53	42	32	45	77	58	50	49	49	30	56	45	63	0	43	41	41	57	32	39	39	47
51	97	24	20	20	28	19	26	68	44	13	25	56	41	38	19	46	32	45	31	20	21	44	28	32	17	43	42	0	17	17	24	35	15	15	15
56	102	31	24	24	33	24	28	72	50	17	30	60	46	43	24	51	37	51	33	24	23	37	33	39	19	48	47	17	0	10	31	40	20	20	21
56	102	31	24	24	33	24	28	72	50	17	30	60	46	43	24	51	37	51	33	24	23	37	33	39	19	48	47	17	10	10	31	40	20	20	21
56	103	27	25	25	33	25	27	66	44	13	28	51	46	44	24	52	37	40	32	18	22	49	33	35	18	45	47	16	22	22	0	41	20	20	17
29	77	34	26	26	21	30	51	90	55	38	32	76	36	38	31	24	30	65	56	45	46	52	20	43	42	49	32	35	38	38	44	0	35	35	39
54	100	29	23	23	31	23	27	70	49	15	28	58	44	41	22	49	35	49	32	22	21	40	31	37	17	46	45	15	13	13	29	38	0	10	19
54	100	29	23	23	31	23	27	70	49	15	28	58	44	41	22	49	35	49	32	22	21	40	31	37	17	46	45	15	13	13	29	38	10	0	19
56	104	23	25	25	33	21	37	69	42	23	24	54	46	43	21	51	37	43	42	28	32	59	36	31	27	41	53	25	32	32	23	40	30	30	0

Tablo E.6: Karayolu bölgeler arası zaman matrisi (2.Parça)

26	18	30	35	17	20	17	77	65	10	35	23	10	35	23	10	63	33	44	32	10	21	53	29	48	25	21	31	26	31	34	33	37	21	36	61	80	89	79	51	52	67
18	30	35	17	20	17	77	65	10	35	23	10	35	23	10	63	33	44	32	10	21	53	29	48	25	21	31	26	31	34	33	37	21	36	61	80	89	79	51	52	67	
18	38	43	21	28	25	73	74	19	44	32	19	71	41	52	40	33	44	32	10	29	61	37	56	33	29	39	21	38	42	30	36	70	89	76	92	60	52	54	58		
22	26	35	18	19	17	81	61	14	31	23	14	59	33	44	32	14	21	51	28	45	22	21	31	30	33	34	24	28	59	78	84	80	54	44	62						
43	41	13	36	31	28	97	64	35	45	30	35	62	50	22	29	35	32	30	20	34	40	32	21	51	56	19	45	25	48	67	100	83	75	35	78						
81	58	63	76	71	69	140	66	73	52	74	73	55	70	62	76	73	72	52	66	45	63	72	59	89	85	58	73	71	31	31	143	85	103	85	121						
47	33	61	46	48	46	106	69	39	39	52	39	66	31	70	61	39	50	73	54	67	28	50	54	55	32	57	28	57	73	92	109	87	49	73	87						
24	28	41	23	25	24	18	88	61	21	21	22	58	36	34	20	22	19	18	36	26	24	27	36	32	29	38	17	34	63	82	86	83	47	49	64						
67	44	51	62	59	57	126	52	59	38	62	59	40	56	51	64	59	60	41	54	34	49	60	47	75	71	45	58	59	25	39	129	70	88	73	107						
24	51	57	34	41	38	79	87	32	57	45	32	84	54	65	53	32	42	74	50	69	47	42	53	36	29	55	39	49	83	102	82	105	50	65	61						
23	46	54	33	38	36	84	82	29	52	42	29	79	48	63	51	29	39	71	47	66	41	39	50	38	21	53	32	47	80	100	87	100	43	62	66						
23	27	34	17	19	16	82	62	15	32	23	15	60	33	43	31	15	20	52	28	45	23	20	30	31	34	33	25	27	60	79	85	81	55	43	63						
36	57	62	39	46	44	60	92	37	62	50	37	90	60	71	51	37	35	79	55	75	52	48	58	24	47	61	49	55	89	108	64	111	69	63	42						
15	42	48	25	32	30	75	78	23	48	36	23	75	45	57	45	23	33	65	41	60	38	33	44	30	31	46	35	40	74	93	78	96	52	56	56						
56	33	48	51	51	48	115	41	48	27	54	48	29	45	56	61	48	52	46	51	39	38	52	44	64	60	43	47	56	36	55	118	59	77	70	96						
48	46	18	42	36	33	102	70	40	50	35	40	67	55	17	34	40	37	28	25	35	45	37	26	56	61	22	50	30	49	68	105	88	80	40	83						
37	34	24	30	24	22	95	63	29	37	28	29	60	42	33	32	29	26	37	22	32	32	26	15	45	49	18	37	28	46	65	98	81	67	43	75						
38	36	18	31	25	23	94	66	30	40	24	30	63	45	27	24	30	27	36	15	35	35	27	18	46	51	21	40	20	49	68	97	84	70	36	74						
59	61	41	53	47	45	92	92	51	64	39	51	90	69	50	30	51	43	58	43	61	59	48	46	48	72	47	63	34	75	95	95	111	93	38	73	50					
22	41	43	22	27	25	69	77	22	47	31	22	74	44	52	39	22	21	60	36	56	37	28	40	20	42	42	33	35	70	89	72	95	63	51	50						
35	24	49	34	36	34	94	60	27	30	40	27	58	26	58	49	27	37	62	42	55	19	37	42	43	31	45	18	44	64	83	97	79	48	60	75						
33	32	23	27	21	19	91	66	26	36	24	26	63	40	31	28	26	23	40	16	39	30	23	23	41	46	25	36	24	53	72	95	84	66	40	72						
34	39	59	40	43	41	95	75	34	45	47	34	72	40	68	56	34	44	72	52	65	34	44	53	49	19	55	25	51	79	98	98	93	36	67	77						
40	58	53	38	39	42	59	94	40	64	42	40	91	62	62	39	40	23	71	48	69	54	40	52	27	60	55	52	43	83	102	62	112	81	51	40						
27	27	26	21	15	13	85	61	20	31	18	20	58	36	35	27	20	16	43	19	39	26	16	22	35	40	25	31	23	53	72	88	79	61	39	66						
32	34	28	26	20	18	90	67	24	37	12	24	65	42	37	21	24	21	46	21	43	32	21	26	40	45	29	36	16	57	76	93	86	66	32	71						
33	24	27	26	20	18	91	56	25	27	24	25	54	36	36	43	25	22	42	21	37	28	22	20	41	46	23	33	28	51	70	94	75	63	44	71						
33	24	27	26	20	18	91	56	25	27	24	25	54	36	36	43	25	22	42	21	37	28	22	20	41	46	23	33	28	51	70	94	75	63	44	71						
25	46	51	28	35	33	65	81	26	51	39	26	78	48	60	43	26	27	68	44	63	41	36	47	13	46	50	38	44	78	97	69	99	67	55	46						
30	32	27	24	10	16	88	66	23	36	14	23	63	40	35	23	23	12	44	20	41	30	12	24	38	43	27	34	19	55	74	92	84	64	35	69						
30	32	27	24	10	16	88	66	23	36	14	23	63	40	35	23	23	12	44	20	41	30	12	24	38	43	27	34	19	55	74	92	84	64	35	69						
32	26	37	28	30	27	91	59	25	29	33	25	57	34	46	42	25	42	40	49	30	43	43	24	30	40	40	42	32	29	38	76	95	78	53	53						

Tablo E.7: Karayolu bölgeler arası zaman matrisi (3.Parça)

41	90	26	18	18	18	22	43	82	47	30	24	68	24	23	23	36	15	57	48	37	38	57	22	35	34	34	40	27	30	30	36	25	27	27	32
61	109	25	30	35	30	38	26	41	58	33	27	28	44	51	46	27	57	42	33	46	32	36	63	41	24	32	39	58	30	36	27	46	34	34	31
63	109	38	35	35	43	35	13	63	58	25	40	51	56	54	34	62	47	48	18	24	18	41	43	46	23	57	53	26	28	34	51	31	29	29	
44	90	25	17	17	21	18	37	78	46	24	23	63	34	41	33	17	39	25	52	42	30	31	50	22	34	27	40	38	21	23	32	28	21	21	25
54	100	29	23	23	31	23	27	70	49	15	28	58	44	41	22	49	35	49	32	22	21	40	31	37	17	46	45	15	13	29	38	10	10	19	
48	95	25	17	17	25	17	29	73	46	18	23	61	38	36	16	44	30	51	34	24	24	42	25	34	19	41	40	17	15	15	30	33	13	21	
45	43	86	77	77	77	81	97	141	106	87	83	127	79	84	82	60	75	116	102	93	93	92	69	94	89	95	59	86	85	85	95	65	82	82	90
95	143	61	64	72	60	64	66	69	59	64	52	85	82	61	91	76	41	70	63	66	92	75	60	64	75	92	62	69	69	59	80	67	67	63	
65	113	31	34	34	42	30	44	52	39	29	34	38	55	52	31	61	46	27	49	34	39	66	45	30	34	45	62	32	39	39	29	50	37	37	33
57	104	32	26	26	34	26	30	74	52	19	31	61	47	44	25	53	38	53	35	25	24	39	34	40	20	49	48	18	12	12	32	41	21	21	22
42	89	19	10	10	19	14	35	75	39	23	16	60	32	29	15	37	23	49	40	29	30	49	22	27	26	34	40	20	22	22	29	26	20	20	24
93	140	58	61	61	70	57	62	55	66	57	61	40	83	79	58	88	74	29	67	60	63	90	73	58	62	72	90	60	66	66	57	77	64	64	61
64	112	27	33	33	41	33	53	70	31	39	31	56	54	48	33	60	45	45	58	44	48	71	44	26	43	40	62	41	44	44	39	48	41	41	42
72	118	47	44	44	52	44	22	62	67	34	49	51	65	63	43	71	56	56	17	33	27	50	52	55	31	66	62	35	37	37	43	60	40	40	38
49	95	41	35	35	43	34	29	76	61	27	40	64	56	53	34	51	47	61	34	32	24	30	41	49	28	58	39	27	21	21	41	43	30	30	31
42	89	19	10	10	19	14	35	75	39	23	16	60	32	29	15	37	23	49	40	29	30	49	22	27	26	34	40	20	22	22	29	26	20	20	24
33	79	30	24	24	31	24	28	72	50	17	30	60	45	43	23	35	36	51	33	23	23	41	21	38	18	47	23	16	14	14	30	27	12	12	21
80	126	54	52	52	60	52	30	52	71	40	55	41	73	71	51	79	65	46	28	37	36	58	61	62	40	72	71	43	46	46	40	68	48	44	44
59	106	32	28	28	36	28	20	66	51	18	33	54	50	47	27	55	41	51	25	22	15	43	37	39	16	50	51	19	25	25	31	44	24	24	22
77	124	47	46	46	54	45	34	45	64	34	49	34	67	64	45	73	58	39	35	32	35	61	54	55	39	65	68	37	43	43	34	61	41	41	38
57	104	20	25	25	33	22	43	63	28	28	24	49	47	41	23	52	38	38	48	33	38	61	37	19	33	34	54	31	34	34	28	41	31	31	32
55	102	30	24	24	32	24	28	72	50	17	30	60	45	43	23	51	36	51	33	23	23	41	32	38	18	47	46	16	14	14	30	40	12	12	21
62	109	33	31	31	39	31	21	59	53	19	34	47	52	50	30	58	43	44	26	15	18	46	39	41	23	51	53	22	29	29	25	47	27	27	23
26	73	34	26	26	21	30	51	90	55	38	32	76	36	38	31	24	30	65	56	45	46	48	20	43	42	49	27	35	38	38	44	13	35	35	39
54	104	33	31	31	38	33	56	85	32	43	29	71	29	21	34	47	31	60	61	50	51	70	42	31	47	19	60	40	43	43	47	46	40	40	44
65	112	36	34	34	42	33	19	58	55	22	37	45	55	52	33	61	46	43	22	18	21	47	42	43	25	54	56	25	31	31	28	49	29	26	26
53	101	21	22	22	30	24	47	73	28	34	17	58	39	32	25	49	35	47	52	39	42	61	33	18	38	25	52	32	34	34	34	38	31	31	36
53	99	37	30	30	38	30	25	71	56	23	36	59	52	49	29	55	43	56	30	28	20	34	39	45	24	54	43	23	16	16	36	46	26	26	27
91	138	61	60	60	68	59	48	31	73	48	63	25	81	78	59	87	72	36	49	46	49	75	68	64	53	79	82	51	57	57	48	75	55	55	52
110	157	80	79	79	78	67	100	145	109	90	86	130	82	87	85	106	91	55	68	65	68	95	87	83	72	98	101	77	77	77	67	95	75	75	71
48	46	89	81	81	76	84	100	145	109	67	82	90	86	100	98	78	119	105	97	96	95	87	92	98	92	98	62	89	88	88	99	69	85	85	93
113	161	79	82	82	90	78	83	85	87	78	82	70	104	100	79	109	95	59	88	81	84	111	94	79	83	93	111	80	87	87	78	98	85	85	82
76	126	51	52	52	60	54	77	103	49	64	47	88	50	43	55	69	52	77	82	69	72	91	63	48	68	36	81	61	64	64	64	67	61	61	65
61	107	52	46	46	54	46	35	85	72	39	52	73	67	65	45	63	58	70	40	43	36	38	53	60	40	69	51	39	32	32	52	55	42	42	43
35	81	67	58	58	54	62	78	122	87	68	64	108	61	66	63	42	56	97	83	74	74	73	50	75	69	77	40	67	65	65	76	46	63	63	71

Tablo E.8: Karayolu bölgeler arası zaman matrisi (4.Parça)

0	38	43	20	27	25	78	73	18	43	31	18	71	40	52	40	18	29	60	36	55	33	29	39	25	31	42	30	36	70	89	81	91	53	51		
38	41	33	34	32	97	49	30	19	38	30	47	25	50	47	30	36	54	35	47	18	36	34	46	40	37	27	42	53	72	100	68	91	57	58		
43	31	37	0	21	19	78	69	17	39	25	17	66	39	46	34	17	22	54	30	49	29	22	33	28	38	35	29	63	29	63	82	81	87	59	45	
20	30	32	27	24	0	16	88	66	23	36	14	23	63	40	35	23	12	44	20	41	30	12	24	38	43	27	34	19	55	74	92	84	64	35	69	
25	33	29	19	13	0	83	67	17	37	17	17	65	39	38	25	17	14	46	22	43	28	14	27	33	38	29	29	21	57	76	86	86	59	37	64	
72	97	97	78	82	84	0	132	77	102	86	77	130	100	106	83	77	67	114	91	112	92	83	96	61	92	98	89	87	126	145	25	151	113	95	69	
78	49	64	67	64	131	0	64	43	70	64	48	61	61	63	73	77	68	63	67	56	54	68	60	80	76	59	63	73	61	80	134	34	93	86	112	
18	30	35	17	20	17	77	65	0	35	23	10	63	33	33	44	32	10	21	53	29	48	25	21	31	26	31	34	22	28	62	81	81	84	52	44	58
42	19	44	37	37	34	101	43	34	0	40	34	40	31	53	49	34	38	48	37	42	24	38	37	50	46	39	33	45	47	66	104	61	63	60	82	61
33	35	30	27	21	19	91	69	26	39	0	26	66	44	39	22	26	23	47	23	44	34	23	27	41	46	30	38	18	58	77	95	87	67	33	72	72
18	30	35	17	20	17	77	65	10	35	23	0	63	33	44	32	10	21	53	29	48	25	21	31	26	31	34	22	28	62	81	81	84	52	44	58	
69	47	62	65	64	62	128	48	61	40	67	61	0	58	70	74	61	65	59	64	53	52	65	58	77	74	56	61	70	49	68	132	67	91	83	109	
40	25	53	39	41	39	100	61	33	31	45	33	58	0	62	54	33	43	65	46	59	20	43	46	48	43	48	30	50	65	84	103	79	60	66	81	86
52	50	22	45	40	37	106	73	44	54	39	44	70	59	0	38	44	41	26	29	33	49	41	30	60	65	20	54	34	47	66	109	91	84	44	86	41
42	44	29	36	30	28	83	77	35	48	22	35	74	52	38	0	35	31	47	26	46	42	31	30	38	55	32	46	17	60	79	86	95	76	32	63	63
18	30	35	17	20	17	77	65	10	35	23	10	63	33	44	32	0	21	53	29	48	25	21	31	26	31	34	22	28	62	81	81	84	52	44	58	
32	33	28	25	12	17	67	67	24	37	16	24	64	42	37	24	24	0	45	21	42	32	13	26	22	45	28	36	20	56	75	70	85	66	36	47	
60	51	30	54	48	46	114	63	52	48	47	52	59	63	26	47	52	49	0	37	22	55	49	34	68	73	22	60	42	36	56	117	81	90	52	95	
36	35	20	30	24	22	94	67	28	38	26	28	65	43	29	26	28	25	37	0	36	33	25	20	44	49	23	38	22	50	70	97	86	68	37	75	
53	34	44	34	47	41	39	111	56	46	42	45	46	53	56	33	46	43	22	36	0	49	43	29	61	66	28	54	42	30	49	115	74	84	55	92	73
33	18	43	29	31	29	92	54	25	24	35	24	52	20	52	44	25	32	55	36	49	0	32	36	41	35	38	22	40	58	77	95	73	52	55	73	
32	33	28	25	12	17	90	67	24	37	16	24	64	42	37	24	24	13	45	21	42	32	0	26	40	45	28	36	20	56	75	93	85	66	36	70	
39	36	21	33	27	24	97	60	31	38	30	31	58	44	40	30	30	28	34	20	29	34	28	0	47	52	16	40	25	44	63	100	79	70	41	78	40
25	46	51	28	35	33	61	81	26	51	39	26	78	48	48	60	38	26	68	44	63	41	36	47	0	46	50	38	43	78	97	64	99	67	50	42	
31	40	56	38	40	38	92	76	31	46	44	31	74	43	65	53	31	41	73	49	67	35	41	52	46	0	55	26	49	80	99	95	95	37	64	74	
42	38	19	35	29	27	100	59	34	41	32	34	56	47	20	32	34	31	22	23	28	37	31	16	49	54	0	42	28	42	61	103	77	72	40	80	
30	27	47	29	31	29	89	63	22	33	35	22	61	30	56	44	22	33	60	40	54	22	33	41	38	26	44	0	40	67	86	92	82	43	56	70	
38	40	25	32	26	24	87	73	30	43	18	30	70	48	34	17	30	27	42	22	42	38	27	25	43	51	28	42	0	56	75	90	91	72	29	68	
68	53	48	61	55	53	126	61	60	47	59	60	49	65	47	60	60	57	36	50	30	58	57	44	75	80	42	67	56	0	35	129	79	97	69	106	
87	72	67	80	75	72	145	80	79	66	78	79	68	84	66	79	79	76	56	70	49	77	76	63	95	99	61	86	75	35	0	148	98	116	88	126	
87	100	100	81	85	87	25	136	81	106	89	81	133	103	109	86	81	70	117	94	115	95	87	99	64	95	102	92	90	129	149	0	154	117	98	72	104
90	68	83	86	85	83	149	34	82	61	88	82	67	79	91	95	82	86	81	85	74	73	86	79	98	95	77	82	91	79	98	152	0	112	104	130	
53	57	77	59	61	59	113	93	52	63	65	52	91	60	86	74	52	62	90	70	84	52	62	71	67	37	74	43	70	97	116	117	112	0	85	95	
54	55	35	47	42	39	95	86	46	59	33	46	83	64	44	32	46	43	52	37	55	54	43	41	50	67	40	58	29	69	88	98	104	88	0	76	
59	78	78	59	63	65	69	113	58	83	67	58	111	81	86	63	58	47	95	72	93	73	64	77	42	74	79	70	68	107	126	72	132	95	76	0	

