



SIVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ

**Sosyal Bilimler Enstitüsü
İşletme Ana Bilim Dalı**

**ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME PROBLEMLERİNDE BULANIK
AHS VE YAPISAL EŞİTLİK MODELİ: DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜNDE
TEDARİKÇİ SEÇİMİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA**

Doktora Tezi

Ali Oğuz BAYRAKÇIL

Sivas

Eylül 2022

SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ

Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Ana Bilim Dalı

**ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME PROBLEMLERİNDE BULANIK
AHS VE YAPISAL EŞİTLİK MODELİ: DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜNDE
TEDARİKÇİ SEÇİMİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA**

Doktora Tezi

Ali Oğuz BAYRAKÇIL

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Ziya Gökalp GÖKTOLGA

Sivas

Eylül 2022

ETİK İLKELERE UYGUNLUK BEYANI

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü bünyesinde hazırladığım bu Yüksek Lisans/Doktora/Sanatta Yeterlik tezinin bizzat tarafımdan ve kendi sözcüklerimle yazılmış orijinal bir çalışma olduğunu ve bu tezde;

- 1- Çeşitli yazarların çalışmalarından faydalandığımda bu çalışmaların ilgili bölümlerini doğru ve net biçimde göstererek yazarlara açık biçimde atıfta bulunduğumu;
- 2- Yazdığım metinlerin tamamı ya da sadece bir kısmı, daha önce herhangi bir yerde yayımlanmışsa bunu da açıkça ifade ederek gösterdiğimi;
- 3- Başkalarına ait alıntılanan tüm verileri (tablo, grafik, şekil vb. de dahil olmak üzere) atıflarla belirttiğimi;
- 4- Başka yazarların kendi kelimeleriyle alıntıladığım metinlerini, tırnak içerisinde veya farklı dizerek verdiğim yine başka yazarlara ait olup fakat kendi sözcüklerimle ifade ettiğim hususları da istisnasız olarak kaynak göstererek belirttiğimi,

beyan ve bu etik ilkeleri ihlal etmiş olmam halinde bütün sonuçlarına katlanacağımı kabul ederim.

...../...../2022

Ali Oğuz BAYRAKÇIL

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	i
SİMGE VE KISALTMALAR.....	v
TABLO LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT	xv
GİRİŞ	1
I.BÖLÜM	7
1. LİTERATÜR.....	7
1.1. Tedarik Zinciri Yönetimi.....	7
1.2. Tedarikçi Seçimi Problemi	14
1.2.1. Tedarik Türleri.....	15
1.2.2. Tedarikçi Probleminin Karmaşık Yapısı	17
1.2.3. Tedarikçi Seçimi Probleminde Kriterler.....	18
1.2.3.1. Tedarikçi Bütünleşme Seviyesinin Seçim Kriterlerine Etkisi	19
1.2.3.2. Fiyat Kriteri.....	20
1.2.3.3. Kalite Kriteri	20
1.2.3.4. Teslimat Kriteri.....	21
1.2.3.5. Hizmet Kriteri	21
1.2.3.6 Esneklik Kriteri.....	21
1.2.3.7. Teknik kapasite Kriteri	21
1.2.3.8. Performans Kriteri	21
1.2.3.9. Finansal Durum Kriteri	21
1.2.3.10. Tesis Özellikleri Kriteri	22
1.2.3.11. Yenilikçilik Kriteri.....	22
1.2.4. Tedarikçi Seçiminde Kullanılan Yöntemler ve Sınıflandırılması	22

1.2.5. Tedarikçi Seçiminde Gerçekleştirilen Çalışmalar için Literatür Özeti..	25
1.3. Araştırma Sahası.....	31
1.3.1. Çeliğin Özellikleri, İmalatı ve Türleri	31
1.3.2. Demir Çelik Sektörü	33
1.3.3 Vasıflı Çelik Sektöründe Tedarikçi Seçimi Kriterleri	37
1.4. Literatürde AHS ve BAHS Uygulamaları	40
II.BÖLÜM.....	49
2. METODOLOJİ	49
2.1. Yapısal Eşitlik Modellemesi.....	49
2.1.1. Nedensellik Kavramı	49
2.1.1.1. Yalıtılmışlık	51
2.1.1.2. Birlikte Değişim.....	53
2.1.1.3. İlişkinin Yönü	53
2.1.2. Model Kavramı	54
2.1.2.1. Örtük Değişkenli Modeller	55
2.1.2.2. Ölçme Modeli	57
2.1.2.2.1. Ölçme Modellerinde Geçerlilik ve Güvenilirlik	60
2.1.3. Yapısal Eşitlik Modellemesi.....	63
2.1.3.1. Yapısal Eşitlik Modellemesinin Tarihçesi	63
2.1.3.2. Yapısal Eşitlik Modellemesinin Artıları ve Sınırlılıkları.....	65
2.1.3.3. Yapısal Eşitlik Modellemesinin Aşamaları.....	67
2.1.4. Yol Analizi.....	68
2.1.4.1. Standart ve Standart Olmayan Verilerle Yol Analizi.....	82
2.1.4.2. Çoklu Tam Doğrusallığın Yol Analizine Etkisi.....	83
2.1.4.3. Yol Analizinin Belirlenmesi	85
2.1.4.3.1. Tekrarlanan Modeller.....	86
2.1.4.3.2. Tekrarlanmayan modeller	87
2.1.4.3.3. İndirgenmiş Kalıp Denklemleri ve Kovaryans Yapısı Belirlenmesi	88
2.1.4.4. Yol Modellerinin Tanımlanması.....	91
2.1.4.4.1 Bazı Genel Tanımlama Kuralları	94
2.1.4.5. Model Parametrelerinin Tahmini	101