Tablo E.9: Toplu taşıma bölgeler arası zaman matrisi (1.Parça)

0	34	43	34	34	32	37	57	72	52	44	43	67	36	44	37	25	35	60	65	41	53	55	29	49	50	48	24	43	41	41	38	25	40	40	42	
34	0	59	50	50	48	53	70	88	68	61	60	84	52	60	53	47	51	77	78	57	66	68	45	65	49	50	65	36	60	54	58	40	53	58	42	
43	59	0	25	25	29	24	41	53	28	24	22	41	42	37	24	46	43	34	49	22	38	47	30	23	33	33	36	41	21	28	20	37	26	20	40	
34	50	25	0	10	20	19	42	54	36	26	19	50	35	36	19	37	36	42	54	23	42	53	21	31	37	35	32	25	36	20	28	33	30	24	40	
34	50	25	10	0	20	19	42	54	36	26	19	50	35	36	19	37	36	42	54	23	42	53	21	31	37	35	32	25	36	20	28	33	30	24	40	
32	48	29	20	20	0	23	46	58	40	30	30	54	28	29	23	34	29	46	58	27	43	55	19	35	40	36	30	29	40	40	24	22	37	34	28	
37	53	24	19	19	23	0	41	53	35	25	25	48	43	41	12	40	39	41	52	22	41	52	24	30	36	40	35	24	34	19	32	31	29	23	23	
57	69	42	42	42	46	41	0	52	53	34	52	53	66	66	41	63	62	58	22	25	16	34	39	47	26	60	43	35	24	24	28	54	30	34	30	
71	87	52	53	53	57	52	51	0	51	45	61	21	68	65	52	74	69	33	56	36	57	75	57	51	59	57	68	47	56	39	65	55	51	45	29	
51	68	27	35	35	39	34	51	51	0	34	35	39	26	24	34	42	27	32	59	32	47	56	39	21	43	19	50	31	37	29	38	36	35	29	38	
44	61	24	26	26	30	25	34	45	35	0	36	46	50	49	25	47	46	41	44	15	33	47	31	30	28	43	41	16	29	29	8	39	27	21	16	
43	60	22	19	19	30	25	52	61	35	36	0	49	36	31	26	47	37	42	63	32	52	62	30	28	47	30	41	35	45	45	30	38	42	40	33	
67	84	41	50	50	54	48	52	21	39	45	49	0	55	53	48	71	56	20	57	37	58	71	54	39	57	45	65	45	52	52	39	62	51	50	44	
36	52	42	35	35	28	43	66	68	26	50	36	55	0	18	43	28	14	48	75	47	64	65	29	37	59	23	40	47	51	51	44	23	50	50	45	
43	60	37	36	36	29	41	65	65	24	47	31	53	18	0	42	34	19	45	73	46	61	70	32	35	56	20	48	44	51	51	43	30	50	49	43	
37	53	24	19	19	23	12	41	53	35	25	26	48	43	42	0	40	39	41	52	22	41	50	24	30	36	41	35	24	34	19	32	30	29	23	23	
25	47	46	37	37	31	40	63	75	43	47	46	70	31	36	40	0	28	63	72	44	61	63	26	52	58	40	37	46	49	49	41	22	47	47	45	
34	51	43	36	36	29	39	62	69	27	46	37	56	14	19	39	25	0	49	74	43	62	64	25	38	57	24	38	45	50	50	40	21	49	49	44	
60	77	34	42	42	46	41	57	33	32	41	42	20	48	45	41	63	49	0	62	40	55	64	47	32	50	38	58	38	45	45	37	55	44	43	37	
65	77	50	54	54	58	53	22	56	61	46	64	57	75	75	53	72	74	62	0	37	26	46	51	56	37	69	51	46	32	40	66	40	40	46	46	
41	57	22	23	23	27	22	25	37	34	15	32	38	47	47	22	44	43	40	37	0	27	45	28	28	29	41	38	17	26	26	9	35	25	22		
53	66	39	47	47	43	45	16	58	50	38	56	59	63	63	44	61	62	56	26	27	0	36	36	44	21	57	40	32	21	21	33	55	26	26	35	
56	69	47	54	54	57	53	34	76	58	45	63	71	67	72	53	64	65	64	46	45	38	0	43	53	39	66	43	39	29	29	43	58	32	32	42	
27	45	30	21	21	19	24	39	58	41	31	30	54	29	32	24	29	25	47	51	28	36	42	0	35	33	39	24	30	27	27	25	17	26	26	28	
49	65	23	31	31	35	30	47	51	22	30	28	39	39	35	30	52	40	32	55	28	44	53	35	0	39	31	46	27	33	33	25	43	32	31	25	
53	66	33	37	37	40	36	21	59	44	28	47	57	60	58	36	58	57	50	29	29	18	44	33	39	0	52	40	22	29	29	26	50	23	23	26	
47	65	35	35	35	36	40	60	57	19	42	30	45	23	20	41	39	24	38	68	41	56	65	39	30	51	0	52	39	46	46	38	34	45	44	38	
24	36	41	32	32	30	35	43	69	52	42	41	65	40	48	35	37	38	58	51	38	40	42	24	46	37	52	0	37	28	28	36	30	26	26	39	
43	60	21	25	25	29	24	30	47	32	16	35	45	48	46	24	46	45	38	38	17	27	41	30	27	22	40	35	0	24	24	14	38	21	14	14	
42	55	28	36	36	40	34	29	57	39	29	45	52	52	52	34	50	51	45	34	26	26	29	28	33	24	46	29	24	0	10	24	44	17	17	24	
42	55	28	36	36	40	34	29	57	39	29	45	52	52	52	34	50	51	45	34	26	26	29	28	33	24	46	29	24	10	0	24	44	17	17	24	
38	55	20	20	20	24	19	28	39	31	8	30	40	44	45	19	41	40	37	40	9	31	43	25	25	26	39	36	14	24	24	0	33	23	19	13	13
23	41	37	28	28	22	32	54	66	38	39	38	62	23	30	32	24	21	55	65	35	54	55	17	43	50	34	28	38	41	41	33	0	40	40	36	36
40	53	26	34	34	37	33	27	56	37	29	44	51	50	51	33	32	47	49	44	35	25	24	31	26	32	21	45	26	21	16	16	23	42	0	10	23
40	53	26	30	30	34	29	27	52	37	21	40	50	50	50	29	47	49	43	35	22	24	31	26	31	21	44	26	14	16	16	19	42	10	0	19	
42	58	20	24	24	28	23	34	46	31	17	33	44	47	44	23	45	44	37	42	15	31	43	28	25	26	38	38	14	24	24	13	23	36	23	19	0

Tablo E.10: Toplu taşıma bölgeler arası zaman matrisi (2.Parça)

41	45	57	34	40	48	30	66	34	54	41	34	77	52	67	45	34	27	56	52	55	44	40	49	20	47	48	46	43	63	78	28	69	164	64
57	61	41	28	53	26	30	82	40	25	78	54	94	68	80	58	50	39	72	65	71	60	53	65	36	63	64	63	56	79	94	29	86	164	77
42	19	41	28	26	54	40	25	28	25	51	26	49	37	25	26	49	37	25	37	36	18	26	31	31	31	30	23	34	45	60	53	43	164	55
29	27	42	19	33	27	45	48	10	36	36	10	59	34	50	43	10	29	38	41	37	26	33	31	22	30	30	22	41	45	60	44	51	164	61
29	27	42	19	33	27	45	48	10	36	36	10	59	34	50	43	10	29	38	41	37	26	33	31	22	30	30	22	41	45	60	44	51	164	61
21	31	46	20	37	34	43	52	20	40	40	20	63	38	54	45	20	27	42	42	41	30	37	35	20	35	34	32	43	49	64	42	55	164	64
36	26	41	22	31	25	48	47	19	35	34	19	58	33	49	41	19	31	37	40	36	25	31	30	25	35	29	27	39	44	59	47	50	164	60
59	43	10	36	30	38	64	64	42	53	24	42	65	50	25	29	42	30	35	21	35	42	30	25	48	61	22	54	22	43	58	64	68	164	30
36	21	51	55	55	51	82	46	53	39	56	53	50	46	48	65	53	55	30	62	27	44	55	40	59	59	36	53	62	22	29	80	50	164	71
43	26	34	29	27	21	55	47	26	35	29	26	58	33	41	37	26	27	30	32	29	25	27	23	32	44	22	36	35	37	52	54	50	164	53
38	33	52	28	42	36	54	47	19	35	45	19	59	30	59	52	19	38	47	50	46	27	42	41	31	25	40	18	50	55	70	53	51	164	71
65	29	52	52	51	50	78	34	50	26	52	50	37	34	49	61	49	51	31	61	28	32	51	41	55	46	36	41	58	23	40	77	38	164	72
24	37	66	36	50	51	47	54	35	40	51	35	63	38	73	55	35	37	61	62	60	35	50	55	23	21	54	31	53	65	80	46	57	164	74
25	35	65	37	50	49	55	51	36	38	51	36	61	33	72	60	36	45	60	60	60	33	50	54	30	16	53	26	57	63	78	54	54	164	78
36	26	41	22	30	24	48	47	19	35	34	19	58	33	49	40	19	30	37	40	36	25	30	30	25	36	29	29	38	44	59	47	50	164	59
38	48	63	37	47	51	43	69	37	57	49	37	80	55	71	53	37	34	59	60	58	47	47	52	22	38	51	48	51	66	81	41	72	164	72
25	38	62	36	49	50	46	55	36	41	50	36	64	39	70	54	36	36	58	61	57	36	49	51	21	22	50	32	52	65	80	44	58	164	73
58	22	57	45	44	43	71	27	42	19	45	42	27	27	54	54	42	44	36	54	33	24	44	46	48	39	42	34	51	31	49	70	30	164	72
71	52	22	48	40	46	72	70	54	61	32	54	69	59	18	37	54	40	34	31	39	51	40	37	59	69	26	62	30	47	63	72	74	164	42
40	24	25	26	25	21	52	45	23	34	26	23	50	31	29	36	23	25	21	31	20	23	25	13	29	42	13	35	33	28	43	51	49	164	41
61	40	16	32	26	35	61	61	47	50	21	47	71	47	29	26	46	26	39	15	41	39	26	23	48	58	28	51	19	50	65	61	65	164	34
68	49	34	48	32	40	64	69	54	58	29	54	81	55	50	25	54	32	59	40	59	47	32	41	51	66	46	59	27	67	83	64	73	164	36
24	32	39	20	26	34	40	52	21	41	27	21	64	38	48	31	21	18	42	34	41	30	26	36	13	37	35	33	29	50	65	39	56	164	50
48	21	47	33	32	31	60	37	31	26	33	31	49	23	55	42	31	32	43	42	18	32	36	37	29	35	21	40	50	65	58	41	164	60	164
54	35	21	29	23	27	61	56	37	44	29	37	67	42	32	34	37	23	42	16	43	34	23	31	43	53	33	45	27	51	66	61	59	164	42
33	29	60	43	45	44	59	43	35	32	46	35	55	25	67	55	35	45	55	55	26	45	49	34	15	48	25	52	55	72	58	47	164	73	164
41	42	43	31	26	38	31	63	32	52	28	32	75	49	54	32	31	16	53	39	52	41	26	47	24	50	46	44	30	61	76	31	67	164	51
42	23	30	28	21	14	54	44	25	32	24	25	55	30	41	31	25	21	32	26	31	22	21	25	31	41	24	33	29	39	54	53	47	164	50
53	29	29	33	17	24	50	50	36	39	10	36	62	36	36	19	35	17	41	25	40	28	17	35	37	47	34	40	16	49	64	50	54	164	37
53	29	29	33	17	24	50	50	36	39	10	36	62	36	36	19	35	17	41	25	40	28	17	35	37	47	34	40	16	49	64	50	54	164	37
37	22	28	23	23	19	49	42	20	31	24	20	52	28	35	33	20	23	24	30	23	20	23	17	26	39	16	32	30	31	46	48	46	164	47
29	39	54	28	40	42	37	60	28	49	41	28	72	46	62	45	28	27	50	52	49	38	40	43	10	33	42	41	43	57	73	36	64	164	64
51	28	27	26	10	22	47	49	34	37	16	34	61	35	37	20	34	10	40	22	39	27	10	33	34	46	32	39	18	47	62	47	53	164	39
47	27	27	26	10	14	47	48	30	37	16	30	60	34	37	20	30	10	36	22	36	26	10	30	34	45	29	38	18	44	59	47	52	164	39
41	21	34	26	23	18	53	42	24	31	24	24	54	28	42	33	24	23	30	29	29	20	23	23	30	39	22	32	30	37	53	51	46	164	51

Tablo E.11: Toplu taşıma bölgeler arası zaman matrisi (3.Parça)

39	57	42	29	29	21	36	59	71	36	71	25	40	59	67	24	47	54	33	41	42	52	52	37	29	51	47	41	
45	61	19	27	27	31	26	43	41	10	52	53	66	22	16	34	39	47	26	60	43	35	29	24	28	39	28	27	21
57	69	42	42	42	46	41	10	52	53	34	52	58	22	25	16	34	39	47	26	60	43	35	24	28	54	30	30	34
34	50	28	19	19	20	22	36	56	39	29	28	52	37	22	37	36	45	48	26	32	46	20	33	29	43	28	26	26
40	53	26	34	34	37	33	27	56	37	27	44	51	50	51	33	47	49	44	35	25	24	31	26	32	42	10	10	23
46	59	26	27	27	34	25	33	52	37	21	36	50	52	50	24	51	50	43	41	22	30	37	32	41	16	14	19	19
30	30	54	45	45	43	48	64	83	63	55	54	78	47	55	48	43	46	71	72	52	61	63	40	58	59	31	54	49
66	82	40	48	48	52	47	64	46	37	47	47	34	54	51	47	69	55	27	70	45	60	69	52	37	56	43	63	44
54	50	25	10	10	20	19	42	54	36	26	19	50	35	36	19	37	36	42	54	23	42	53	21	31	37	35	32	25
42	55	28	36	36	40	34	29	57	39	29	45	52	52	34	50	51	45	34	26	26	29	28	33	24	46	29	24	10
34	50	25	10	10	20	19	42	54	36	26	19	50	35	36	19	37	36	42	54	23	42	53	21	31	37	35	32	25
77	94	51	59	59	63	58	64	50	47	58	59	37	63	61	58	79	64	27	69	49	70	81	64	49	67	55	75	55
52	68	26	34	34	38	33	50	46	22	33	30	34	38	33	33	54	39	27	58	31	46	55	38	23	42	25	49	30
67	80	49	50	50	54	49	25	48	60	41	59	49	73	74	49	71	70	54	18	29	29	50	48	55	36	68	53	43
46	59	37	44	44	47	43	34	66	48	34	53	61	57	62	43	54	55	54	43	35	31	25	33	42	29	56	33	28
34	50	25	10	10	20	19	42	53	36	26	19	49	35	36	19	37	36	42	53	23	42	53	21	31	37	35	31	25
27	39	26	29	29	27	32	27	56	37	27	38	51	37	45	32	34	36	44	35	25	24	31	18	32	21	45	16	16
56	73	38	38	38	42	37	35	30	49	30	48	31	62	63	37	59	58	36	34	21	39	59	43	43	42	57	54	31
55	68	39	43	43	42	42	20	61	50	34	53	62	64	64	42	62	62	56	28	31	15	41	34	45	16	58	41	28
54	70	35	36	36	40	35	34	27	46	28	45	28	60	60	35	57	56	33	39	19	40	58	41	41	42	54	51	30
44	60	18	26	26	30	25	42	44	19	25	27	32	35	33	25	47	36	24	50	23	38	47	30	18	34	26	41	22
40	53	26	34	34	37	33	27	56	37	27	44	51	50	51	33	47	49	44	35	25	24	31	26	32	21	45	26	21
49	65	31	31	31	35	30	25	41	42	23	41	42	55	55	30	52	51	47	37	13	23	41	36	36	34	49	47	25
20	36	31	22	22	20	25	48	59	38	32	31	55	23	30	25	23	21	48	59	29	48	50	13	37	43	33	30	23
46	63	31	30	30	35	35	61	59	21	44	25	46	21	16	36	37	22	39	69	42	57	66	37	29	53	15	50	41
48	64	30	30	34	29	22	36	41	22	40	37	54	54	29	51	50	42	26	13	28	46	35	35	33	48	46	24	34
46	63	23	22	22	32	27	53	53	27	36	18	41	31	26	29	47	32	34	61	35	50	59	33	21	45	25	44	33
44	57	33	41	41	44	40	27	62	44	32	50	57	34	24	27	31	38	27	51	31	26	15	15	29	46	20	20	29
62	78	44	44	44	48	43	42	29	64	36	54	23	65	63	43	65	64	31	47	27	49	67	49	49	50	55	60	38
77	94	59	59	59	63	58	57	29	64	51	69	40	80	78	58	80	79	49	63	42	64	82	64	64	65	72	75	63
28	29	53	44	44	42	47	64	81	62	54	53	77	46	54	47	41	44	70	72	51	61	63	39	58	58	31	53	48
69	86	43	51	51	55	50	68	50	41	50	51	38	57	54	50	72	58	30	74	49	64	73	56	41	59	47	67	47
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
65	78	54	61	61	65	60	30	72	65	53	71	73	75	78	74	71	42	41	34	36	51	59	44	72	52	47	52	47
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tablo E.12: Toplu taşıma bölgeler arası zaman matrisi (4.Parça)