2.1.4.5.1. SEK ve AEK Tahmin edicileri	103
2.1.4.5.2. En Yüksek Olabilirlik Tahmini (EYO).....	103
2.1.4.5.3. Genelleştirilmiş En Küçük Kareler (GEK)	105
2.1.4.5.4. ADF Tahmin Edicisi	107
2.1.4.5.5. Tahmin Yöntemlerinin Karşılaştırılması	108
2.1.4.5.6. Etki Ayırıştırılması (Effect Decomposition).....	109
2.1.5. Faktör Analizi	110
2.1.5.1. Doğrulayıcı Faktör Analizinde Modelin Belirlenmesi	114
2.1.5.2. Doğrulayıcı Faktör Analizinde Modelin Tanımlanması	116
2.1.5.3. Doğrulayıcı Faktör Analizinde Model Parametrelerinin Tahmini	121
2.1.5.4. DFA’da Model Uyumunun Değerlendirilmesi ve Uyum İndeksleri	124
2.1.5.4.1. Ki-kare Testi	125
2.1.5.4.2. Karşılaştırmalı Uyum İndeksleri.....	127
2.1.5.4.3. Uyum İndeksleri Değerlendirme.....	129
2.1.6 Yapısal Model.....	130
2.1.6.1. Genel Yapısal Eşitlik Modelinin Belirlenmesi	130
2.1.6.2. Kovaryans Matrisi nin (Σ) Oluşturulması.....	132
2.2. Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi	137
2.2.1. Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi	137
2.2.1.1. Hiyerarşinin Kurulması.....	138
2.2.1.2. İkili Karşılaştırmalar	139
2.2.1.3. Ağırlıkların Bulunması	141
2.2.1.3.1 Özvektör Yöntemi.....	142
2.2.1.3.2 Toplama Yöntemi (Normalize edilmiş değerlerin ortalaması) ...	144
2.2.1.3.3 Geometrik Ortalama (Logaritmik En Küçük Kareler Yöntemi). 144	
2.2.1.3.4 En Küçük Kareler Yöntemi	145
2.2.1.3.5 Yeni Ağırlıklandırma Yöntemleri.....	145
2.2.1.4. AHS Yönteminde Tutarlılık.....	146
2.2.2. BAHS için Literatür İncelemesi	148
2.2.2.1. Bulanık Mantık	148
2.2.2.2. Bulanık Kümeler ve Bulanık Sayı	149
2.2.2.2.1 Üçgen Bulanık Sayılar	150
2.2.2.2.2 Yamuk Bulanık Sayılar.....	151

2.2.2.3 BAHS	152
2.2.2.4 BAHS uygulama adımları	154
III.BÖLÜM	163
3. BULGULAR	163
3.1. Yapısal Eşitlik Modeli Bulguları	163
3.1.1. Hiyerarşik Yapının Kurulması	163
3.1.2. Verinin Hazırlanması ve Anket Çalışması	165
3.1.3. Ham Verinin Betimsel İstatistikleri ve Değerlendirilmesi	165
3.1.4 AFA Bulguları	169
3.1.5 Birinci Düzey Doğrulayıcı Faktör Analizi ve Ölçme Modeli Bulguları	174
3.1.6 İkinci Düzey Doğrulayıcı Faktör Analizi ve Yapısal Model Bulguları	180
3.2. BAHS ile Tedarikçi Seçimi	184
3.2.1. Karşılaştırma Matrislerinin Oluşturulması	187
3.2.2. Karşılaştırma Matrislerinin Tutarlılık Hesaplamaları	188
3.2.3. Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması	194
3.2.4. Hiyerarşik Sentezleme ve Tedarikçi Skorlarının Hesaplanması	198
SONUÇ VE ÖNERİLER	203
KAYNAKÇA	207
EKLER	245
Ek: 1 Anket Formu	245
Ek: 2 Ana Kriter Karşılaştırma Formu	249
Ek: 3 Alt Kriterlere göre Tedarikçi Karşılaştırma Formu	250
Ek: 4 Alt Kriterlere göre Tedarikçilerin İkili Karşılaştırma Matrisleri	251
ÖZ GEÇMİŞ	259

SİMGE VE KISALTMALAR

2AEK	: İki Aşamalı En Küçük Kareler
3AEK	: Üç Aşamalı En Küçük Kareler
ADF	: Asymptotically Distribution Free
AEEK	: Ağırlıklandırılmış En Küçük Kareler
AEK	: Ağırlıklandırılmamış En Küçük Kareler
AFA	: Açımlayıcı Faktör Analizi
AGFI	: Adjusted Goodness of Fit Index
AHP	: Analitic Hierarchy Process
AHS	: Analitik Hiyerarşi Süreci
AI	: Artificial Intelligence
ANP	: Analytic Network Process
APICS	: American Production and Inventory Society
ASC	: Agile Supply Chain
AVE	: Avarage Variance Extracted
BAHS	: Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci
BL86, BL89	: Bollen Index
BOF	: Bazik Oksijen Fırını
BWM	: Best Worst Method
CA	: Cluster Analysis
CAK	: Index Adjusted from Akaike
CBR	: Case Based Reasoning
CFI	: Comparative Fit Index
CI	: Consistency Index
CIM	: Computer Integrated Manufacturing