0	44	59	29	51	45	53	64	29	50	52	29	73	48	67	57	29	38	55	58	54	43	51	48	28	31	47	41	55	62	77	52	67	X	75	X		
44	0	43	29	28	37	56	64	27	27	16	29	27	39	18	51	39	27	28	39	38	58	54	43	51	48	28	31	47	41	55	62	77	52	67	X	75	X
59	43	0	36	30	38	64	64	42	53	24	42	65	50	25	29	42	30	35	21	35	42	30	25	48	61	22	54	22	54	22	54	22	54	22	54	22	54
29	36	0	26	27	45	50	19	39	32	19	62	36	45	36	18	26	40	31	39	28	26	34	21	38	33	31	34	31	34	31	34	31	34	31	34	31	
51	28	27	26	0	22	47	49	34	37	16	34	61	35	37	20	34	10	40	22	39	27	10	33	34	46	32	32	39	18	47	62	47	53	X	39	X	
45	27	33	27	16	0	53	48	27	37	22	27	60	34	43	26	27	16	36	28	36	26	16	30	36	45	29	38	24	44	59	53	52	X	45	X		
54	56	64	45	47	59	0	77	45	65	49	45	88	63	75	53	45	34	67	60	66	55	47	60	31	58	59	57	51	74	89	20	80	X	72	X		
64	27	64	50	49	48	77	0	48	25	50	48	41	32	63	59	48	49	45	59	41	37	26	33	31	22	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
29	27	42	19	33	27	45	48	0	36	36	10	59	34	50	43	10	29	38	41	37	18	37	42	42	33	41	28	45	37	53	64	28	X	66	X		
53	29	29	33	17	24	50	50	36	39	0	36	62	36	36	19	35	17	41	25	40	28	17	35	37	47	34	40	16	49	64	50	54	X	37	X		
29	27	42	19	33	27	45	48	10	36	36	0	59	34	50	43	10	29	38	41	37	26	33	31	22	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
73	39	64	62	61	60	88	41	59	36	62	59	0	44	61	71	59	61	43	71	40	41	61	53	65	56	49	51	68	41	56	87	44	X	84	X		
48	18	50	36	35	34	63	32	34	21	36	34	44	0	58	45	34	35	46	45	45	16	35	39	40	27	38	22	42	45	61	61	36	X	63	X		
67	51	25	45	39	47	74	63	50	58	35	50	61	58	0	40	49	39	27	33	32	50	39	31	55	69	18	61	33	40	55	74	66	X	46	X		
58	39	34	37	22	30	54	59	44	48	19	44	71	45	45	0	44	22	50	30	49	37	22	43	41	56	42	49	17	57	72	54	63	X	38	X		
29	27	42	18	33	27	45	48	10	36	35	10	59	34	49	43	0	29	38	41	37	26	33	31	22	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
38	28	27	26	10	22	34	49	29	37	16	29	61	35	37	20	29	0	40	22	39	27	10	33	21	46	32	39	18	47	62	34	53	X	39	X		
55	40	35	41	41	37	67	45	38	40	42	38	43	46	27	51	38	41	0	40	14	38	41	25	44	57	20	50	47	22	37	66	48	X	55	X		
60	41	20	31	25	33	62	62	43	50	26	43	73	48	30	31	43	25	40	0	45	40	25	28	47	59	31	51	23	53	68	62	65	X	38	X		
53	37	34	38	38	34	65	41	36	37	39	36	40	44	32	49	36	38	14	45	0	36	38	23	42	55	19	48	46	19	34	63	45	X	54	X		
43	13	42	28	27	26	55	30	26	18	28	26	41	16	50	37	26	27	38	37	0	27	31	32	27	30	19	34	42	58	53	33	X	55	X			
51	28	27	26	10	22	47	49	34	37	16	34	61	35	37	20	34	10	40	22	39	27	0	33	34	46	32	39	18	47	62	47	53	X	39	X		
48	32	25	34	33	29	60	53	31	42	34	31	54	39	31	39	31	33	25	28	24	31	33	0	37	50	13	43	32	32	47	59	57	X	37	X		
28	33	48	21	34	36	31	54	22	42	35	22	65	40	55	40	22	21	44	47	43	32	34	37	0	33	36	34	37	51	66	30	57	X	58	X		
31	30	61	38	46	45	58	45	30	33	47	30	56	27	69	56	30	46	57	56	56	27	46	50	33	0	49	20	53	57	73	56	48	X	74	X		
47	31	22	33	32	28	59	51	30	41	34	30	49	38	18	41	30	32	20	31	20	30	32	13	36	49	0	42	34	28	43	58	54	X	42	X		
41	25	53	31	39	38	57	39	22	28	40	22	51	22	61	49	22	39	49	48	48	19	39	43	34	20	42	0	46	51	68	56	43	X	67	X		
56	34	27	35	20	28	52	55	41	44	15	41	67	41	41	17	40	20	46	28	45	33	20	37	39	52	39	45	0	54	69	52	59	X	31	X		
61	40	42	47	46	43	73	42	44	37	48	44	41	45	40	57	44	46	22	53	19	42	46	31	50	57	27	51	54	0	28	72	46	X	63	X		
76	56	57	62	62	58	88	58	59	53	63	59	56	61	55	72	59	62	37	68	34	58	62	46	65	73	42	68	69	28	0	87	61	X	78	X		
53	54	64	43	47	57	20	75	44	64	48	44	64	48	74	53	43	64	65	60	64	53	47	59	30	56	50	73	88	0	79	X	71	X	78	X		
67	31	68	54	53	52	80	19	51	28	54	51	44	36	66	63	51	53	48	63	45	33	53	57	57	48	54	43	60	46	61	79	0	X	81	X		
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
77	55	30	56	40	49	73	76	61	65	36	61	85	62	46	38	61	40	55	38	55	54	40	37	60	73	42	66	31	63	79	73	80	X	0	X	0	

Tablo E.13: Toplu Taşıma bölgeler arası maliyet matrisi (1.Parça)

0	4	4	7	8	5	4	8	8	9	5	4	0	9	7	11	4	13	11	4	4	8	5	6	4	11	4	11	4	4	11	9	4	4	5
4	4	5	12	9	7	0	9	10	9	5	5	0	10	9	9	14	5	12	9	5	5	14	5	9	9	9	9	4	4	9	9	0	0	5
4	4	5	0	0	0	0	5	7	4	4	5	0	5	4	4	4	0	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	4	5	0	0	0	0	4	5	4	4	1	0	4	5	0	0	4	5	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	4	5	0	0	0	0	4	5	4	4	1	0	4	5	0	0	4	5	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	4	5	0	0	0	0	4	5	4	4	1	0	4	5	0	0	4	5	0	0	1	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	12	0	0	0	0	0	4	10	5	4	0	5	4	4	4	0	4	4	4	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	9	4	0	0	0	0	10	6	14	4	4	0	9	13	5	9	4	8	9	4	4	10	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
5	6	0	0	0	0	0	10	9	4	4	0	5	4	8	4	0	4	5	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	5	0	0	0	0	0	4	7	5	4	0	5	4	4	2	0	4	5	0	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	9	0	0	0	0	0	0	14	9	6	3	9	9	13	5	4	8	9	4	4	4	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
8	10	5	5	5	5	5	14	0	13	13	5	10	13	5	12	10	13	10	5	5	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
9	10	5	4	4	4	4	9	13	0	4	5	7	3	12	7	5	9	10	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
6	13	8	4	4	4	4	6	13	4	0	6	5	4	4	1	0	4	5	0	0	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
4	5	0	0	0	0	0	0	3	5	6	0	5	4	4	1	0	4	5	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	10	4	4	4	4	4	8	9	4	4	4	0	4	8	7	4	9	9	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
7	8	4	4	4	4	4	13	4	4	4	4	7	0	12	5	4	9	10	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
11	14	4	0	0	0	0	5	4	0	12	3	8	12	0	9	3	8	8	3	3	8	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
4	5	0	0	0	0	0	4	10	5	4	0	5	4	4	0	0	4	4	5	4	4	9	9	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
13	12	4	1	1	1	1	5	13	11	9	3	12	9	8	4	0	4	0	6	4	4	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	9	5	5	5	5	5	9	10	10	9	5	10	10	9	4	4	4	7	5	0	9	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
4	5	0	0	0	0	0	4	5	4	4	0	5	4	4	4	0	4	5	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	9	0	0	0	0	0	5	4	4	5	0	5	4	4	4	0	4	5	0	0	9	9	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
6	14	5	5	5	5	5	10	6	10	4	6	5	4	4	9	5	3	9	5	5	0	9	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
6	4	0	0	0	0	0	4	5	4	4	0	5	4	4	4	0	4	5	0	0	9	9	0	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
4	5	0	0	0	0	0	4	5	7	4	0	10	9	4	4	0	4	5	7	0	4	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	9	0	0	0	0	0	4	5	4	4	0	10	9	4	4	0	4	5	7	0	4	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	5	2	2	2	2	2	7	9	2	6	7	5	4	6	4	0	7	9	2	2	2	4	5	6	2	9	9	9	9	9	9	9	9	
4	5	0	0	0	0	0	4	5	8	4	0	10	10	4	4	0	4	5	7	0	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
11	9	0	0	0	0	0	4	5	7	4	0	9	6	4	4	0	4	5	7	0	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
4	5	0	0	0	0	0	4	5	4	4	0	5	4	4	4	0	4	5	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tablo E.14: Toplu Taşıma bölgeler arası maliyet matrisi (2.Parça)

9	4	7	4	4	5	9	4	11	4	5	4	6	4	13	4	4	4	13	4	4	5	4	8	11	7	8	5	9	0	11	0	
9	4	5	12	5	9	10	5	9	5	4	5	12	5	10	5	10	5	10	5	10	5	14	5	9	9	9	9	10	9	0	9	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	4	5	0	0	5	4	5	0	5	0	5	4	0	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	4	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	9	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	4	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	4	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	4	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	5	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	4	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	5	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	4	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	5	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	4	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	5	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	4	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	5	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	4	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	5	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	4	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	5	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	4	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	5	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	4	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	5	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	4	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	5	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	4	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	5	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	4	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	5	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	4	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	5	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	4	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	5	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	4	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	5	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	4	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	5	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	4	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	5	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	4	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	5	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	4	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	5	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	4	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	5	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	4	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	5	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	4	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	5	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	4	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	5	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	4	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	5	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	4	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	5	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	4	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	5	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	4	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	5	0	4	5	4	4	5	5	0	4	0
4	0	0	0	0	5	5	0																									

Tablo E.16: Toplu taşıma bölgeler arası maliyet matrisi (4.Parça)

[illegible]

F. MODEL VERİLERİ

Tablo F.1: Düşük gelir grubuna (DGG) ait çözümlemede kullanılan veriler

VN	KK	SN	HHS	YAŞ	İK	GYS	YN	B	H	BA	HA	Δ YZ	Δ M	ST	TST
1	105	16	4	22	1	2	1	16	57	11	22	-18	4.5	2	1
2	106	16	4	49	1	4	1	16	57	11	22	-18	4.5	2	1
3	107	16	4	26	1	4	1	16	57	11	22	-18	4.5	2	1
4	164	16	1	29	1	4	1	16	63	11	22	-13	3.3	6	0
5	472	40	4	33	1	2	1	40	27	11	22	-26	3.4	7	0
6	732	59	3	35	1	2	1	59	32	11	22	-8	3	2	1
7	818	11	3	33	1	6	1	11	39	11	22	-20	2.5	2	1
8	919	30	4	40	1	4	1	30	36	11	22	-9	2.1	7	0
9	944	31	3	44	1	2	1	31	17	11	22	-28	4.1	5	0
10	1274	38	6	46	1	5	1	38	13	11	22	-10	3.9	2	1
11	1298	38	2	23	1	2	1	38	10	11	22	-5	2.9	7	0
12	1299	38	2	38	1	4	1	38	10	11	22	-5	2.9	7	0
13	1686	3	3	47	1	2	1	3	38	11	22	-5	2.5	6	0
14	1871	3	1	26	1	2	1	3	63	11	22	-13	3.7	5	0
15	2131	58	3	48	1	2	1	58	58	11	22	0	0	2	1
16	2133	58	3	21	6	2	1	58	58	11	22	0	0	5	0
17	2298	58	1	31	1	4	1	58	24	11	22	-13	3.7	2	1
18	2809	25	3	37	1	2	1	25	57	11	22	-24	5.5	2	1
19	2840	25	7	30	1	2	1	25	36	11	22	-9	3.9	5	0
20	2841	25	7	26	1	2	1	25	57	11	22	-24	5.5	5	0
21	3051	62	3	45	1	2	1	62	43	11	22	-32	7.8	2	1
22	7652	60	5	44	1	2	1	60	36	11	22	-5	2.3	2	1
23	3124	62	3	36	1	2	1	62	36	11	22	-20	3.9	2	1
24	3126	62	3	43	1	5	1	62	1	11	22	-26	4.8	2	1
25	3303	64	4	34	1	2	1	64	21	11	22	-17	3.4	7	0
26	3627	6	6	22	1	2	1	6	38	11	22	-14	3.8	6	0
27	3857	14	4	46	1	2	1	14	62	11	22	-5	2.5	2	1
28	4364	61	4	34	1	2	1	61	54	11	22	-7	2.2	7	0
29	4395	61	3	53	1	2	1	61	43	11	22	-9	5.6	7	0
30	4844	17	4	35	1	2	1	17	57	11	22	-31	7.1	7	0
31	4877	17	4	30	1	2	1	17	64	11	22	-27	4	2	1
32	4997	17	3	22	1	2	1	17	43	11	22	-19	5.3	2	1
33	5009	17	2	36	1	2	1	17	66	11	22	-38	8.1	2	1
34	5031	17	7	32	1	2	1	17	7	11	22	-20	3.7	7	0
35	5094	17	7	45	1	2	1	17	43	11	22	-19	5.3	2	1
36	5095	17	7	16	1	2	1	17	43	11	22	-19	5.3	2	1
37	5108	17	4	37	1	2	1	17	57	11	22	-31	7.1	7	0
38	5117	17	3	34	1	2	1	17	51	11	22	-46	6.3	7	0
39	5122	17	2	33	1	2	1	17	43	11	22	-19	5.3	7	0
40	5179	17	4	27	1	2	1	17	40	11	22	-17	3.5	7	0
41	5359	18	5	31	1	4	1	18	17	11	22	-8	2.3	7	0
42	5423	18	3	30	1	2	1	18	10	11	22	-9	4.3	2	1

VN:Veri no, KK:Kişi kodu, SN:Sokak no, HHS:Hane halkı sayısı, YAŞ:Yaş, İK:İş kodu, GYS:Günlük yolculuk sayısı, YN:Yolculuk numarası

B:Başlangıç bölgesi, H:Hedef bölgesi, BA:B. Amacı (11=ev,22=iş),HA:Hedef amacı, Δ YZ:yolculuk zamanı farkı, Δ M:Maliyet farkı

ST:Seçilen tür (2=özel araç, 5=minibüs, 6=otobüs, 7=özel halk otobüsü), TST: Top. seçim türü (0=toplulu taşıma,1=özel araç)

devamı var....

Tablo F.1 'den devam

VN	KK	SN	HHS	YAŞ	İK	GYS	YN	B	H	BA	HA	Δ YZ	Δ M	ST	TST
43	5497	18	4	39	1	2	1	18	46	11	22	-21	3.9	2	1
44	5636	23	3	32	1	2	1	23	28	11	22	-24	4.4	2	1
45	5668	23	2	30	1	2	1	23	57	11	22	-38	5.7	2	1
46	5710	23	3	38	1	2	1	23	18	11	22	-45	5.4	2	1
47	5752	24	4	35	1	2	1	24	10	11	22	-21	5	2	1
48	5775	24	4	39	1	2	1	24	64	11	22	-16	2.9	2	1
49	6110	24	2	35	2	2	1	24	43	11	22	-18	6.4	2	1
50	6158	24	3	35	1	2	1	24	63	11	22	-17	4.2	2	1
51	6360	28	5	35	1	2	1	28	1	11	22	-6	1.9	2	1
52	6371	52	5	41	1	2	1	52	58	11	22	-18	3.7	6	0
53	6456	52	3	47	1	2	1	52	61	11	22	-25	3.3	2	1
54	6467	52	2	27	1	2	1	52	43	11	22	-29	7.4	2	1
55	6560	47	4	43	1	6	1	47	57	11	22	-22	4.4	2	1
56	6783	65	4	37	1	2	1	65	16	11	22	-24	2.5	2	1
57	6868	65	2	27	1	2	1	65	16	11	22	-24	2.5	6	0
58	6919	20	4	38	1	2	1	20	32	11	22	-25	3.9	2	1
59	6974	20	4	35	1	2	1	20	36	11	22	-26	3.4	2	1
60	7088	20	4	34	1	2	1	20	62	11	22	-47	5.2	7	0
61	7133	20	4	47	1	2	1	20	28	11	22	-32	4.9	2	1
62	7134	20	4	19	1	2	1	20	43	11	22	-45	8.8	6	0
63	7251	26	4	31	1	2	1	26	32	11	22	-12	2.9	7	0
64	7342	26	4	35	1	2	1	26	36	11	22	-9	1.9	2	1
65	7411	60	2	32	1	2	1	60	32	11	22	-4	2.5	2	1
66	7412	60	2	31	1	2	1	60	34	11	22	-18	2.7	2	1
67	7449	60	4	19	1	2	1	60	17	11	22	-28	5.3	7	0
68	7497	22	3	35	1	2	1	56	11	11	22	-21	1.8	2	1
69	7498	22	3	35	1	2	1	56	11	11	22	-21	1.8	2	1
70	7930	51	1	26	1	2	1	51	29	11	22	-27	3.1	5	0
71	8195	63	3	34	1	2	1	63	63	11	22	0	0	2	1
72	8215	55	3	35	1	2	1	55	65	11	22	-30	3.7	7	0
73	8222	55	4	37	1	2	1	55	18	11	22	-36	6.1	6	0
74	8287	55	3	39	1	2	1	55	7	11	22	-18	5.2	6	0
75	8348	55	3	40	1	2	1	55	44	11	22	-24	5.4	6	0
76	8360	55	3	22	1	2	1	55	7	11	22	-18	5.2	2	1
77	8387	55	4	38	1	2	1	55	42	11	22	-19	4.6	7	0
78	8408	55	5	49	1	2	1	55	32	11	22	-7	4	5	0
79	8435	55	2	26	5	5	1	55	49	11	22	-24	5.5	2	1
80	8477	55	2	25	1	2	1	55	7	11	22	-18	5.2	6	0
81	8478	55	2	26	1	2	1	55	7	11	22	-18	5.2	6	0
82	8508	8	2	27	1	2	1	8	36	11	22	-15	2.9	2	1
83	8527	8	2	31	1	2	1	8	34	11	22	-14	2.7	2	1
84	8557	8	4	45	1	2	1	8	40	11	22	-18	3.2	2	1
85	8575	8	4	36	1	2	1	8	7	11	22	-25	3.5	6	0
86	8634	63	4	35	1	2	1	63	2	11	22	-39	10.7	2	1
87	8739	63	4	30	1	2	1	63	44	11	22	-32	5.3	5	0
88	8848	66	4	35	1	4	1	66	13	11	22	-7	1.5	2	1
89	8945	9	4	36	1	3	1	9	57	11	22	-9	4.1	2	1
90	8950	9	3	32	1	2	1	9	57	11	22	-9	4.1	2	1
91	9107	9	4	36	1	2	1	9	13	11	22	-6	1.8	2	1
92	9217	13	3	32	1	2	1	13	15	11	22	-32	6.4	2	1
93	9282	13	5	42	1	2	1	13	57	11	22	-10	2.4	2	1

VN:Veri no, KK:Kişi kodu, SN:Sokak no, HHS:Hane halkı sayısı, YAŞ:Yaş, İK:İş kodu, GYS:Günlük yolculuk sayısı, YN:Yolculuk numarası

B:Başlangıç bölgesi, H:Hedef bölgesi, BA:B. Amacı (11=ev,22=iş),HA:Hedef amacı, Δ YZ:yolculuk zamanı farkı, Δ M:Maliyet farkı

ST:Seçilen tür (2=özel araç, 5=minibüs, 6=otobüs, 7=özel halk otobüsü), TST: Top. seçim türü (0=toplu taşıma,1=özel araç)

devamı var....