CK	: Cross Validation Index
CN	: Critical N
CONJOINT	: Conjoint Analysis
COPRAS	: Complex Proportional Assesment
CR	: Composite Reliability
CR	: Consistency Ratio
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
ÇSM	: Çelik Servis Merkezleri
DA	: Discriminant Analysis
DDMİB	: Demir ve Demirdışı Metaller İhracatçıları Birliği
DEA	: Data Envelopment Analysis
DEMATEL	: Decision-making trial and evaluation laboratory
df	: Degree of Freedom
DFA	: Doğrulayıcı Faktör Analizi
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
EAO	: Elektrik Ark Ocağı
ECVI	: Expected Cross Validation Index
EDAS	: Evaluation Based on Distance from Average Solution
EKK	: En Küçük Kareler
ELECTRE	: Elimination et choix traduisant la réalité
ES	: Expert Systems
EYO	: En Yüksek Olabilirlik
FAHP	: Fuzzy Analitic Hierarchy Process
FIML	: Tam Bilgi En Yüksek Olabilirlik
FST	: Fuzzy Set Theory
FUCOM	: Full Consistency Method
GA	: Genetic Algorithm

GD	: Gizli Değişken
GEK	: Genelleştirilmiş En Küçük Kareler
GFI	: Goodness of Fit Index
GP	: Goal Programming
GTİP	: Gümrük Tarife İstatistik Pozisyon Kodları
IFI	: Incremental Fit Index
ISM	: Imperative Structural Modeling
İF	: İndüksiyon Ocağı
JIT	: Just in Time
KDM	: Kategorik Değişkenli Modeller
LÇ	: Lagrange Çarpanı
LEKK	: Logaritmik En Küçük Kareler
LP	: Linear Programming
MCDM	: Multi Criteria Decision Making
MCMC	: Markov Chain Monte Carlo
MKEK	: Makine Kimya Endüstrisi Kurumu
MOORA	: Multi-objective Optimisation by Ratio Analysis
MOP	: Multi Objective Programming
MR	: Multiple Regression
MSV	: Maximum Shared Variance
NFI	: Normed Fit Index
NN	: Neural Networks
NNFI	: Nonnormed Fit Index
PCA	: Principal Component Analysis
PROMETHEE	: Preference Ranking Organisation Method for Enrichment of
QFD	: Quality Function Deployment
RI	: Random Index

RMSEA	: Root Mean Square Error of Approximation
RNI	: Relative Noncentrality Index
SA	: Software Agent
SAW	: Simple Additive Weighting
SEK	: Sıradan En Küçük Kareler
SEM	: Structural Equation Modeling
SRMR	: Standardized Root Mean Square Residual
SWARA	: Stepwise Weight Assesment Ratio Analysis
TCO	: Total Cost of Ownership
TÇÜD	: Türkiye Çelik Üreticileri Derneği
TG	: Tutarlılık Göstergesi
TLI	: Tucker Lewis Index
TO	: Tutarlılık Oranı
TOBB	: Türkiye Odalar Borsalar Birliği
TOPSIS	: Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal
TQM	: Total Quality Management
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
ÜBS	: Üçgen Bulanık Sayı
VIF	: Variance Inflation Factor
VIKOR	: Visekriterijumska optimizacija i kompromisno resenje
VZA	: Veri Zarflama Analizi
YA	: Yol Analizi
YBS	: Yamuk Bulanık Sayı
YEM	: Yapısal Eşitlik Modellemesi

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1. Tedarik Zinciri Yönetiminin Unsurları ve Faaliyetler	12
Tablo 1.2. Tedarik Zincirinde Geliştirilen İşbirliğinin Muhtemel Faydaları	14
Tablo 1.3. Tedarikçi Seçiminde Kullanılan Bazı Yöntemler ve Açılımları	23
Tablo 1.4. Yakın Dönem Tedarikçi Seçimi Çalışmalarında Kullanılan Yöntemler..	28
Tablo 1.5. AHS Yöntemiyle Yapılan ilk Uygulamalar ve Uygulama Alanları.....	41
Tablo 2.1. Yol Analizi Gösterimi	69
Tablo 2.2. Yol Analizi için Tanımlanma Kuralları	99
Tablo 2.3. Etkilerin Ayrıştırılması (Jöreskog ve Sörbom 1982: 409)	110
Tablo 2.4. Karmaşık Göstergeli DFA Modelleri için Tanımlama Kuralları	121
Tablo 2.5. Bazı Uyum İndeksleri	126
Tablo 2.6. Saaty'nin Tercih Ölçeği	139
Tablo 2.7. Farklı Matris Boyutlarına göre Tesadüfîlik Göstergesi	147
Tablo 2.8. Farklı BAHS yöntemlerin Karşılaştırılması.....	155
Tablo 2.9. Bulanık Karşılaştırma Ölçeği.....	156
Tablo 3.1. Anket Çalışmasında İncelenen, Uygun Bulunan, Ulaşılan ve Dönüş Alınan İşletme Sayıları.....	165
Tablo 3.2. Ham Verinin Betimsel İstatistikleri	167
Tablo 3.3. Çoklu Eş Doğrusallık Tablosu	169
Tablo 3.4. AFA Ortak Varyanslar Tablosu	170
Tablo 3.5. AFA Kalıp Matrisi ve Faktör Yükleri.....	171
Tablo 3.6. Nihai Modeldeki Değişkenlerin Ortak Varyansları	172
Tablo 3.7. Nihai Model AFA Kalıp Matrisi ve Faktör Yükleri	173
Tablo 3.8. Nihai Modeldeki Faktör Korelasyonları	174
Tablo 3.9. Ölçme Modelindeki Ana Kriterler Arası Korelasyonlar.....	177
Tablo 3.10. Ölçme Modelindeki Uyum İyiliği Değerleri.....	178