Tablo F.1 'den devam

VN	KK	SN	HHS	YAŞ	İK	GYS	YN	B	H	BA	HA	Δ YZ	Δ M	ST	TST
94	9299	13	3	20	1	2	1	13	36	11	22	-23	5	6	0
95	9520	19	2	28	1	2	1	19	43	11	22	-40	10.7	6	0
96	9567	19	4	49	1	2	1	19	42	11	22	-24	4.5	6	0
97	9574	19	2	41	1	2	1	19	36	11	22	-18	4.4	6	0
98	9602	19	4	34	1	4	1	19	11	11	22	-24	4	2	1
99	9677	19	5	20	1	2	1	19	36	11	22	-18	4.4	7	0
100	9741	19	4	29	1	2	1	19	19	11	22	0	0	2	1
101	9745	19	4	31	1	2	1	19	46	11	22	-4	2.4	2	1
102	9862	19	3	27	1	2	1	19	32	11	22	-19	4	7	0
103	9863	19	3	42	1	2	1	19	57	11	22	-17	3.5	2	1
104	9871	57	5	39	1	2	1	57	57	11	22	0	0	2	1
105	10139	13	4	45	1	6	1	13	3	11	22	-21	5.1	2	1
106	10221	57	5	39	1	2	1	57	32	11	22	-6	3.4	2	1
107	10610	44	3	34	1	2	1	44	13	11	22	-14	4.2	2	1
108	10697	44	4	42	1	2	1	44	61	11	22	-31	7.5	6	0
109	10736	46	4	40	1	2	1	46	58	11	22	-4	2.1	2	1
110	10821	46	4	20	5	2	1	46	36	11	22	-15	3	7	0
111	10870	46	3	31	1	2	1	46	57	11	22	-21	3.4	2	1
112	10908	19	1	34	1	2	1	50	46	11	22	-6	2.8	6	0
113	10967	19	4	34	1	2	1	50	19	11	22	-11	4.1	5	0
114	11016	7	3	40	6	2	1	7	7	11	22	0	0	5	0
115	11093	32	1	27	1	2	1	32	10	11	22	-12	4.4	2	1
116	11110	7	5	13	5	2	1	32	63	11	22	-2	2.3	5	0
117	11114	7	4	15	4	2	1	32	6	11	22	-7	3.3	2	1
118	11121	16	5	15	4	2	1	51	32	11	22	-19	3.9	2	1
119	11126	16	5	10	3	2	1	9	60	11	22	-21	5.5	7	0
120	11131	34	5	16	4	2	1	9	57	11	22	-9	4.1	2	1
121	11138	34	4	27	3	4	1	13	7	11	22	-27	5	5	0
122	11145	40	4	18	4	2	1	57	55	11	22	1	2.2	6	0
123	818	11	3	33	1	6	3	11	39	11	22	-20	2.5	2	1

Tablo F.2: Orta gelir grubuna (OGG) ait çözümlemede kullanılan veriler

VN	KK	SN	HHS	YAŞ	İK	GYS	YN	B	H	BA	HA	Δ YZ	Δ M	ST	TST
1	348	40	3	34	1	2	1	40	1	11	22	-14	4	2	1
2	355	40	4	38	1	2	1	40	51	11	22	-26	4	2	1
3	458	40	6	29	1	2	1	40	28	11	22	-14	4	2	1
4	521	40	2	36	1	2	1	40	56	11	22	-15	3	7	0
5	948	31	2	33	1	2	1	31	19	11	22	-27	5	2	1
6	1041	32	2	31	1	2	1	32	63	11	22	-2	2	7	0
7	1059	32	2	32	1	2	1	32	9	11	22	-19	6	5	0
8	1060	32	2	32	1	3	1	32	57	11	22	-7	4	2	1
9	1073	32	3	22	1	3	1	32	57	11	22	-7	4	6	0
10	1074	32	3	24	1	4	1	32	57	11	22	-7	4	6	0
11	1206	36	2	22	1	2	1	36	28	11	22	-19	5	2	1
12	1207	36	2	22	1	2	1	36	28	11	22	-19	5	2	1
13	1255	38	2	31	1	2	1	38	36	11	22	-6	3	2	1
14	1256	38	2	30	1	4	1	38	36	11	22	-6	3	2	1
15	1256	38	2	30	1	4	3	38	36	11	22	-6	3	2	1
16	1264	38	3	40	1	2	1	38	63	11	22	-15	4	5	0

VN:Veri no, KK:Kişi kodu, SN:Sokak no, HHS:Hane halkı sayısı, YAŞ:Yaş, İK:İş kodu, GYS:Günlük yolculuk sayısı, YN:Yolculuk numarası

B:Başlangıç bölgesi, H:Hedef bölgesi, BA:B. Amacı (11=ev,22=iş),HA:Hedef amacı, Δ YZ:yolculuk zamanı farkı, Δ M:Maliyet farkı

ST:Seçilen tür (2=özel araç, 5=minibüs, 6=otobüs, 7=özel halk otobüsü), TST: Top. seçim türü (0=toplu taşıma,1=özel araç)

devamı var....

Tablo F.2 'den devam

VN	KK	SN	HHS	YAŞ	İK	GYS	YN	B	H	BA	HA	Δ YZ	Δ M	ST	TST
17	1309	38	3	35	1	2	1	38	43	11	22	-28	9	2	1
18	1310	38	2	30	1	2	1	38	63	11	22	-15	4	2	1
19	1311	38	2	28	1	2	1	38	63	11	22	-15	4	2	1
20	1664	3	4	40	1	4	1	3	58	11	22	-5	2	2	1
21	1704	3	1	24	1	2	1	3	43	11	22	-28	8	2	1
22	1751	3	3	25	1	2	1	3	21	11	22	-6	3	5	0
23	2156	58	4	38	1	4	1	58	62	11	22	-10	3	7	0
24	2157	58	4	40	1	6	4	58	7	11	22	-11	2	2	1
25	2167	58	4	35	1	2	1	58	55	11	22	-19	6	5	0
26	2212	58	5	45	1	2	1	58	43	11	22	-28	9	2	1
27	2294	58	5	42	1	2	1	58	42	11	22	-11	3	7	0
28	2311	58	4	36	1	4	1	58	7	11	22	-11	2	2	1
29	2454	58	3	39	1	2	1	58	64	11	22	-5	2	2	1
30	2571	10	4	38	1	2	1	10	10	11	22	0	0	2	1
31	2576	10	2	31	1	2	1	10	28	11	22	-29	7	2	1
32	2579	10	2	33	1	2	1	10	57	11	22	-27	7	2	1
33	2580	10	2	34	1	4	1	10	36	11	22	-11	5	2	1
34	2592	10	3	37	1	4	1	10	58	11	22	-4	3	2	1
35	2594	10	2	33	1	2	1	10	57	11	22	-27	7	7	0
36	2629	10	4	34	1	2	1	10	46	11	22	-7	4	2	1
37	2641	10	3	32	1	2	1	10	43	11	22	-35	10	2	1
38	2693	10	4	46	1	2	1	10	44	11	22	-19	6	2	1
39	2694	10	4	22	1	2	1	10	44	11	22	-19	6	2	1
40	2834	25	2	25	1	2	1	25	14	11	22	-22	4	2	1
41	2835	25	2	30	1	4	1	25	28	11	22	-25	6	2	1
42	2978	27	3	36	1	2	1	27	3	11	22	-19	3	6	0
43	3069	62	5	43	1	2	1	62	42	11	22	-28	3	2	1
44	3071	62	5	35	1	3	1	62	63	11	22	-28	5	2	1
45	3555	5	4	21	1	2	1	5	32	11	22	-4	3	6	0
46	3556	5	4	30	1	2	1	5	58	11	22	-12	3	2	1
47	3606	6	4	21	1	2	1	6	54	11	22	-12	3	2	1
48	3850	14	4	42	1	3	1	14	33	11	22	-7	3	5	0
49	4034	33	4	44	1	4	1	33	1	11	22	-5	3	2	1
50	4324	61	4	41	1	2	1	61	62	11	22	-15	4	2	1
51	4398	61	3	40	1	2	1	61	46	11	22	-22	5	5	0
52	4421	61	5	40	1	2	1	61	36	11	22	-12	4	6	0
53	4494	61	4	32	1	2	1	61	54	11	22	-7	2	2	1
54	4865	17	2	24	1	2	1	17	46	11	22	-33	6	6	0
55	5210	17	6	35	1	2	1	17	17	11	22	0	0	5	0
56	5213	17	6	36	1	2	1	17	36	11	22	-22	5	5	0
57	5746	24	3	38	1	2	1	24	7	11	22	-9	3	2	1
58	5828	24	4	39	1	2	1	24	28	11	22	-9	3	2	1
59	5849	24	3	43	1	2	1	24	4	11	22	-7	2	2	1
60	5950	24	4	40	1	3	1	24	36	11	22	-11	3	2	1
61	5955	24	2	30	1	2	1	24	14	11	22	-13	3	2	1
62	5988	24	2	28	1	2	1	24	36	11	22	-11	3	2	1
63	5989	24	2	28	1	4	1	24	23	11	22	-23	4	2	1
64	5989	24	2	28	1	4	2	23	24	11	22	-24	4	2	1
65	6034	24	3	31	1	4	1	24	61	11	22	-1	2	2	1
66	6084	24	6	40	1	3	1	24	1	11	22	-9	3	2	1
67	6621	47	3	27	1	2	1	47	57	11	22	-22	4	2	1

VN:Veri no, KK:Kişi kodu, SN:Sokak no, HHS:Hane halkı sayısı, YAŞ:Yaş, İK:İş kodu, GYS:Günlük yolculuk sayısı, YN:Yolculuk numarası

B:Başlangıç bölgesi, H:Hedef bölgesi, BA:B. Amacı (11=ev,22=iş),HA:Hedef amacı, Δ YZ:yolculuk zamanı farkı, Δ M:Maliyet farkı

ST:Seçilen tür (2=özel araç, 5=minibüs, 6=otobüs, 7=özel halk otobüsü), TST: Top. seçim türü (0=toplu taşıma,1=özel araç)

devamı var....

Tablo F.2 'den devam

VN	KK	SN	HHS	YAŞ	İK	GYS	YN	B	H	BA	HA	Δ YZ	Δ M	ST	TST
68	7748	39	2	32	1	2	1	39	16	11	22	-25	3	7	0
69	8946	9	2	28	1	2	1	9	34	11	22	-33	7	2	1
70	9003	9	3	39	1	2	1	9	9	11	22	0	0	2	1
71	9094	9	2	29	1	3	1	9	57	11	22	-9	4	2	1
72	9095	9	2	30	1	3	1	9	57	11	22	-9	4	2	1
73	9542	19	5	44	1	2	1	19	54	11	22	-22	5	2	1
74	9543	19	5	22	1	2	1	19	54	11	22	-22	5	6	0
75	9607	19	3	38	1	2	1	19	63	11	22	-25	4	2	1
76	9608	19	3	29	1	2	1	19	63	11	22	-25	4	2	1
77	9613	19	3	40	1	2	1	19	36	11	22	-18	4	2	1
78	9614	19	3	30	1	2	1	19	36	11	22	-18	4	2	1
79	9704	19	4	32	1	2	1	19	32	11	22	-19	4	7	0
80	10733	46	1	27	1	5	1	46	54	11	22	-18	4	2	1
81	11138	7	2	48	1	3	1	13	7	11	22	-27	5	5	0
82	11145	16	1	70	6	3	1	57	55	11	22	1	2	6	0

Tablo F.3: Yüksek gelir grubuna (YGG) ait çözümlemede kullanılan veriler

VN	KK	SN	HHS	YAŞ	İK	GYS	YN	B	H	BA	HA	Δ YZ	Δ M	ST	TST
1	1524	54	4	25	1	2	1	54	36	11	22	-6	2.1	2	1
2	1525	54	4	58	1	4	1	54	36	11	22	-6	2.1	2	1
3	1726	3	2	44	1	2	1	3	21	11	22	-6	3.2	7	0
4	7616	60	3	30	1	4	1	60	63	11	22	-1	1.6	2	1
5	8227	55	3	36	1	2	1	55	42	11	22	-19	4.6	2	1
6	10950	19	4	45	1	2	1	50	16	11	22	-17	3.3	2	1
7	10954	7	5	42	6	4	1	50	61	11	22	-21	4.8	2	1
8	10967	38	3	42	1	2	1	50	19	11	22	-11	4.5	5	0
9	10970	3	2	57	6	4	1	50	10	11	22	-6	3.1	2	1
10	10973	3	3	40	1	2	1	50	46	11	22	-6	3.1	7	0
11	10974	3	3	13	3	2	1	50	7	11	22	-17	3.3	7	0
12	10980	58	4	22	6	2	1	50	40	11	22	-19	3.9	2	1
13	10981	58	4	17	4	2	1	50	7	11	22	-17	3.3	2	1
14	10981	58	4	17	4	2	5	50	7	11	22	-17	3.3	2	1
15	10989	27	2	58	1	2	1	50	3	11	22	-11	2.7	7	0
16	10992	62	3	45	1	2	1	50	43	11	22	-34	10	2	1
17	10993	62	3	52	2	2	1	50	43	11	22	-34	10	2	1
18	10997	1	5	15	4	2	1	50	58	11	22	-2	2	7	0
19	11003	44	2	53	1	2	1	50	36	11	22	-11	4.2	7	0

Tablo F.4: DGG'ye ait değişkenler arasındaki ilişki (korelasyon) matrisi

	HHS	YAŞ	GYS	ΔYZ	ΔM
HHS	1				
YAŞ	0.000368	1			
GYS	-0.03185	0.109679	1		
ΔYZ	0.094268	0.012134	0.021807	1	
ΔM	-0.05141	-0.06957	-0.0529	-0.75036	1

Tablo F.5: OGG'ye ait değişkenler arasındaki ilişki (korelasyon) matrisi

	HHS	YAŞ	GYS	ΔYZ	ΔM
HHS	1				
YAŞ	0.229020489	1			
GYS	-0.127223682	0.067	1		
ΔYZ	0.125170784	0.168	0.264	1	
ΔM	-0.175188758	-0.19	-0.21	-0.78	1

Tablo F.6: YGG'ye ait değişkenler arasındaki ilişki (korelasyon) matrisi

	HHS	YAŞ	GYS	ΔYZ	ΔM
HHS	1				
YAŞ	-0.527957576	1			
GYS	0.103321737	0.321	1		
ΔYZ	-0.072274323	-0.064	0.295	1	
ΔM	-0.135087498	0.278	-0.242	-0.888	1