Tablo 3.11. Ölçme Modelindeki Regresyon Katsayıları	179
Tablo 3.12. Ölçme Modeli için Geçerlilik ve Güvenilirlik	180
Tablo 3.13. İkinci düzey model için bulgular.....	182
Tablo 3.14. Yapısal Model için Uyum İyiği Değerleri	183
Tablo 3.15. YEM Yöntemiyle Elde Edilen Alt Kriter Ağırlıkları.....	184
Tablo 3.16. İkili Karşılaştırmalar için Sözel Yargılar ve Bulanık Sayı Karşılıkları	187
Tablo 3.17. Ana Kriterler için Karar Vericinin Yaptığı Karşılaştırmalar	188
Tablo 3.18. Ana Kriterler için Bulanık Karşılaştırma Matrisi.....	188
Tablo 3.19. Durulaştırılmış Karşılaştırma Matrisi.....	189
Tablo 3.20. Durulaştırılmış Karşılaştırma Matrisinin Normalize Edilmesi	191
Tablo 3.21. Tutarlılık Oranının Hesaplanması	192
Tablo 3.22. Farklı Matris Boyutları için Tesadüfilik Göstergesi (RI).....	192
Tablo 3.23. Özvektör Yöntemiyle Tutarlılık Oranının Hesaplanması	193
Tablo 3.24. Ana Kriterler için Bulanık ve Son Ağırlıkların Hesaplanması	195
Tablo 3.25. Hesaplanan Alt Kriter Ağırlıkları.....	196
Tablo 3.26. Çalışanların Eğitim Düzeyi Bakımından Bulanık Karşılaştırma Matrisi	197
Tablo 3.27. Alt Kriterlere Göre Tedarikçilerin Son Ağırlıkları ve Matris Tutarlılıkları.....	197
Tablo 3.28. Alt Kriterlerin Tedarikçi Seçimi için Genel (global) Ağırlıkları - w_k ..	199
Tablo 3.29. Tedarikçilerin Öncelik Ağırlıkları.....	200
Tablo 3.30. Tedarikçilerin Ana Kriterlere Göre Ağırlıkları	200

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Tedarik Zinciri Türleri (Mentzer vd. 2001).....	9
Şekil 1.2. Tedarik Zinciri Yapısı.....	10
Şekil 1.3. Tedarikçi Seçimi Sürecine Etki Eden Faktörler	16
Şekil 1.4. Tedarikçi Seçimi Yöntemleri için Simic vd. (2017: 89)'nin Sınıflandırması	24
Şekil 1.5. Türkiye’de Kurulu Demir Çelik Tesisleri (TÇÜD: 2017).....	35
Şekil 2.1. Yol Modeli Örneği.....	51
Şekil 2.2. Örtük değişkenli modeller için örnek	56
Şekil 2.3. Ölçme modeli için örnek	58
Şekil 2.4. YEM aşamaları (Kaplan 1990).....	68
Şekil 2.5. Yol analizi için Model-I	70
Şekil 2.6. Üç değişkenli iki örnek model.....	73
Şekil 2.7. Doğrudan ve dolaylı etki için örnek model	75
Şekil 2.8. Korelasyon içeren iki örnek yol modeli.....	77
Şekil 2.9. Değişkenler arasındaki ilişkilerin ayrıştırılması (Maruyama 1998: 37)...	79
Şekil 2.10. Yol analizinde, katsayılar ve korelasyon ilişkisine dair model	80
Şekil 2.11. Yol Analizi gösterimi için örnek model	86
Şekil 2.12. Tekrarlanan Modeller Örneği	87
Şekil 2.13. Tekrarlanmayan Modeller Örneği	88
Şekil 2.14. Tanımlama için örnek model	92
Şekil 2.15. Yapısal Model Örnekleri	96
Şekil 2.16. İki faktörlü DFA örnek modeli	115
Şekil 2.17. Tek faktörlü DFA örnek modeli	116
Şekil 2.18. Hiyerarşik gösterim	139

Şekil 2.19. Özvektör (Ağırlık) bulunması için bir yaklaşım algoritması.....	143
Şekil 3.1. Uygulamanın Hiyerarşik Gösterimi.....	164
Şekil 3.2. Tedarikçi Seçimi için Ölçme Modeli.....	175
Şekil 3.3. Tedarikçi Seçimi için Ölçme Modelinin Bulguları.....	176
Şekil 3.4. İkinci Düzey Model Diyagramı ve Çözümleme Değerleri.....	181
Şekil 3.5. BAHS Yönteminin Uygulama Algoritması.....	186



ÖZET

Rekabetçi ortamda stratejik önemi sebebiyle tedarikçi seçimi, işletmelerdeki en hayati faaliyetlerden birisidir. Doğru tedarikçilerin seçimi; maliyetlerin azaltılmasında, ürün kalitesinin artmasında hatta işletmenin hayatiyetinin devamında kilit bir role sahiptir. Tedarikçi seçimi problemi; çok amaçlı, çok kriterli ve çok aktörlü, nicel ve nitel kriterleri birlikte ihtiva eden bir problemidir. Yıllar içinde, tedarikçilerin etkin değerlendirilmesi ve seçimi için, birçok çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemi ve bütünleşik yaklaşımlar önerilmiştir. Ancak; Yapısal Eşitlik Modeli'nin (YEM) kriterler arasındaki ilişkilerin açığa çıkarılması ve anlamlı bir düzende gösterimine ilişkin potansiyeli ihmal edilmiştir. Çalışma; bu boşluğu doldurmayı amaçlamış ve YEM ile Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHS) yönteminin bütünleşik kullanımının imkanını değerlendirmiştir.

Sivas'ta kurulu, demir çelik sektöründe yer alan büyük ölçekli bir işletmenin tedarikçi seçimi problemi araştırma alanı olarak tayin edilmiştir. Üretim aşamalarında vasıflı çelik girdisi kullanan işletmelerin tedarikçi seçimi kriterlerinin ortaya çıkarılmasına yönelik bir piyasa araştırması gerçekleştirilmiştir. Seçim probleminde kullanılacak hiyerarşik yapı ve ilgili katsayılar, kriterlerin YEM yönteminde analiziyle elde edilmiştir. Belirlenen işletme için en uygun tedarikçinin seçimi dört tedarikçi arasından BAHS yöntemiyle yapılmıştır. YEM yöntemiyle elde edilen hiyerarşik yapı ve ilgili katsayılar tedarikçi seçimi modelinin BAHS safhasına aktararak seçim işlemi nihayetlendirilmiştir.

Çalışmanın başlangıcında tedarikçi seçimi probleminin genel bir çerçevesi çizildikten sonra, önerilen çözüm yöntemleri özetlenmiştir. YEM ve BAHS yöntemleri; kavramsallaştırma, uygulama ve eleştiri bakımından detaylıca incelenmiştir. Nihai olarak uygulama bölümünde bu iki yöntem bütünleşik biçimde kullanılarak belirlenen işletmede tedarikçi seçimi yapılmıştır.

Çalışmada YEM'de elde edilen ikinci düzey parametrelerin birbirlerine göre önem karşılaştırması yapmak için uygun olmadığı, sadece birinci düzey parametrelerinin BAHS yöntemine taşınabileceği bulunmuştur. Tedarikçi seçimi

için önerilen yaklaşım, bu seçimin hangi kriterlerle gerçekleştirileceği, daha geçerli bir hiyerarşinin kurulması ve birinci düzey parametrelerin aktarılmasıyla YEM yönteminin BAHS gibi diğer ÇKKV yöntemlerinde de kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Tedarikçi seçimi, Yapısal Eşitlik Modeli (YEM), Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHS), Vasıflı elik



ABSTRACT

Supplier selection is one of the most crucial activity performed by the organizations because of its strategic importance in competitive environment. Determining the right suppliers leads to reduce the costs, improve the quality of products and even plays a key role for the survival of the organizations. Supplier selection problem is a multiobjective, multicriteria and multiactor problem involving both quantitative and qualitative criteria. Over the years, several multi-criteria decision making techniques and integrated approaches have been proposed for effective evaluation and selection of the suppliers. However, the potential of Structural Equation Modeling (SEM) to unfold the relationships between criteria and to present them in a meaningful order is neglected. This dissertation aimed to fill the gap in this field and examined the possibility of using SEM integrated with the widely used Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) method in supplier selection.

Supplier selection problem of a large sized corporation located in Sivas, Turkey which is in steel manufacturing industry is appointed as research area. A market research is conducted in order to find out the proper supplier selection criteria in organizations that uses special steel parts in their production processes. Analysing the criteria by SEM, the hierarchial structure and relevant coefficients to be used in selection problem is achieved. Supplier selection problem of the predetermined corporation is carried out by the FAHP method among four suppliers. The hierarchy and the relevant coefficients of the supplier selection model obtained by SEM method incorporated into FAHP part and the selection procedure is completed.

After drawing a general perspective of supplier selection problem, techniques proposed in supplier selection problems are summarized. Conceptualization, application and criticism of SEM and FAHP methods are elaborated in detail. Finally, these methods are integrated to select the appropriate supplier of the determined corporation in the research part.

In the study, it was found that the second level parameters obtained in SEM were not suitable for comparing importance with each other, and only the first level parameters could be incorporated to the FAHP method. The proposed

approach for supplier selection has revealed that the SEM method can also be integrated with other MCDM methods as FAHP, with respect to the criteria should be used, the establishment of a more valid hierarchy and the transfer of first-level parameters.

Keywords: Supplier selection, Structural Equation Modelling (SEM), Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP), Special Steel



GİRİŞ

Geride bıraktığımız yüzyılın sonuna doğru yeniden kurgulanan jeopolitik durum ve teknolojik alanda yaşanan değişimlerin kazandırdığı ivmeyle, işletmeler artık küreselleşen ve özelleşen, şiddetli rekabetin hüküm sürdüğü bir ortamda faaliyet göstermektedirler. Değişken talepler, pazardaki yenilikler, teknolojik değişimler ve sistematik olmayan pazar trendleri işletmeleri bu değişken ortama ayak uydurma zorunluluğunda bırakmıştır. Bu rekabetçi ortamda, işletme içi faaliyetlerin geliştirilmesi yanında tedarikçi, dağıtıcı, perakendeci gibi diğer işletmelerle olan ilişkilerin düzenlenmesi de, işletmeler için değer yaratma sürecinin bir parçası olmuştur. Sürekli değişen ve neredeyse kaybolan coğrafi ve siyasi sınırların rekabeti körüklemesi, işletmeleri; maliyeti düşürecek, arzulanan müşteri memnuniyetini tesis edecek yeni ticari birlikteliklere yöneltmektedir. Dolayısıyla, işletmeyi bireysel bir olgu olmaktan öte tedarik, üretim, dağıtım aşamalarıyla ve bu aşamalarda ilişkide olunan işletmelerle bir bütün olarak ele almak; bütünü oluşturan parçalar arasındaki karmaşık iş ilişkileri ağının koordine edilerek yönetilmesi gerekli hale gelmiştir. Bu gerekliliğin neticesinde tedarik zinciri kavramı ve tedarik zinciri yönetimi doğmuştur.