G. ÇÖZÜMLEME SONUÇLARI

Tablo G.1: BM1’e ait kuralların etkinlikleri

KE		ΔZ		ΔM		Seçim
1	EĞER	Çok Küçük	VE	Çok Küçük	İSE	Özel araç
1	EĞER	Küçük	VE	Küçük	İSE	Toplu Taşıma
1	EĞER	Büyük	VE	Sıfır	İSE	Özel araç
1	EĞER	Çok Büyük	VE	Küçük	İSE	Özel araç
0.984	EĞER	Büyük	VE	Çok Küçük	İSE	Özel araç
0.977	EĞER	Büyük	VE	Küçük	İSE	Özel araç
0.969	EĞER	Çok Küçük	VE	Çok Küçük	İSE	Kararsız
0.953	EĞER	Çok Küçük	VE	Çok Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0.93	EĞER	Küçük	VE	Çok Büyük	İSE	Özel araç
0.867	EĞER	Çok Küçük	VE	Küçük	İSE	Özel araç
0.734	EĞER	Çok Büyük	VE	Çok Küçük	İSE	Özel araç
0.664	EĞER	Çok Küçük	VE	Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0.602	EĞER	Sıfır	VE	Büyük	İSE	Özel araç
0.297	EĞER	Çok Büyük	VE	Çok Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0.258	EĞER	Küçük	VE	Büyük	İSE	Özel araç
0.242	EĞER	Küçük	VE	Sıfır	İSE	Toplu Taşıma
0.234	EĞER	Çok Büyük	VE	Sıfır	İSE	Toplu Taşıma
0.203	EĞER	Çok Küçük	VE	Sıfır	İSE	Toplu Taşıma
0.125	EĞER	Çok Küçük	VE	Küçük	İSE	Kararsız
0.094	EĞER	Çok Küçük	VE	Çok Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0.086	EĞER	Sıfır	VE	Sıfır	İSE	Kararsız
0.078	EĞER	Büyük	VE	Küçük	İSE	Kararsız
0.063	EĞER	Sıfır	VE	Çok Küçük	İSE	Özel araç
0.055	EĞER	Küçük	VE	Küçük	İSE	Özel araç
0.055	EĞER	Sıfır	VE	Küçük	İSE	Özel araç
0.039	EĞER	Sıfır	VE	Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0.039	EĞER	Çok Büyük	VE	Küçük	İSE	Kararsız
0.023	EĞER	Çok Küçük	VE	Sıfır	İSE	Kararsız
0.016	EĞER	Küçük	VE	Sıfır	İSE	Kararsız
0.016	EĞER	Sıfır	VE	Sıfır	İSE	Özel araç
0.008	EĞER	Küçük	VE	Çok Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0.008	EĞER	Büyük	VE	Sıfır	İSE	Toplu Taşıma
0.008	EĞER	Çok Büyük	VE	Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	Çok Küçük	VE	Sıfır	İSE	Özel araç
0	EĞER	Çok Küçük	VE	Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	Çok Küçük	VE	Büyük	İSE	Kararsız
0	EĞER	Çok Küçük	VE	Büyük	İSE	Özel araç
0	EĞER	Çok Küçük	VE	Çok Büyük	İSE	Kararsız
0	EĞER	Çok Küçük	VE	Çok Büyük	İSE	Özel araç
0	EĞER	Küçük	VE	Çok Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	Küçük	VE	Çok Küçük	İSE	Kararsız
0	EĞER	Küçük	VE	Çok Küçük	İSE	Özel araç
0	EĞER	Küçük	VE	Küçük	İSE	Kararsız
0	EĞER	Küçük	VE	Sıfır	İSE	Özel araç
0	EĞER	Küçük	VE	Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	Küçük	VE	Büyük	İSE	Kararsız
0	EĞER	Küçük	VE	Çok Büyük	İSE	Kararsız
0	EĞER	Sıfır	VE	Çok Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	Sıfır	VE	Çok Küçük	İSE	Kararsız
0	EĞER	Sıfır	VE	Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	Sıfır	VE	Küçük	İSE	Kararsız
0	EĞER	Sıfır	VE	Sıfır	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	Sıfır	VE	Büyük	İSE	Kararsız
0	EĞER	Sıfır	VE	Çok Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	Sıfır	VE	Çok Büyük	İSE	Kararsız
0	EĞER	Sıfır	VE	Çok Büyük	İSE	Özel araç
0	EĞER	Büyük	VE	Çok Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	Büyük	VE	Çok Küçük	İSE	Kararsız
0	EĞER	Büyük	VE	Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	Büyük	VE	Sıfır	İSE	Kararsız
0	EĞER	Büyük	VE	Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	Büyük	VE	Büyük	İSE	Kararsız
0	EĞER	Büyük	VE	Büyük	İSE	Özel araç
0	EĞER	Büyük	VE	Çok Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	Büyük	VE	Çok Büyük	İSE	Kararsız
0	EĞER	Büyük	VE	Çok Büyük	İSE	Özel araç
0	EĞER	Çok Büyük	VE	Çok Küçük	İSE	Kararsız
0	EĞER	Çok Büyük	VE	Sıfır	İSE	Kararsız
0	EĞER	Çok Büyük	VE	Sıfır	İSE	Özel araç
0	EĞER	Çok Büyük	VE	Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	Çok Büyük	VE	Büyük	İSE	Kararsız
0	EĞER	Çok Büyük	VE	Büyük	İSE	Özel araç
0	EĞER	Çok Büyük	VE	Çok Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	Çok Büyük	VE	Çok Büyük	İSE	Kararsız
0	EĞER	Çok Büyük	VE	Çok Büyük	İSE	Özel araç

Tablo G.2: BM2'e ait kuralların etkinlikleri

KE		ΔZ	ΔM	Seçim
1	EĞER	VE	Büyük	İSE Kararsız
1	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE Kararsız
1	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE Toplu Taşıma
1	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE Toplu Taşıma
1	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE Kararsız
1	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE Özel araç
1	EĞER	VE	Büyük	İSE Özel araç
1	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE Toplu Taşıma
1	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE Kararsız
1	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE Özel araç
1	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE Özel araç
1	EĞER	VE	Büyük	İSE Toplu Taşıma
1	EĞER	VE	Büyük	İSE Kararsız
1	EĞER	VE	Büyük	İSE Özel araç
1	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE Toplu Taşıma
1	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE Kararsız
1	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE Özel araç
0.945	EĞER	VE	Büyük	İSE Toplu Taşıma
0.922	EĞER	VE	Sıfır	İSE Toplu Taşıma
0.883	EĞER	VE	Sıfır	İSE Toplu Taşıma
0.844	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE Toplu Taşıma
0.844	EĞER	VE	Büyük	İSE Özel araç
0.797	EĞER	VE	Sıfır	İSE Kararsız
0.766	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE Özel araç
0.727	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE Toplu Taşıma
0.703	EĞER	VE	Küçük	İSE Toplu Taşıma
0.695	EĞER	VE	Sıfır	İSE Özel araç
0.695	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE Özel araç
0.656	EĞER	VE	Küçük	İSE Özel araç
0.656	EĞER	VE	Büyük	İSE Kararsız
0.422	EĞER	VE	Küçük	İSE Toplu Taşıma
0.383	EĞER	VE	Küçük	İSE Toplu Taşıma
0.367	EĞER	VE	Sıfır	İSE Özel araç
0.234	EĞER	VE	Küçük	İSE Toplu Taşıma
0.211	EĞER	VE	Büyük	İSE Toplu Taşıma
0.156	EĞER	VE	Büyük	İSE Toplu Taşıma
0.117	EĞER	VE	Sıfır	İSE Toplu Taşıma
0.094	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE Toplu Taşıma
0.078	EĞER	VE	Sıfır	İSE Kararsız
0.07	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE Kararsız
0.055	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE Toplu Taşıma
0.047	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE Özel araç
0.031	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE Toplu Taşıma
0	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE Özel araç
0	EĞER	VE	Küçük	İSE Toplu Taşıma
0	EĞER	VE	Küçük	İSE Kararsız
0	EĞER	VE	Sıfır	İSE Kararsız
0	EĞER	VE	Sıfır	İSE Özel araç
0	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE Kararsız
0	EĞER	VE	Küçük	İSE Kararsız
0	EĞER	VE	Küçük	İSE Özel araç
0	EĞER	VE	Sıfır	İSE Kararsız
0	EĞER	VE	Sıfır	İSE Özel araç
0	EĞER	VE	Büyük	İSE Kararsız
0	EĞER	VE	Büyük	İSE Özel araç
0	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE Kararsız
0	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE Özel araç
0	EĞER	VE	Küçük	İSE Kararsız
0	EĞER	VE	Küçük	İSE Özel araç
0	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE Kararsız
0	EĞER	VE	Küçük	İSE Kararsız
0	EĞER	VE	Küçük	İSE Özel araç
0	EĞER	VE	Sıfır	İSE Toplu Taşıma
0	EĞER	VE	Sıfır	İSE Kararsız
0	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE Kararsız
0	EĞER	VE	Küçük	İSE Kararsız
0	EĞER	VE	Küçük	İSE Özel araç
0	EĞER	VE	Sıfır	İSE Özel araç

Tablo G.3: BM3'e ait kuralların etkinlikleri

KE		ΔZ	ΔM		Seçim
1	EĞER	VE	Küçük	İSE	Özel araç
0.969	EĞER	VE	Küçük	İSE	Özel araç
0.789	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Özel araç
0.719	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Özel araç
0.703	EĞER	VE	Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0.672	EĞER	VE	Büyük	İSE	Özel araç
0.672	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Özel araç
0.664	EĞER	VE	Küçük	İSE	Özel araç
0.633	EĞER	VE	Küçük	İSE	Kararsız
0.594	EĞER	VE	Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0.516	EĞER	VE	Küçük	İSE	Kararsız
0.484	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0.477	EĞER	VE	Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0.469	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0.438	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Toplu Taşıma
0.43	EĞER	VE	Büyük	İSE	Kararsız
0.422	EĞER	VE	Küçük	İSE	Özel araç
0.406	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Kararsız
0.375	EĞER	VE	Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0.313	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Özel araç
0.313	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Toplu Taşıma
0.305	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Kararsız
0.289	EĞER	VE	Büyük	İSE	Özel araç
0.266	EĞER	VE	Küçük	İSE	Özel araç
0.258	EĞER	VE	Küçük	İSE	Kararsız
0.242	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Özel araç
0.234	EĞER	VE	Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0.211	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0.203	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Kararsız
0.195	EĞER	VE	Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0.141	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Özel araç
0.094	EĞER	VE	Küçük	İSE	Kararsız
0.086	EĞER	VE	Büyük	İSE	Özel araç
0.07	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Özel araç
0.031	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Özel araç
0.008	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	VE	Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	VE	Küçük	İSE	Kararsız
0	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Kararsız
0	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Kararsız
0	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Kararsız
0	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Özel araç
0	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Kararsız
0	EĞER	VE	Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	VE	Büyük	İSE	Kararsız
0	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Kararsız
0	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Özel araç
0	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Kararsız
0	EĞER	VE	Büyük	İSE	Kararsız
0	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Kararsız
0	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Özel araç
0	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Kararsız
0	EĞER	VE	Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	VE	Büyük	İSE	Kararsız
0	EĞER	VE	Büyük	İSE	Özel araç
0	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Kararsız
0	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Özel araç
0	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Kararsız
0	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Özel araç
0	EĞER	VE	Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	VE	Büyük	İSE	Kararsız
0	EĞER	VE	Büyük	İSE	Özel araç
0	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Kararsız
0	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Özel araç
0	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Özel araç

Tablo G.4: BM4'e ait kuralların etkinlikleri

KE		ΔZ	ΔM		Seçim
1	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Kararsız
1	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Özel araç
1	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Toplu Taşıma
1	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Kararsız
1	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Özel araç
1	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Toplu Taşıma
1	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Kararsız
1	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Kararsız
1	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Özel araç
1	EĞER	VE	Büyük	İSE	Kararsız
1	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Kararsız
1	EĞER	VE	Küçük	İSE	Toplu Taşıma
1	EĞER	VE	Büyük	İSE	Toplu Taşıma
1	EĞER	VE	Büyük	İSE	Kararsız
1	EĞER	VE	Büyük	İSE	Özel araç
1	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Toplu Taşıma
1	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Kararsız
1	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Özel araç
0.992	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Özel araç
0.992	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Özel araç
0.977	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Özel araç
0.969	EĞER	VE	Büyük	İSE	Kararsız
0.961	EĞER	VE	Küçük	İSE	Özel araç
0.961	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Kararsız
0.961	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Kararsız
0.953	EĞER	VE	Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0.953	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Kararsız
0.945	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0.938	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0.938	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Toplu Taşıma
0.922	EĞER	VE	Büyük	İSE	Özel araç
0.914	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Kararsız
0.898	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Özel araç
0.875	EĞER	VE	Küçük	İSE	Özel araç
0.867	EĞER	VE	Küçük	İSE	Kararsız
0.852	EĞER	VE	Büyük	İSE	Kararsız
0.844	EĞER	VE	Büyük	İSE	Özel araç
0.82	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Özel araç
0.82	EĞER	VE	Büyük	İSE	Kararsız
0.797	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0.773	EĞER	VE	Küçük	İSE	Özel araç
0.773	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Özel araç
0.758	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0.703	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Özel araç
0.688	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Kararsız
0.641	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Kararsız
0.625	EĞER	VE	Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0.617	EĞER	VE	Büyük	İSE	Özel araç
0.602	EĞER	VE	Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0.578	EĞER	VE	Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0.57	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Kararsız
0.555	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Toplu Taşıma
0.547	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0.539	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Toplu Taşıma
0.508	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Toplu Taşıma
0.492	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Kararsız
0.484	EĞER	VE	Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0.453	EĞER	VE	Küçük	İSE	Özel araç
0.43	EĞER	VE	Küçük	İSE	Kararsız
0.422	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0.414	EĞER	VE	Küçük	İSE	Kararsız
0.383	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Özel araç
0.359	EĞER	VE	Küçük	İSE	Kararsız
0.336	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Özel araç
0.305	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0.305	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Kararsız
0.266	EĞER	VE	Büyük	İSE	Özel araç
0.258	EĞER	VE	Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0.219	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Özel araç
0.211	EĞER	VE	Küçük	İSE	Kararsız
0.164	EĞER	VE	Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0.148	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0.094	EĞER	VE	Küçük	İSE	Özel araç
0.055	EĞER	VE	Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Özel araç

Tablo G.5: BM5'e ait kuralların etkinlikleri

KE		ΔZ		ΔM		Seçim
0.5	EĞER	Çok Büyük	VE	Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0.445	EĞER	Büyük	VE	Çok Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0.359	EĞER	Küçük	VE	Küçük	İSE	Özel araç
0.32	EĞER	Çok Büyük	VE	Çok Küçük	İSE	Kararsız
0.25	EĞER	Büyük	VE	Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0.117	EĞER	Çok Büyük	VE	Çok Küçük	İSE	Özel araç
0.086	EĞER	Çok Küçük	VE	Çok Küçük	İSE	Kararsız
0.063	EĞER	Çok Büyük	VE	Çok Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0.039	EĞER	Çok Küçük	VE	Çok Büyük	İSE	Özel araç
0.023	EĞER	Sıfır	VE	Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0.008	EĞER	Çok Küçük	VE	Çok Küçük	İSE	Özel araç
0.008	EĞER	Sıfır	VE	Çok Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	Çok Küçük	VE	Çok Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	Çok Küçük	VE	Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	Çok Küçük	VE	Küçük	İSE	Kararsız
0	EĞER	Çok Küçük	VE	Küçük	İSE	Özel araç
0	EĞER	Çok Küçük	VE	Sıfır	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	Çok Küçük	VE	Sıfır	İSE	Kararsız
0	EĞER	Çok Küçük	VE	Sıfır	İSE	Özel araç
0	EĞER	Çok Küçük	VE	Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	Çok Küçük	VE	Büyük	İSE	Kararsız
0	EĞER	Çok Küçük	VE	Büyük	İSE	Özel araç
0	EĞER	Çok Küçük	VE	Çok Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	Çok Küçük	VE	Çok Büyük	İSE	Kararsız
0	EĞER	Küçük	VE	Çok Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	Küçük	VE	Çok Küçük	İSE	Kararsız
0	EĞER	Küçük	VE	Çok Küçük	İSE	Özel araç
0	EĞER	Küçük	VE	Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	Küçük	VE	Küçük	İSE	Kararsız
0	EĞER	Küçük	VE	Sıfır	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	Küçük	VE	Sıfır	İSE	Kararsız
0	EĞER	Küçük	VE	Sıfır	İSE	Özel araç
0	EĞER	Küçük	VE	Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	Küçük	VE	Büyük	İSE	Kararsız
0	EĞER	Küçük	VE	Büyük	İSE	Özel araç
0	EĞER	Küçük	VE	Çok Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	Küçük	VE	Çok Büyük	İSE	Kararsız
0	EĞER	Küçük	VE	Çok Büyük	İSE	Özel araç
0	EĞER	Sıfır	VE	Çok Küçük	İSE	Özel araç
0	EĞER	Sıfır	VE	Küçük	İSE	Kararsız
0	EĞER	Sıfır	VE	Sıfır	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	Sıfır	VE	Sıfır	İSE	Kararsız
0	EĞER	Sıfır	VE	Sıfır	İSE	Özel araç
0	EĞER	Sıfır	VE	Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	Sıfır	VE	Büyük	İSE	Kararsız
0	EĞER	Sıfır	VE	Büyük	İSE	Özel araç
0	EĞER	Sıfır	VE	Çok Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	Sıfır	VE	Çok Büyük	İSE	Kararsız
0	EĞER	Büyük	VE	Çok Küçük	İSE	Kararsız
0	EĞER	Büyük	VE	Çok Küçük	İSE	Özel araç
0	EĞER	Büyük	VE	Küçük	İSE	Kararsız
0	EĞER	Büyük	VE	Küçük	İSE	Özel araç
0	EĞER	Büyük	VE	Sıfır	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	Büyük	VE	Sıfır	İSE	Kararsız
0	EĞER	Büyük	VE	Sıfır	İSE	Özel araç
0	EĞER	Büyük	VE	Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	Büyük	VE	Büyük	İSE	Kararsız
0	EĞER	Büyük	VE	Büyük	İSE	Özel araç
0	EĞER	Büyük	VE	Çok Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	Büyük	VE	Çok Büyük	İSE	Kararsız
0	EĞER	Büyük	VE	Çok Büyük	İSE	Özel araç
0	EĞER	Çok Büyük	VE	Küçük	İSE	Kararsız
0	EĞER	Çok Büyük	VE	Küçük	İSE	Özel araç
0	EĞER	Çok Büyük	VE	Sıfır	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	Çok Büyük	VE	Sıfır	İSE	Kararsız
0	EĞER	Çok Büyük	VE	Sıfır	İSE	Özel araç
0	EĞER	Çok Büyük	VE	Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	Çok Büyük	VE	Büyük	İSE	Kararsız
0	EĞER	Çok Büyük	VE	Büyük	İSE	Özel araç
0	EĞER	Çok Büyük	VE	Çok Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0	EĞER	Çok Büyük	VE	Çok Büyük	İSE	Kararsız
0	EĞER	Çok Büyük	VE	Çok Büyük	İSE	Özel araç

Tablo G.6: BM6'ya ait kuralların etkinlikleri

KE		ΔZ		ΔM	Seçim
1	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Kararsız
1	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Toplu Taşıma
1	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Kararsız
1	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Özel araç
1	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Özel araç
1	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Toplu Taşıma
1	EĞER	VE	Küçük	İSE	Toplu Taşıma
1	EĞER	VE	Küçük	İSE	Kararsız
1	EĞER	VE	Büyük	İSE	Kararsız
1	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Toplu Taşıma
1	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Kararsız
1	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Özel araç
1	EĞER	VE	Küçük	İSE	Toplu Taşıma
1	EĞER	VE	Küçük	İSE	Kararsız
1	EĞER	VE	Küçük	İSE	Özel araç
1	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Toplu Taşıma
1	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Kararsız
1	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Özel araç
1	EĞER	VE	Büyük	İSE	Toplu Taşıma
1	EĞER	VE	Büyük	İSE	Kararsız
1	EĞER	VE	Büyük	İSE	Özel araç
1	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Kararsız
1	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Özel araç
1	EĞER	VE	Küçük	İSE	Kararsız
1	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Özel araç
1	EĞER	VE	Büyük	İSE	Toplu Taşıma
1	EĞER	VE	Büyük	İSE	Kararsız
1	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Toplu Taşıma
1	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Kararsız
1	EĞER	VE	Küçük	İSE	Toplu Taşıma
1	EĞER	VE	Küçük	İSE	Kararsız
1	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Toplu Taşıma
1	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Toplu Taşıma
1	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Kararsız
1	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Özel araç
0.992	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Kararsız
0.992	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0.992	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0.992	EĞER	VE	Büyük	İSE	Özel araç
0.992	EĞER	VE	Küçük	İSE	Özel araç
0.992	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Özel araç
0.984	EĞER	VE	Küçük	İSE	Özel araç
0.984	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0.977	EĞER	VE	Küçük	İSE	Kararsız
0.977	EĞER	VE	Büyük	İSE	Özel araç
0.977	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Kararsız
0.977	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Toplu Taşıma
0.977	EĞER	VE	Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0.969	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Özel araç
0.969	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Özel araç
0.969	EĞER	VE	Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0.969	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Kararsız
0.961	EĞER	VE	Büyük	İSE	Kararsız
0.961	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0.953	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Özel araç
0.953	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Kararsız
0.953	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Özel araç
0.945	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Kararsız
0.945	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Özel araç
0.938	EĞER	VE	Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0.938	EĞER	VE	Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0.938	EĞER	VE	Küçük	İSE	Özel araç
0.938	EĞER	VE	Çok Büyük	İSE	Kararsız
0.93	EĞER	VE	Büyük	İSE	Kararsız
0.922	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Özel araç
0.922	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Toplu Taşıma
0.914	EĞER	VE	Büyük	İSE	Özel araç
0.914	EĞER	VE	Küçük	İSE	Özel araç
0.906	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Kararsız
0.906	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Toplu Taşıma
0.906	EĞER	VE	Sıfır	İSE	Kararsız
0.906	EĞER	VE	Çok Küçük	İSE	Özel araç
0.906	EĞER	VE	Büyük	İSE	Toplu Taşıma
0.906	EĞER	VE	Büyük	İSE	Özel araç