Tedarik zincirinin performansı, zinciri oluşturan her bir halkanın performansına doğrudan bağlıdır. Birçok sektörde hammadde ve yardımcı ekipman maliyetleri işletmelerin tüm maliyetlerinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Dolayısıyla işletmelerin maliyeti azaltma yolundaki başarısında, tedarik birimlerinin faaliyetleri ve bu faaliyetler içinde de tedarikçilerin seçimi özel önem ifade eder. Muhtemel tedarikçiler arasından hangisi veya hangileri ile çalışılacağı işletmeler için amaçlanan hedeflere ulaşılması noktasında belirleyicidir. Tedarikçinin maliyet, kalite, teslimat ve hizmet performansı tedarik zincirinin hedeflerine ulaşmasında kilit rol oynar. Tedarik biriminin görevi yeterli kalitede, yeterli miktarda uygun fiyattan ve başarılı dağıtım kanallarıyla hammadde ve ekipman tedarikidir. Genel geçer kabul gören bu kriterlerin yanı sıra tedarikçinin performans ölçümü için başka birçok kriter ve alt kriter vardır. Bu bağlamda, tedarikçi seçimi problemi, ölçülebilen ve ölçülemeyen farklı kriterlerin beraber değerlendirilmesini gerektiren çok kriterli bir karar verme problemidir.

Tedarikçi Seçiminin, çok kriterli olmasının yanında, çok amaçlı ve çoklukla çok karar vericili bir problem olması, literatürde çok fazla yöntemin farklı uyarlamalarla veya bütünleşik kullanımlarıyla yeni yöntemler olarak önerilmesine yol açmıştır. ÇKKV problemlerinin bahsedilen karmaşık yapısını daha anlaşılır hale getirebilmek ve daha önce kullanılmaması sebebiyle, YEM ve BAHS yönteminin bütünleşik olarak kullanım imkanını araştırmak için bu çalışmada tedarikçi seçimi için bir yaklaşım önerilmiştir.

Araştırmanın amacı, imalat sanayinde kullanılan bir hammadde türü özelinde tedarikçi seçimi için uygun kriterleri belirleyerek, bu kriterleri mantıksal ve ilişkisel biçimde hiyerarşik olarak yapılandırmak, kurulan yapıyı test etmek ve seçilen ürün özelinde en uygun tedarikçinin seçileceği bir model önermektir. Yöntem olarak yapısal eşitlik modelinin tedarikçi seçiminde kullanımı yaygın değildir; bu yöntemin diğer analitik ve matematiksel modellerle birlikte kullanım imkânı ve geçerliliğinin araştırılması bu çalışmadan beklenen diğer bir amaçtır.

Tedarikçi seçimi için bir sistematığın geliştirilerek, işletme performansını belirleyen en önemli karar süreçlerinden olan tedarikçi seçiminin işletme beklentilerini en iyi düzeyde karşılayacak şekilde gerçekleştirilmesi ve bu sayede işletmelere rekabet ortamında avantaj sağlanması amaçlanmıştır.

Analitik hiyerarşi süreci yönteminin gerek tek başına gerekse de diğer yöntemlerle birlikte tedarikçi seçimi problemlerinde kullanımı yaygın olmasına rağmen, yapısal eşitlik modelinin tedarikçi seçimine katkısını ele alan çalışma sayısı birkaç tanedir. Bunlardan ilki Punniyamoorthy vd.'nin (2011) Hindistan'da bir kazan üreticisinin tedarikçi seçimi problemini konu edindiği çalışmadır. İlgili makalede üretici firmanın çelik hammadde tedariki için göz önünde bulundurduğu kriterler firma içinde anket yoluyla veri toplanarak elde edilmiş ve yapısal eşitlik modeliyle tedarikçi seçim kriterlerinin ağırlıkları bulunmuştur. Bulunan ağırlıklar çalışmanın ikinci safhasında BAHS yöntemiyle en uygun tedarikçinin seçimi için kullanılmıştır. Tez çalışmasının, adı geçen çalışmadan en önemli farkı, tedarikçi seçimi için kullanılacak kriterlerin değerlendirilmesinde sadece tek firmanın çalışanlarının görüşlerinin ötesinde, hedef bir sektörde faaliyette bulunan birçok firmanın değerlendirmesiyle tedarikçi seçimi kriterlerinin oluşturulmuş olmasıdır. Bu

çalışmada seçimi yapılacak tedarikçiler, vasıflı çelik üretme kabiliyetine sahip işletmeler olarak; seçim kriterlerini değerlendirenler ise bu ürünü girdi kullanarak imalat yapan sektör firmaları olarak belirlenmiştir. Başlangıçta sadece otomotiv yan sanayi firmaları üzerine yoğunlaşmış olsa da, çalışmanın ilk kısmında kullanılacak YEM yönteminin örnek sayısına duyarlılığı nedeniyle vasıflı çelik malzeme tedarik eden makina ve makina imalat, madeni eşya sanayi firmalarından da veri alınmıştır. Böylece, tek bir şirket yerine, imalatlarında vasıflı çelik kullanan üreticilerin tedarikçi seçimlerinde göz önünde bulundurdıkları kriterler ve kriterlerin önem dereceleri için genel bir değerlendirme imkânı aranmıştır.