Tablo G.7: Tüm SB modellere ait kural tabanı

KE		ΔZ		ΔM	Seçim
1	EĞER	Çok Küçük	VE	Çok Küçük	Seçim1
1	EĞER	Çok Küçük	VE	Küçük	Seçim2
1	EĞER	Çok Küçük	VE	Sıfır	Seçim3
1	EĞER	Çok Küçük	VE	Büyük	Seçim4
1	EĞER	Çok Küçük	VE	Çok Büyük	Seçim5
1	EĞER	Küçük	VE	Çok Küçük	Seçim6
1	EĞER	Küçük	VE	Küçük	Seçim7
1	EĞER	Küçük	VE	Sıfır	Seçim8
1	EĞER	Küçük	VE	Büyük	Seçim9
1	EĞER	Küçük	VE	Çok Büyük	Seçim10
1	EĞER	Sıfır	VE	Çok Küçük	Seçim11
1	EĞER	Sıfır	VE	Küçük	Seçim12
1	EĞER	Sıfır	VE	Sıfır	Seçim13
1	EĞER	Sıfır	VE	Büyük	Seçim14
1	EĞER	Sıfır	VE	Çok Büyük	Seçim15
1	EĞER	Büyük	VE	Çok Küçük	Seçim16
1	EĞER	Büyük	VE	Küçük	Seçim17
1	EĞER	Büyük	VE	Sıfır	Seçim18
1	EĞER	Büyük	VE	Büyük	Seçim19
1	EĞER	Büyük	VE	Çok Büyük	Seçim20
1	EĞER	Çok Büyük	VE	Çok Küçük	Seçim21
1	EĞER	Çok Büyük	VE	Küçük	Seçim22
1	EĞER	Çok Büyük	VE	Sıfır	Seçim23
1	EĞER	Çok Büyük	VE	Büyük	Seçim24
1	EĞER	Çok Büyük	VE	Çok Büyük	Seçim25

Tablo G.8: SN1'e ait üyelik fonksiyonları ve modelin kestirilmiş çıktı değerleri

$\Delta Z [-47 \ 1]$					
Tipi	Çok Küçük Üçgen	Küçük Üçgen	Sıfır Üçgen	Büyük Üçgen	Çok Büyük Üçgen
α	12.0001	12.0000	11.9940	11.9886	12.0077
m	-46.9999	-34.9999	-23.0000	-10.9999	1.0001
β	11.9978	11.9983	12.0025	11.9999	11.9999

$\Delta M [0 \ 10.7]$					
Tipi	Çok Küçük Üçgen	Küçük Üçgen	Sıfır Üçgen	Büyük Üçgen	Çok Büyük Üçgen
α	2.6751	2.6747	2.6987	2.6724	2.6810
m	0.0001	2.6746	5.3497	8.0249	10.6998
β	2.7073	2.6777	2.6728	2.6751	2.6752

$\text{Seçim } [0 \ 1]$							
$y=ax+by+c \text{ (sugeno)}$							
	a	b	b		a	b	c
1	0.0000	0.0000	0.0000	14	43.4523	106.8982	167.6860
2	-8.2191	0.9093	0.1749	15	0.0000	0.0000	0.0000
3	21.6457	127.7412	329.5311	16	-3.3747	14.7751	-21.8286
4	19.4320	142.2000	-182.1606	17	11.7688	24.0981	65.7606
5	25.7959	64.1993	3.3402	18	19.2502	25.9732	75.6181
6	-6.6682	0.6946	0.2778	19	55.3620	97.7290	0.1868
7	12.2547	157.2338	4.7307	20	0.0000	0.0000	0.0000
8	18.8016	154.0330	-165.6932	21	-2.8231	34.2253	2.7140
9	38.5832	152.3717	134.9370	22	11.4001	29.6112	-93.5999
10	-84.5850	-293.1477	-2.8046	23	15.4306	8.5491	-119.9804
11	-5.8025	20.6387	11.0625	24	40.7151	-25.3339	-4.5239
12	11.8672	102.7870	1.2672	25	0.0000	0.0000	0.0000
13	19.0069	103.1060	-114.5019				

Tablo G.9: SN2'ye ait üyelik fonksiyonları ve modelin kestirilmiş çıktı değerleri

ΔZ [-47 1]					
Tipi	Çok Küçük Üçgen	Küçük Üçgen	Sıfır Üçgen	Büyük Üçgen	Çok Büyük Üçgen
α	12.0042	12.0093	12.0069	11.9938	12.0305
m	-46.9958	-34.9948	-23.0019	-11.0012	1.0016
β	11.9860	11.9970	11.9841	12.0017	11.9984

ΔM [0 10.7]					
Tipi	Çok Küçük Üçgen	Küçük Üçgen	Sıfır Üçgen	Büyük Üçgen	Çok Büyük Üçgen
α	2.6781	2.6126	2.4504	2.6610	2.6677
m	0.0031	2.6122	5.3074	8.0577	10.7317
β	2.9409	2.7868	2.7232	2.6420	2.6433

Seçim [0 1]				
y=a Sabit (sugeno)				
	a		a	
1	0.0000	14	0.0124	
2	-9.5892	15	0.0000	
3	0.7161	16	2.5188	
4	0.3357	17	0.2270	
5	-2.6387	18	0.6885	
6	-34.9598	19	4.0165	
7	-0.9691	20	0.0000	
8	0.4271	21	0.5005	
9	0.8467	22	0.3540	
10	2.4275	23	3.2503	
11	1.0825	24	-97.0282	
12	1.0535	25	0.0000	
13	0.4233			

Tablo G.10: SN3'e ait üyelik fonksiyonları ve modelin kestirilmiş çıktı değerleri

$\Delta Z [-47 \ 1]$					
Tipi	Çok Küçük Üçgen	Küçük Üçgen	Sıfır Üçgen	Büyük Üçgen	Çok Büyük Üçgen
α	9.0006	9.0007	9.0317	9.0232	8.9066
m	-34.9994	-25.9991	-16.9976	-7.9979	1.0004
β	9.0823	9.0297	8.9171	8.9982	8.9996

$\Delta M [0 \ 10.7]$					
Tipi	Çok Küçük Üçgen	Küçük Üçgen	Sıfır Üçgen	Büyük Üçgen	Çok Büyük Üçgen
α	2.4999	2.4953	2.5577	2.4524	2.4971
m	-0.0001	2.4952	4.9933	7.4979	9.9998
β	2.4976	2.4073	2.5042	2.5023	2.5002

Seçim [0 1]							
$y=ax+by+c$ (sugeno)							
	a	b	b	a	b	c	
1	0.0000	0.0000	0.0000	14	4.5630	18.4989	-35.3494
2	-19.2066	-191.2641	-2.8318	15	0.0000	0.0000	0.0000
3	-9.0628	-69.8674	55.5274	16	-1.0169	-12.8846	-0.6258
4	-6.8533	-16.3700	-81.0003	17	-7.8981	-19.2372	-15.9965
5	-3.6737	-12.7718	0.1375	18	-4.7955	-18.6668	55.5880
6	0.0000	0.0000	0.0000	19	-7.2615	3.3667	0.6601
7	-6.5535	-24.9982	-113.1930	20	0.0000	0.0000	0.0000
8	-6.3971	-27.9250	-26.4452	21	7.0839	-8.3909	0.8281
9	-6.6352	-41.4963	130.3627	22	-8.8760	-16.4504	46.4973
10	-15.4498	-42.4551	0.5518	23	-15.6257	-38.8782	99.8784
11	0.3958	-0.0792	-0.0360	24	0.0000	0.0000	0.0000
12	-7.4542	14.6183	-163.4034	25	0.0000	0.0000	0.0000
13	-5.4612	14.1157	-160.5626				

Tablo G.11: SN4'e ait üyelik fonksiyonları ve modelin kestirilmiş çıktı değerleri

$\Delta Z [-47 \ 1]$					
Tipi	Çok Küçük Üçgen	Küçük Üçgen	Sıfır Üçgen	Büyük Üçgen	Çok Büyük Üçgen
α	8.9954	8.9947	9.0060	9.0255	9.1078
m	-35.0046	-26.0007	-16.9940	-7.9800	1.0178
β	8.9960	8.9991	9.0120	8.9797	8.9822

$\Delta M [0 \ 10.7]$					
Tipi	Çok Küçük Üçgen	Küçük Üçgen	Sıfır Üçgen	Büyük Üçgen	Çok Büyük Üçgen
α	2.5038	2.4093	2.3492	2.4395	2.5075
m	0.0038	2.4055	4.9484	7.5220	9.9979
β	2.5928	2.8141	2.5430	2.4801	2.5021

Seçim [0 1]				
y=a Sabit (sugeno)				
	a		a	
1	Seçim1	14	-0.0449	
2	3.7620	15	0.0000	
3	-0.5425	16	2.2330	
4	1.9736	17	0.9967	
5	0.9992	18	0.7842	
6	0.0000	19	36.2386	
7	0.6286	20	0.0000	
8	0.7401	21	0.4799	
9	0.5131	22	0.2069	
10	1.1829	23	-5.2674	
11	4.0170	24	0.0000	
12	0.2431	25	0.0000	
13	0.9139			

Tablo G.12: SN5'e ait üyelik fonksiyonları ve modelin kestirilmiş çıktı değerleri

$\Delta Z [-47 \ 1]$					
Tipi	Çok Küçük Üçgen	Küçük Üçgen	Sıfır Üçgen	Büyük Üçgen	Çok Büyük Üçgen
α	8.2500	8.2515	8.2578	8.2586	8.2342
m	-34.0000	-25.7485	-17.4919	-9.2417	-0.9983
β	8.2500	8.2555	8.2665	8.1717	8.2483

$\Delta M [0 \ 10.7]$					
Tipi	Çok Küçük Üçgen	Küçük Üçgen	Sıfır Üçgen	Büyük Üçgen	Çok Büyük Üçgen
α	2.2070	2.1821	2.1035	2.1000	2.1000
m	1.7070	3.7845	5.7969	7.9000	10.0000
β	1.4953	2.0128	2.1031	2.1000	2.1000

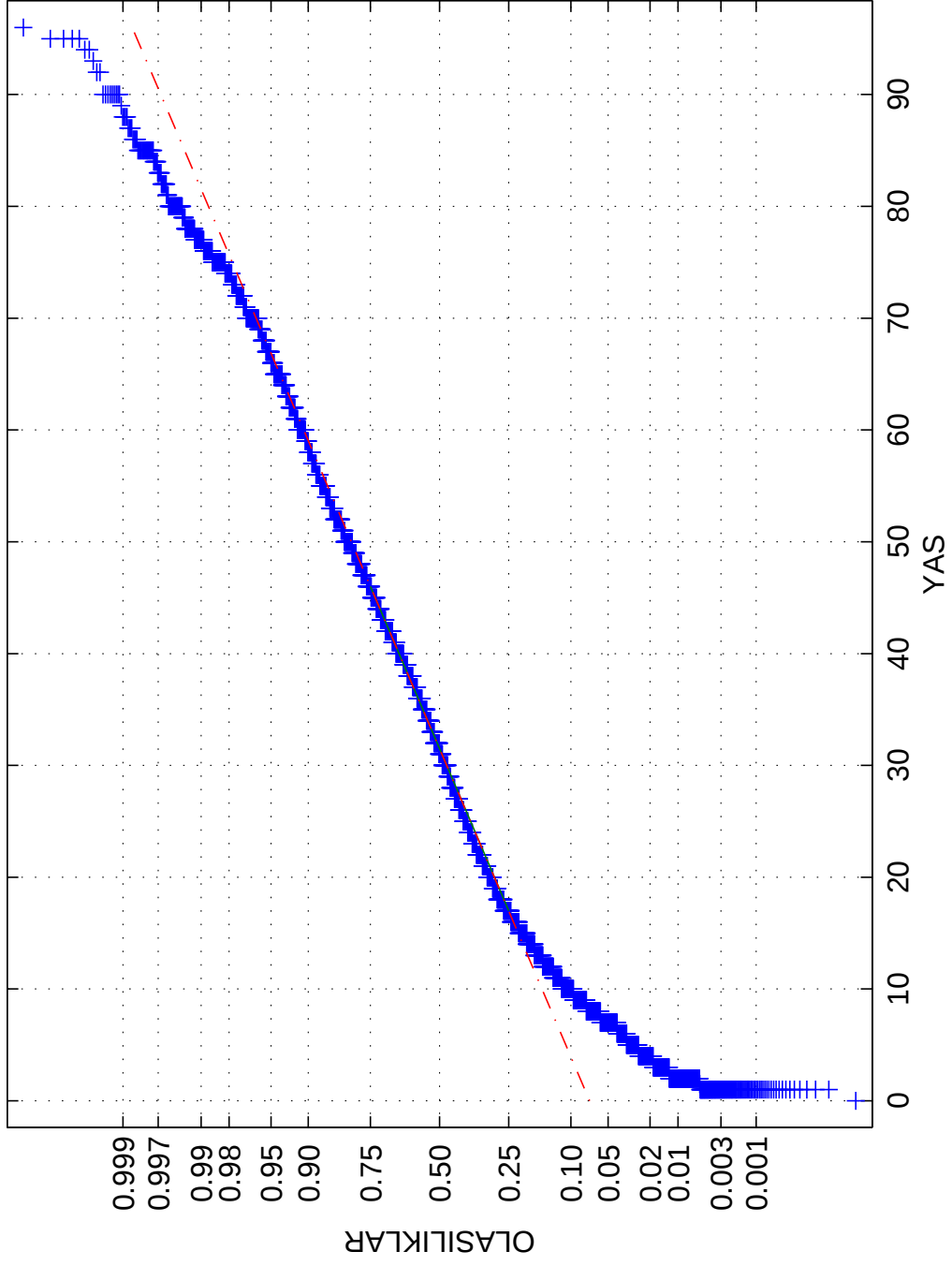
Seçim [0 1]							
$y=ax+by+c$ (sugeno)							
	a	b	b		a	b	c
1	0.0000	0.0000	0.0000	14	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0000	0.0000	0.0000	15	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.0000	0.0000	0.0000	16	0.4666	4.1546	-0.1013
4	0.0000	0.0000	0.0000	17	-0.3075	-1.0346	0.4960
5	-0.0270	0.0080	0.0008	18	-0.0962	-0.0462	0.0087
6	0.0000	0.0000	0.0000	19	0.0000	0.0000	0.0000
7	-0.1092	0.0217	0.0060	20	0.0000	0.0000	0.0000
8	0.0335	-0.0078	-0.0015	21	1.7818	1.3707	0.5887
9	0.0000	0.0000	0.0000	22	-2.0540	-3.1174	-0.8781
10	0.0000	0.0000	0.0000	23	0.0000	0.0000	0.0000
11	2.4277	-0.5959	-0.2207	24	0.0000	0.0000	0.0000
12	-0.0313	0.0575	-0.0728	25	0.0000	0.0000	0.0000
13	-0.0692	-0.0036	0.0051				

Tablo G.13: SN6'ya ait üyelik fonksiyonları ve modelin kestirilmiş çıktı değerleri

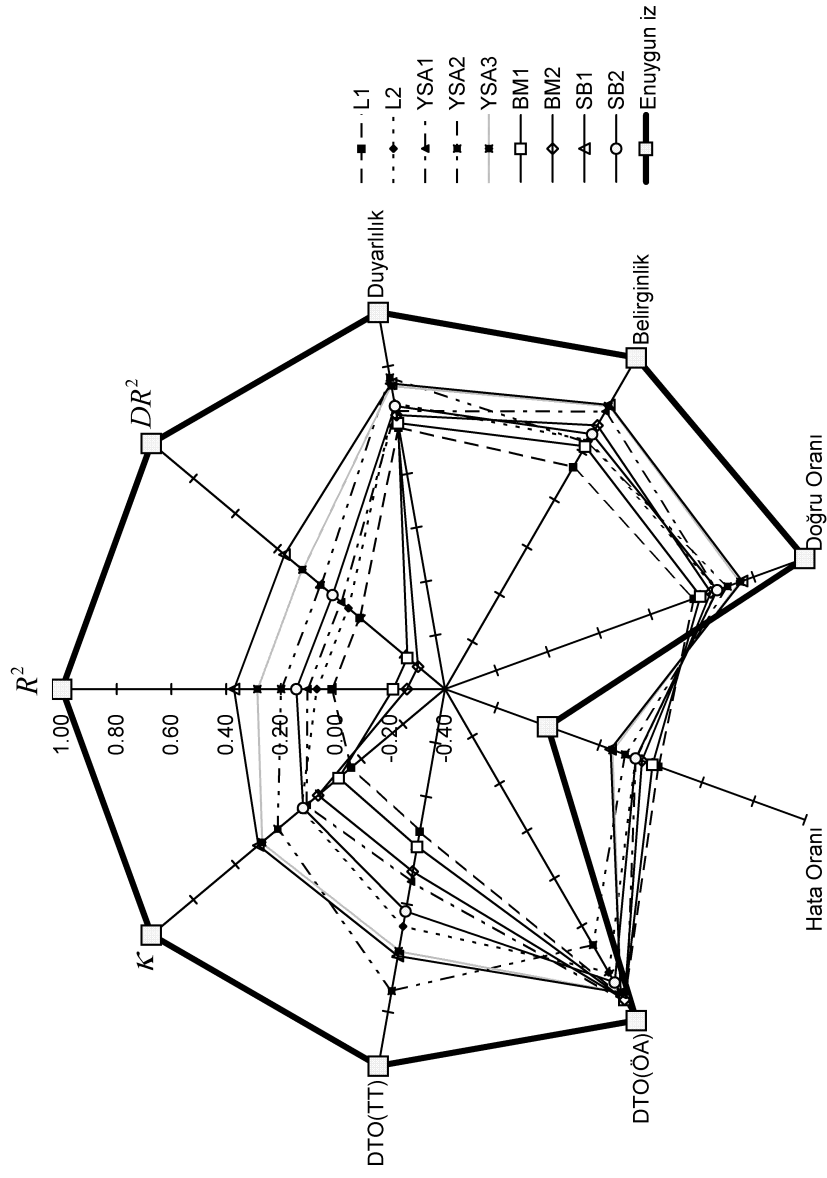
$\Delta Z [-47 \ 1]$					
Tipi	Çok Küçük Üçgen	Küçük Üçgen	Sıfır Üçgen	Büyük Üçgen	Çok Büyük Üçgen
α	8.2500	8.2501	8.2576	8.3132	8.1884
m	-34.0000	-25.7499	-17.4924	-9.1936	-0.9516
β	8.2500	8.2502	8.2724	8.0573	8.2016

$\Delta M [0 \ 10.7]$					
Tipi	Çok Küçük Üçgen	Küçük Üçgen	Sıfır Üçgen	Büyük Üçgen	Çok Büyük Üçgen
α	1.8883	1.7868	2.6019	2.1000	2.1000
m	1.3883	3.3864	5.7008	7.9000	10.0000
β	1.9093	2.5182	2.1992	2.1000	2.1000

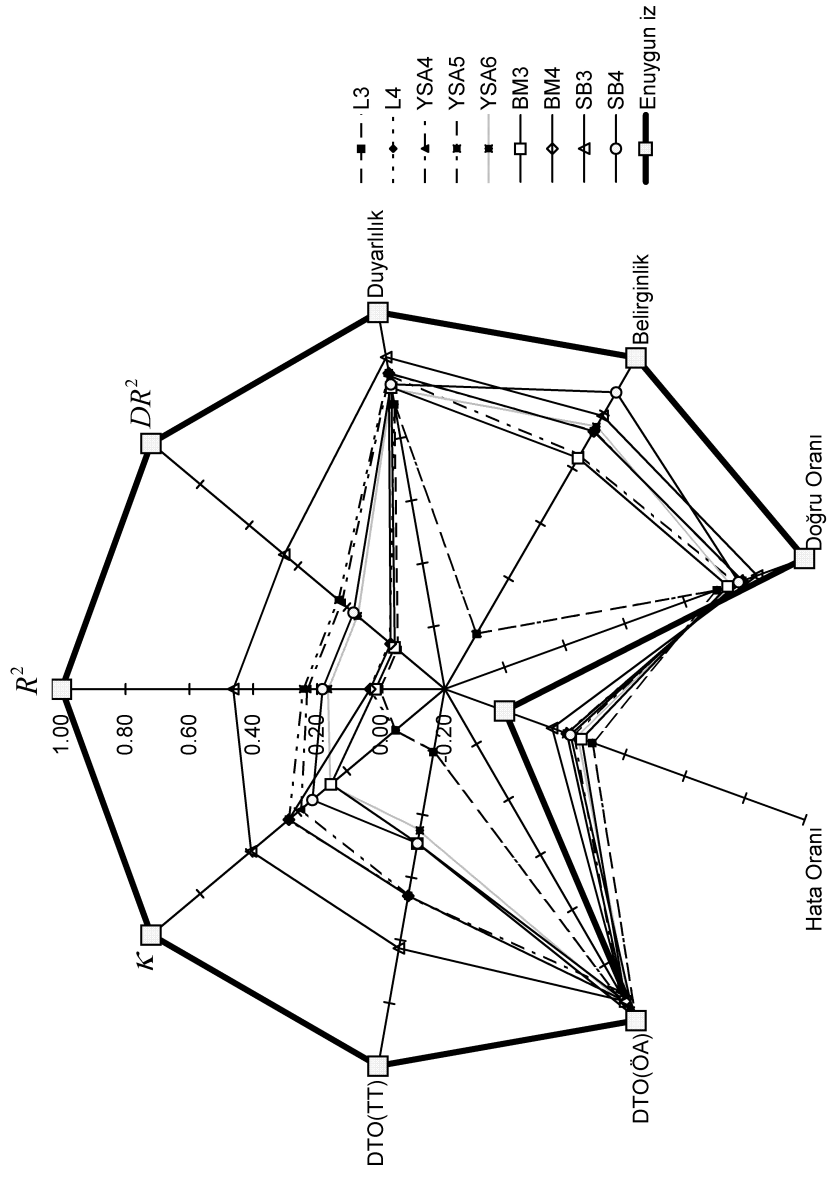
Seçim [0 1]				
y=a Sabit (sugeno)				
	a		a	
1	Seçim1	14	0.0000	
2	0.0000	15	0.0000	
3	0.0000	16	1.5077	
4	0.0000	17	2.4723	
5	1.0000	18	-3.6528	
6	0.0000	19	0.0000	
7	2.6973	20	0.0000	
8	-0.1692	21	0.9109	
9	0.0000	22	-2.9682	
10	0.0000	23	-19.7084	
11	-24.3836	24	0.0000	
12	0.6141	25	0.0000	
13	1.2773			



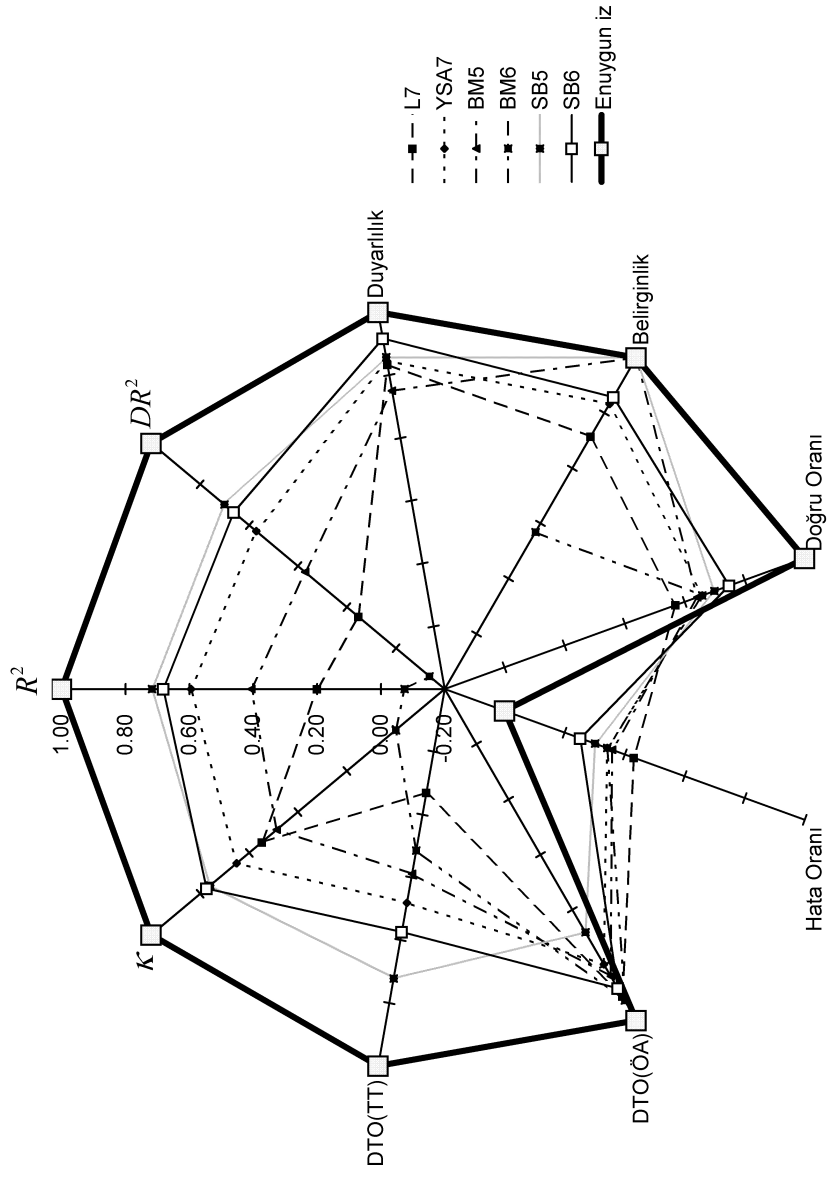
Şekil G.1: YAŞ için normal dağılım grafiği



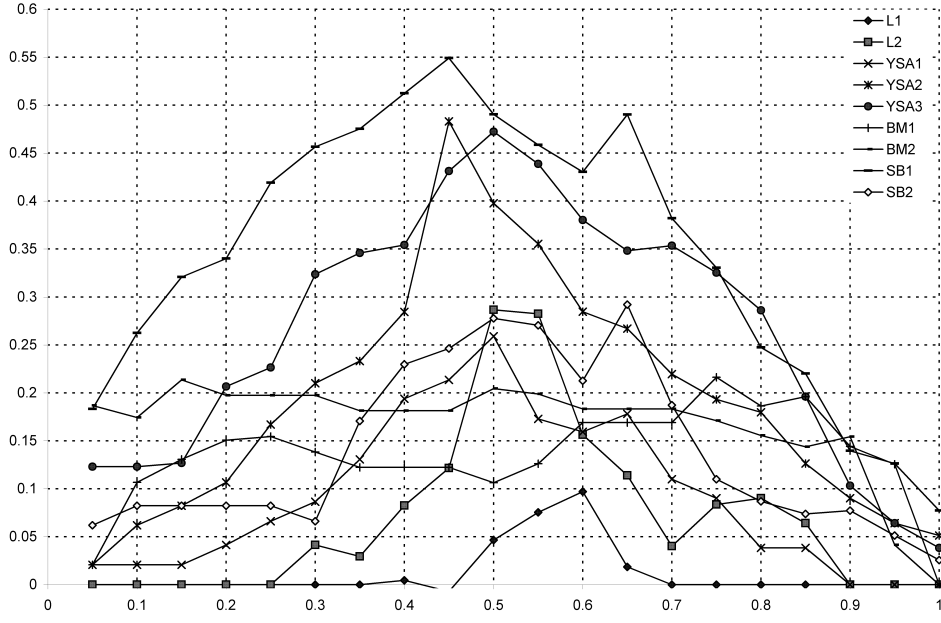
Şekil G.2: Düşük gelir grubuna ait modeller ve başarımlar ölçütleri



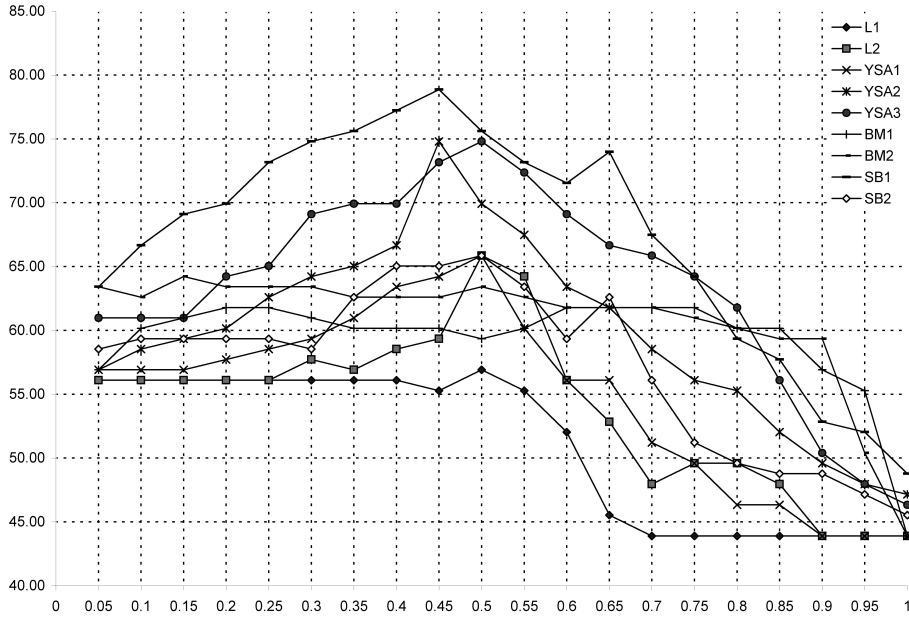
Şekil G.3: Orta gelir grubuna ait modeller ve başarımlar ölçütleri



Şekil G.4: Yüksek gelir grubuna ait modeller ve başanm ölçütleri

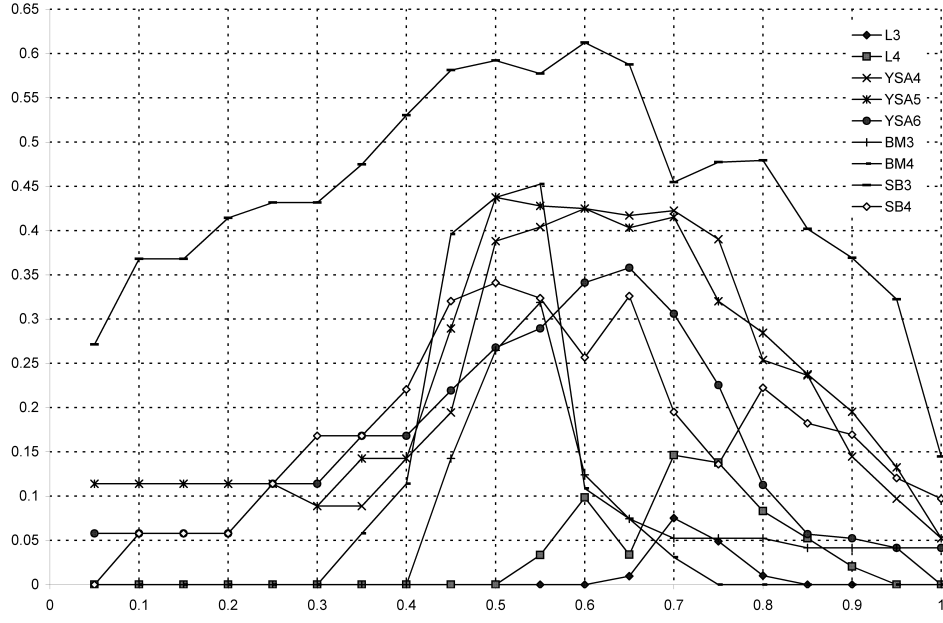


(a) Kappa (κ) istatistikleri

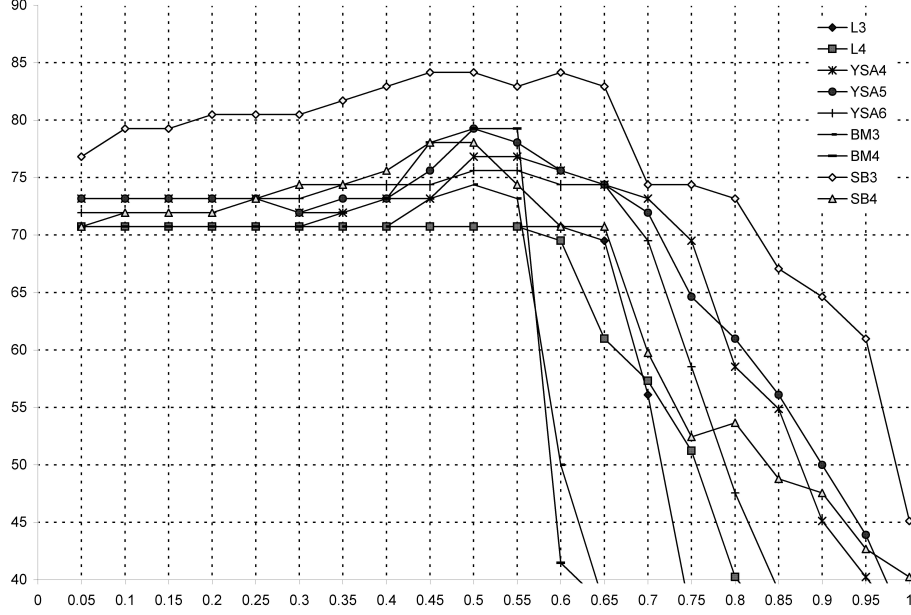


(b) Doğru oranları (%)

Şekil G.5: Farklı eşik değerlerinde DÜŞÜK gelir grubu modellerine ait κ ve doğru oranlarındaki değişim

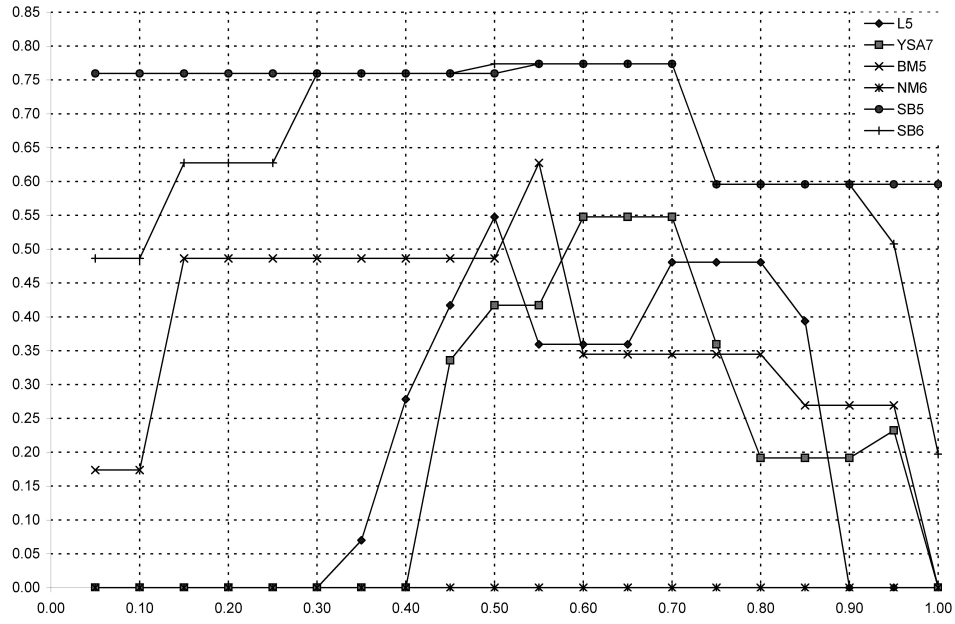


(a) Kappa (κ) istatistikleri

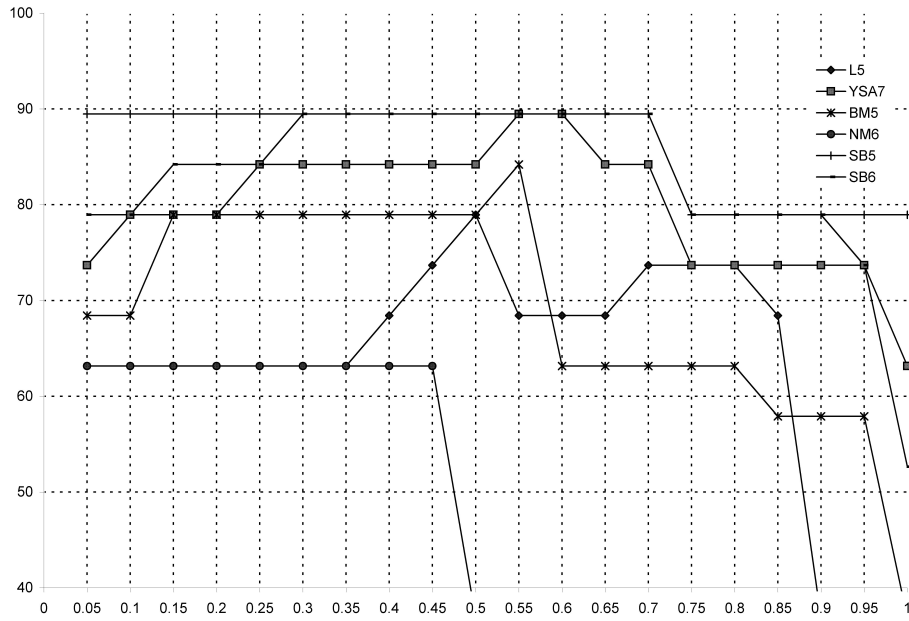


(b) Doğru oranları (%)