Pipatprapa vd. (2016) ise Tayland'da yemek sektöründe benzer bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada şirketlerin çevre performansları değerlendirilirken, dikkate alınacak kriterler YEM ve BAHS yöntemleri birlikte kullanılarak tespit edilmiştir. Çalışmada tedarikçi seçimi yapılmamış, YEM ile sadece uygun kriterler tespit edilmiş, BAHS aracılığıyla kriter ağırlıklarının bulunmasıyla yetinilmiştir.

Tedarikçi seçimi literatüründe YEM kullanımının bahsedilen iki örnekle sınırlı olması, tez çalışmasının bu yöne evrilmesinde hareket noktası olmuştur. Tedarikçi seçimi problemi için kullanılacak ana ve alt kriterlerin önem seviyelerinin sınanması ve bu şekilde elde edilecek olan kriterlerin ağırlıklarının tedarikçi seçiminde kullanılması yapısal eşitlik yönteminin tedarikçi seçimine yapması beklenen katkılardan birisidir.

Uygulama sahası olarak tedarikçisi az sayıda olan bir ürün için sektör araştırması yapılmış; demir çelik sektöründe özelleşmiş imalatlar için ihtiyaç duyulan vasıflı çelik malzemenin tedarik edilebildiği az sayıda tedarikçinin bulunduğu tespit edilmiştir. Bununla amaçlanan, aralarından en iyisi seçilecek tedarikçilerin sayısını sınırlandırarak seçim için kullanılacak yöntemlerin hesaplamalarını karmaşık bir hale getirmemektir.

Çalışmanın kapsamına Türkiye'de faaliyette bulunan ve imalatlarında vasıflı çelik kullanan tüm işletmeler dahil edilmiştir. Tedarikçi seçimi için kullanılan bir yöntem münhasıran uygulandığı sektöre ve ele alınan ürüne indirgenemez. Geçerliliği test edilmiş ve bir uygulama alanında başarı olan bir tedarikçi seçim yönteminin diğer ürün ve sektörlerde de uygulanması olasıdır. Bu açıdan, yapılan

araştırmada öne sürülen model diğer sektörler için de tedarikçi seçiminde uygulama alanı bulabilecektir.

Bu tez çalışması üç ana bölüm olarak düzenlenmiştir. İlk bölümü oluşturan literatür kısmında; tedarik zinciri yönetimi ve tedarikçi seçimi problemine ana hatlarıyla yer verilmiş, tedarikçi seçimi probleminin önemi ve tedarikçi seçiminde kullanılan kriterlerin tanıtılmasından sonra, bu problemin çözümü için önerilen yöntemler ve yapılan çalışmalar özet olarak aktarılmıştır. Uygulamanın gerçekleştirildiği demir çelik sektörü, vasıflı çelik özelinde tedarikçi seçimi kriterleri açıklanmaya çalışılmış; uygulamada kullanılan BAHS yönteminin literatürdeki örnek çalışmaları için özet sunulmuştur.

Çalışmanın ikinci kısmını oluşturan metodoloji bölümünde; uygulamanın gerçekleştirileceği YEM ve BAHS yöntemleri üzerinde ayrıntılı olarak durulmuş; bu yöntemlerin tarihçeleri, geçirdikleri aşamalar, yöntemlerin uygulama aşamaları ve yöntemlere ilişkin eleştirilere yer verilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünü uygulama oluşturmaktadır. Bu kısımda; vasıflı çelik tedariki araştırma sahası olarak belirlenmiş ve imalatında vasıflı çelik girdisine ihtiyaç duyan ve bu ürünlerin satın almasını yapan Sivas'ta kurulu bulunan büyük ölçekli bir işletmenin vasıflı çelik tedarikçisi seçimi, uygulama problemi olarak ele alınmıştır. Uygulama iki safhadan oluşmaktadır. Vasıflı çelik tedarikçisi seçimi için, işletmeler tarafından önemli görülen kriterlerin belirlenmesinden oluşan ilk aşama için sektörel anket çalışması yapılmış ve elde edilen veriler yapısal eşitlik modeliyle değerlendirilmiştir. Uygulamanın ikinci safhasında ise ele alınan işletmenin vasıflı çelik tedarikçisi seçimi BAHS yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.

Kısıtlı sayıda tedarikçisi bulunan bu işletme, vasıflı çelik ürün grubu için dört muhtemel tedarikçi belirlemiş ve bu muhtemel tedarikçilerden en uygununun seçimi amacıyla bir bütünleşik model oluşturulmuştur. Tedarikçi seçimi modelinde kullanılacak uygun kriterlerin belirlenmesi amacıyla uygulamanın yapılacağı işletmeye benzer biçimde vasıflı çelik tedarik eden işletmeler detaylı sektör incelemesiyle tespit edilmiştir. Ağırlıklı olarak otomotiv, demir-çelik metal işleme ve makina imalat sektörleri olmak üzere havacılık,

ulaştırma, medikal ve madeni aletler sektörlerinde de vasıflı elik malzeme kullanımının dolayısıyla tedarikinin önemli olduğu görölmüştür. Münhasıran otomotiv yedek parça sektöründe çalışmanın yürütölmesi düşünölmüş olsa da bu sektördeki işletmelerin sayısının elde edilebilecek örnek büyüklüğu için yetersiz oluşu, imalatlarında vasıflı elik malzeme kullanan diğer sektörlerden veri alınmasını zorunlu kılmıştır. Sanayi rehberlerinden, üretici derneklerinin sayfalarından firmalara ulaşılmış, her bir firmanın web sayfası incelenerek, imalatlarında vasıflı elik kullanılıp kullanılmadığu değerlendirilmiş, uygun olmayanlar elenmiş, uygun olduğu düşünölenlerin irtibat adresleri, ulaşılabilecek yetkililere ilişkin bilgiler not edilmiştir.