Şekil G.6: Farklı eşik değerlerinde ORTA gelir grubu modellerine ait κ ve doğru oranlarındaki değişim



(a) Kappa (κ) istatistikleri



(b) Doğru oranları (%)

Şekil G.7: Farklı eşik değerlerinde YÜKSEK gelir grubu modellerine ait κ ve doğru oranlarındaki değişim

DİZİN

- McFadden* – R^2 , 131
 R^2 , xii, 131, 178
 R^2 -ölçütü, 135, 171
 ΔM ., 137
 ΔZ ., 137
(, 89
Öklid,Eukleides, 64
Ölçüm
 inanç, 77
 olabilirlik, 76
 olasılık, 76
öğrenme oranı, 103
ölçüm
 akla yakınlık, 77
 gereklilik, 77
 olabilirlik, 79
öncül, 85
öncül kısıım, 84
öncüllerin toplulaştırması, 86
öncüllerin yorumlanması,kesinlik, 87
örneğin yapısal sınaması, 132
üçgen düzgeler, 88
üretim fonksiyonu, 35
üst olabilirlik, L_U , 130
üst ve alt olasılık modelleri, 81
üyelik
 derecesi, 79, 83
 fonksiyonu, 82, 83, 116, 118, 156, 159, 161, 164, 166–168
üyelik fonksiyonu, 83
 üçgen, 83
 yamuk, 83
%-doğru tahmin göstergesi, 130
İEDT-Sınaması, 131
çıkarm, 68, 84
 tam
 exact reasoning, 71
 yaklaşık,approximate reasoning, 72, 87
çıkarm süreci, 85
çapraz esneklik, 12
 cross elasticity, 12
çapraz tahmin tablosu, 131, 133, 138

aşırı değer dağılımı, 55
ağırlık vektörü, 102
ağırlıklar, 92
akılcı
 ekonomik akılcılık, 4
 tüketici, 3
 tüketici davranış modeli, 39
 tüketici davranışı, 10
 tüketici modeli, 4
 tüketim modeli, 17
akılcılık, 3, 6
 yararlı,instrumental rationality, 6
Akiyama, 99
akla yakın,plausibility, 77
algılama-akılcılık, 10
algılar, 4
anket formu, 120
arada olma teorisi,betweeness theory, 88
Aristo, 64, 66, 84
 mantığı, 65
arz-talep, 11
ateşleme
 kural, 86
atomik kelime, 83
ayrık seçim teorisi, 12
ayrımcılık çözümlemesi,discriminant analysis, 106

bütçe
 doğrusu, 22
 kısıtı, 21, 23, 29, 51
başarım ölçütleri, 119, 127
bağdaşık piyasa, 126
bağdaşık,homojen
 fonksiyon, 30
 olmayan piyasa, 33
bağlantılar, 92
bahis oranı, 127
bakışım,simetri, 89
BART, 41
Bayesian olasılılığı, 80
belirgin, 69
belirginlik,specifity, 133
belirli,certainty, 69
belirsiz, 69, 81
belirsizlik, 11, 64, 68–70, 72, 74, 95
 öznel, 75
 modellenmesi, 76
 nesnel, 74
Bernoulli denemesi, 129
bilgi, 70
bilişsel işlem, 5
bireysel yarar fonksiyonu, 50
biriktirme,accumulation, 86
birleşim, 89
 bulanık küme, 88
Black,Max, 73
Brzoska, 6
Buddha, 65
bulanık, 72, 81
 küme, 81, 82
 mantık, xv, 81
 mantık sistemi, 82
 sistem, 81
bulanık ifade, 85
bulanık kural, 84
bulanık mantık, 99, 106, 107, 176

Chicago’lu adam, 6, 10, 11
Choice process, xvii
coveb modeli, 35

D.T. Oranı, 136
düzeltilmiş- R^2 , 136
düzge
 bulanık mantık, 89
dağılım
 chi-kare, χ^2 , 130, 132
 Chi-kare, χ^2 , 128
 normal, xiv, 129
 tip-I aşırı değer, xiv, 41, 129
davranış, 1, 5
 akılcı(rasyonel), 3
 insan, 1
 tüketici, 3
 temel davranış modeli, 1
davranışsal karar teorisi, 3

- DEĞİL(NOT), 88
değişken
 maliyet, 145
 zaman, 145
Dempster, 81
deneysel etken belirleme
 factorial experiment design model, 118
denge durumu, 35
derece, 75
deterministik yöntem, 38
deterministik seçim fonksiyonu, 45
dilsel değişken, 83
dinamik denge durumu, 35
doğru artı, TP, 133
doğrunun ifade formülü
 statement formula of truth, 67
Doughert, 109
Duncon, 40
durulaştırma, 82, 90
 ağırlık merkezi, 90
 en-yüksek değerler ortalama, 91
 ilk-enyüksek değer, 91
 son-enyüksek değer, 91
 super-center, 90
 yükseklik, 90
duyarlılık,sensitivity, 133

eş-yarar eğrisi,isoutility curve, 18
eşik değeri, xii, 135, 171, 178
eğer-ise, 84
en büyük normal biçim,maximum normal form, 83
en küçük normal biçimdedir,minimum normal form, 84
enbüyük olabilirlik, 101, 125, 131, 138
enbüyük olabilirlik
 maximum likelihood, 41
enbüyük olabilirlik fonksiyonunu, 102
enerji fonksiyonu, 103, 127, 131
enhızlı düşüş, steepest descent, 103
enküçük kareler, 127
enküçük kareler-geri yayılma y. (EK-GY), 103
esnek hesaplama, 120, 127
esnek hesaplama yöntemleri, xv, 100, 174
esneklik, 28
 çapraz, 29, 119
 fiyat, 28, 31
 gelir, 28, 31
 maliyet, 28
 piyasa, 33
etki, 5
etkinleştirme (aktivasyon) fonksiyonu, 101
etmen, 68
EUAP, xii, 120, 121, 124, 126, 145, 155, 174
ev-iş yolculukları, 122

Finetti,Bruno De, 75
Finney, 104, 177
fiziksel olaylara dayanan doğru, 66

göreceli Sıklık Teorisi, 80
güdüler, 5
güven düzeyi, 128
güven katsayısı,factor of certainty, 85, 114
GADM, 174
geçiş özelliği,transivity, 16
gelir etkisi, 25
genelleştirilmiş maliyet, 125
genetik algoritmalar, 99, 109, 115
gereklik,necessity, 77
geri-yayılmalı,back-propagation, 103
giffen çıkmazı, 26
GYS, 137, 141, 144

hafıza etkisi, 176
hata
 Tip-I, 134
 Tip-II, 134
hata terimi ε , 46
hatalı-eşleme problemi,mismatch problem, 81
Hawas, 117
hesaplama ögesi, 92
HHS, 137

işleç
 bulanık, 86, 87
 matematik, 85
işlem akılcılığı, 5, 10
ihtimal gerçeği,contegent, 66
ikâme etkisi, 25
ilişki matrisi, corelasyon matrisi, 127
inanç, 70
inanç fonksiyonu, 75

küme
 bulanık, 71–73, 78
 klasik, 71, 88
 müphem, 73
 müphem,bulanık, 73
kısıtlanmış olabilirlik, L_o , 130
kıyaslamalı yargı Yasası
 law of comparative judgment, 39
Kalic ve Teodorovic, 114
Kanafani, 34
kappa (κ) istatistiği, 136
kayıtsız/kararsız, 17
kayıtsızlık, 19
kayıtsızlık eğrisi, 18, 27
kendiliğinden talep ,per se demand, 11
kesişim
 bulanık küme, 88
kesin, 69
kesin değil, 69
kesin,crisp, 86
kesin,precision, 69
kesinliksiz, 68, 69, 71, 72, 75
kestirim
 kalibrasyon, 96
Kikuchi,Shinya, 100
klasik değişken, 83
Kolmogorov-Smirnov sınaması, 175
Kosko, 68
kural tabanı, 84, 85, 106, 115

Lagrangian çarpanı, λ , 27
logistik eğri, 55
logit, 13
logit andırımı YSA, 105, 119, 148, 177
logit fonksiyon, 101

müphem, 72, 78
 vague/ambiguous, 72
mal
 düşük, 29
 düşük,inferior good, 24
 gruplaştırılmış, 16
 normal, 24, 29
 rekabetçi, 22
 rekabetçi,competitive goods, 16
 soyutlaştırılmış, 16
 tümleyici ,complementary goods, 16
 yığınlaştırılmış,bundles of goods, 16
maliyet, 125
Mamdani, 84, 156, 158, 164, 178
mantık
 çok-değerli, 71
 Aristo, 65
 Boolean, 88
 iki-değerli, 65, 68, 71, 73, 84, 87
mantıksal doğru, 66

mantıksal gerçek, 66
 mantıksal yanlış, 66
 marjinal etki, 127
 marjinal ikame oranı, marginal rate of substitution, 19
 marjinal yoğunluk fonksiyonu, 47
 Marscak, 40
 max, 79
 McFadden, 4, 10, 39, 40, 174
 melez modeller, 109
 Menger, K., 88
 min, 79
 model
 çoklu logit, 54
 çoklu logit (ÇLM), 41
 çoklu probit, probit, 59
 şartlı logit, conditional logit model, 41
 aşırı değer modelleri, GEV, 57
 ayrık seçim, 60
 bireysel seçim, 50, 95, 96
 Bulanık mantık, 138
 Court-Griliches... üretim, 50
 deterministik seçim, xiv, 125
 deterministik, 95
 deterministik seçim, 38
 ekonometrik seçim, 47
 ekonomik seçim, 126
 esnek hesaplama, 96, 113, 138
 evrensel logit, 57
 genelleştirilmiş aşırı değer modelleri, GADM, 60
 ikili logit, 103, 137
 katlı logit model (KLM), 57
 katmanlı çoklu logit model (KÇLM), nested logit, 41
 logistik, 41
 logit, 47, 95, 96, 99, 100, 111, 116, 125, 129, 135, 138, 171, 174
 olasılık dışı, 76
 probit, xiv, 40, 47, 129
 rastgele, 39
 rastgele seçim, 95, 125
 rastgele yarar (RYM), 41
 regresyon, 101
 seçim, 121
 Sinir-bulanık, 138
 sinir-bulanık, xvi, 109, 114, 116
 standart olmayan olasılık, 76
 tür seçimi, 96, 138, 174
 türel ayırım, 38
 türel dağılım, 120
 tabakalı logit model, 62
 ulaştırma, 95
 yolculuk dağıtım, 38
 YSA, 138
 modeller
 BM, 138, 171
 BM1, 156, 157
 BM2, 156, 158
 BM3, 156, 160
 BM4, 156, 161
 BM5, 156, 162, 163
 BM6, 156, 163
 bulanık mantık, 156
 esnek hesaplama, 146, 156, 164
 geleneksel, 138
 L, 137
 L1, 139, 150, 158, 177
 L2, 140, 150
 L3, 142, 150, 153, 178
 L4, 143, 153, 178
 L5, 144, 178
 L7, 155
 SB, 138, 176
 SB1, 165, 166
 SB2, 165, 167
 SB3, 165, 168, 172
 SB4, 165, 168
 SB5, 165, 169, 171
 SB6, 165, 170
 sinir-bulanık, 164
 YSA, 138
 YSA1, 146, 147, 150, 177
 YSA2, 147, 148, 150
 YSA3, 147, 149, 150, 154
 YSA4, 146, 150, 177, 178
 YSA5, 147, 152, 154
 YSA6, 153, 154
 YSA7, 146, 147, 155, 177, 178
 modeller: YSA, 146
 muğlak bkz. müphem, 72
 muğlaklık, 107

 nümerik-nicel, numeric-quantitative, 76
 neoklasik, marjinalist yaklaşım, 8
 Newton-Raphson, 102
 Nijkamp ve diğ., 111
 normalleştirme, 84

 olabilir, 74
 olabilirlik, 70
 derecesi, 79
 olabilirlik fonksiyonu, 75
 olabilirlik fonksiyonu, L , 129
 olabilirlik oranı, 131
 olabilirlik oranı sınaması, 129
 olabilirlik oranı, OO , 130
 olası, 74
 olası, 74
 olasılık, 70, 74, 80
 dağılımı, 96
 fonksiyonu, 75
 olasılık fonksiyonu, 76
 olasılık teorisi, 75, 79
 olasılık yoğunluk fonksiyonu, 34
 olasılıksal ölçüm uzayı, probabilistic metric space), 88
 olayın özyapısı, 74
 oran, 80
 belirginlik, 136
 duyarlılık, 136
 hata, 136
 kesinlik, 136
 ortalama yarar, 53
 ortalama yarar fonksiyonu, 56
 oyun teorisi, 3, 7

 Pareto, 34

 rasgele akılcılık, stochastic rationality, 11
 rastgele yarar fonksiyonu, xiv, 46
 rastgele yarar teorisi, random utility model, 40
 regresyon analizi, 93
 ROC-eğrisi
 tahmin gücü eğrisi, 133
 Russel, Bernant, 64

 sözlü anlaşma, 7
 sıfır hipotezi, H_0 , 130
 sıkıştırılmış zaman, 126
 sıklık, 75
 sınıflama problemi, 96
 sınırlandırılmış akılcılık, 6
 sınırlanmış akılcılık, bounded rationality), 6
 sinama, 127
 Sayed ve Razavi, 111
 SBB, 40, 55
 seçeneklerin birbirinden bağımsızlığı, 7, 40
 Schumacher ve diğ., 101, 102
 Schweizer ve Sklar, 88
 seçenekler, 5
 seçim, xii

olasılıkları, 40
 seçim akılcılığı, 10
 seçim basamaklama, choice hierarchies, 12
 seçim fonksiyonu, 45
 seçim olasılığı, 49, 52, 54
 seçim oranı, 42
 seçim süreci, 4
 seçim teorisi, 10
 sembolik-nitel, symbolic-qualitative, 76
 serbestlik derecesi, 128, 132
 sigmoid fonksiyonu, 101
 sinir-bulanık, 111
 sinir-bulanık sistemi, 117
 Slutsky-Schultz ilişkisi, 31
 Sokrat, xiii
 soncul kısım, 84
 sonculların çıkarımı, 87
 sosyal refah fonksiyonu, 33
 sosyo-ekonomik
 özellikler, 16
 standart model, 5
 standart talep teorisi, 12
 statik denge durumu, 35
 stok, yığın, 36
 stok, yığma, 8
 Sugeno, xii, 99, 164, 178

 t sınaması, 128
 t-conorm, triangular conormative, 87
 t-conorm, triangular conormative, 87–89
 t-norm, triangular normative, 87, 88
 t-sınaması, 114
 tüketim alanı, consumption field, 17
 tüketim etkinliği, 50
 tündengelim, 64
 tümevarım, 64
 tür seçimi, 12, 100, 109
 türe özgü sabit, 138
 türel ayırım, 95
 türel dağılım, 49
 tabaka, 92
 gizli, 92, 103
 tabakalandırma yaklaşımı
 trafication approaching, 34
 talep, xii
 ağrısı, 28
 fonksiyonu, 29, 30, 32
 piyasa, 32, 48
 ulaştırma, 32
 talep çözümlemesi
 ulaştırma(da), 15
 talep teorisi, 10
 talep:ulaştırma, 95
 tatmin, satisfaction, 10
 tekdüze
 monoton, 74, 89
 olamayan, non-monotonic, 76
 Thurstone, 39
 toplulaştırma
 aggregation, 85
 tutarlı, 70
 tutarlılık
 coherence, 67

 uyuşma
 correspondence, 67
 uyuşma teorisi, 67
 uyum-iyiliği, 138, 178
 uyum-iyiliği istatistiği, 131
 uyum-iyiliğini, 135
 uyumlu, 70
 uyumluk, compability, 86
 uzay
 ölçüm, 75, 88

alt, 70
 evrensel, 70
 gerçek, 69, 76

 VE, 87
 VE(AND), 88
 veri, 69
 VEYA(OR), 88
 Vythoulkas, 109, 111
 Vythoulkas ve Koutsopoulos, 116

 wald sınaması, 128

 yük taşımacılığı, 113
 YAŞ, 137, 141
 yanlış eksi, FN, 133
 yapay sinir ağları (YSA), 92
 yarar, 5, 10, 11
 beklenen enbüyük, 60
 bileşke, 17
 deterministik, xiv
 fonksiyonu, xiv, 18, 27, 45, 51, 55
 göreceli, 16
 haritası, 19
 kullanıcı, 126
 marjinal, 16, 20, 27
 rastgele, xiv
 temsili, 54
 yarar, 16
 yoğunluk fonksiyonu, 60
 yolcu, 38
 yolculuk dağıtımı, 114
 yolculuk maliyeti, 121
 YSA, xv, 93, 96, 99, 100, 103, 105, 107, 176
 yunan felsefesi, 64

 Zadeh, 79, 84
 zaman, 121
 zaman değeri, xii, 21, 119, 125, 145, 148, 155

ÖZGEÇMİŞ

Yusuf Kağan DEMİR K.Maraş'ın Afşin ilçesinde 14/02/1973 yılında doğmuştur. Lise öğrenimini 1990 yılında Adapazarı Atatürk Lisesi'nde tamamlamıştır. Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 1995 yılında mezun olduktan sonra yine aynı bölümde Araştırma Görevlisi olarak göreve başlamıştır. Aynı sene içinde İ.T.Ü 'de yüksek lisans eğitimine hak kazanmış ve 1997 yılında yüksek lisansını tamamlamıştır. Halen İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Ulaştırma Anabilim Dalında araştırma görevlisidir.