Uygulamanın ilk aşamasında kullanılan anket formu için literatürdeki tedarikçi seçim kriterleri incelenmiş, geçerliliği test edilmiş bir ölçek olması ve araştırma sahasının benzeşmesi nedeniyle Punniyamooorthy vd.'nin (2011) alışmasında kullandığu kriterler esas alınmış, tedarikçi seçiminin yapılacağu işletme yöneticisinin de yönlendirmeleriyle bazı kriterler çıkarılmıştır. Ölçekte bulunmayan döviz kuru maliyeti kriteri çalışmaya eklenmiştir. Böylece anketin maddelerini oluşturacak ve vasıflı elik tedarikçisi seçiminde önemleri sınanacak kriter ve alt kriterler belirlenmiştir. Anket formu internet ortamında oluşturulmuştur (Ek: 1).

Önceden belirlenmiş işletmeler aranarak mümkün olduğuunca tedarik, imalat veya satınalma konusunda yetkili personele ulaşılmaya çalışılmıştır. Bağlantı kurulan yetkiliye kısaca tez çalışmasından bahsedilmiş, imalatlarında vasıflı elik malzeme kullandıkları teyit ettirilmiş, işletme ismi ve bilgileri saklı tutulması kaydıyla kendilerinden, gönderilecek olan anket formunu doldurmaları rica edilmiştir. Olumlu karşılık veren işletmelere e-posta aracılığu ile anket formunun bağlantısı gönderilmiştir. Anket çalışmasından elde edilen veriler YEM yöntemiyle özömlmeye tabi tutulmuş, anlamlı bulunmayan kriterler modelden çıkartılarak, kalan kriterlerle tedarikçi seçimi modeli için hiyerarşik bir yapı oluşturularak bu yapının geçerliliği test edilmiş, uygulamanın ikinci safhasına taşınacak ağırlıklar elde edilmiştir.

Uygulamanın ikinci bölümünde tedarikçi seçimi kriterlerinin birbirleriyle ve işletmenin ilgili malzemeyi tedarik edebileceğu tedarikçilerin de bu kriterlerde

performansları üzerinden kıyaslanacağı karşılaştırma matrisleri oluşturulmuş (Ek: 2, Ek: 3), işletme yöneticisi tarafından mukayesesi sağlanmıştır. Bu karşılaştırmaları içeren veri setleri kurulan hiyerarşi üzerinden BAHS yöntemiyle işlenerek tedarikçilerin ağırlıkları bulunmuş ve işletmeye göre tercih edirlilikleri belirlenmiştir.



I.BÖLÜM

1. LİTERATÜR

1.1. Tedarik Zinciri Yönetimi

Günümüzde iş hayatını en iyi karakterize eden kavram belirsizliktir (Merschmann ve Thonemann 2011). Bilişim ve iletişim olanaklarının da artışıyla sadece ürünler değil artık müşteriler, tedarik, üretim ve dağıtım fonksiyonları da küreselleşmiştir. Bu ise; işletmeler üzerindeki rekabet baskısını artırmakta, işletmeleri müşterilerin değişken taleplerine ve teknolojik değişime ayak uydurmaya zorlamaktadır. Ürün yaşam döngüsünün kısılması, rekabet avantajı ve maliyet baskısının artması da bu zorunluluğu pekiştirmektedir (Tang ve Musa 2011: 26). Bütün işletmeler varlıklarını devam ettirebilmek için başka işletmelerle ilişki halindedirler dolayısıyla en azından bir tedarik zincirinin parçasıdır. Bir işletme bu zincirin son halkasında bulunup doğrudan tüketiciye ürün satıyor veya bir ürün üretiyor bir hizmet sağlıyor veya doğrudan hammaddeyi temin ediyor olsun, her durumda bir diğer işletmenin ya tedarikçisi ya da alıcısıdır, dolayısıyla tedarik zincirinin bir parçasıdır.

Tedarik zinciri mal ve hizmetlerin tedarik veya satın alma, üretim ve nihai tüketiciye ulaşmasına kadar birbirini izleyen tüm halkaları kapsar. Bu aşamalarda ilişkide bulunan diğer işletmeler, işletme içi tüm iş süreçlerinde etkindir. Tedarik zincirinde, işletmenin satış süreci, üretim, envanter yönetimi, malzeme temini, dağıtım, tedarik, satış tahmini ve müşteri hizmetleri gibi iş süreçlerinin bütünü dikkate alınmaktadır.

Tan (2001: 39)'e göre 1990'larda birçok üretim ve hizmet işletmesinin, tedarikçileriyle iş birliği arayışı, tedarik ve satın alma işlevinin iyileştirilmesi çabası yeni bir kavram olarak tedarik zinciri yönetiminin doğuşunda başat rol oynamıştır. İşletmeler arası ilişkileri ve işletme fonksiyonlarının senkronize edilmesini ifade eden yönetim faaliyetlerin bütünü tedarik zinciri kavramıyla karşılamak yaygın olsa da literatürde; bütünleşik satınalma stratejisi, bütünleşik lojistik, tedarikçi

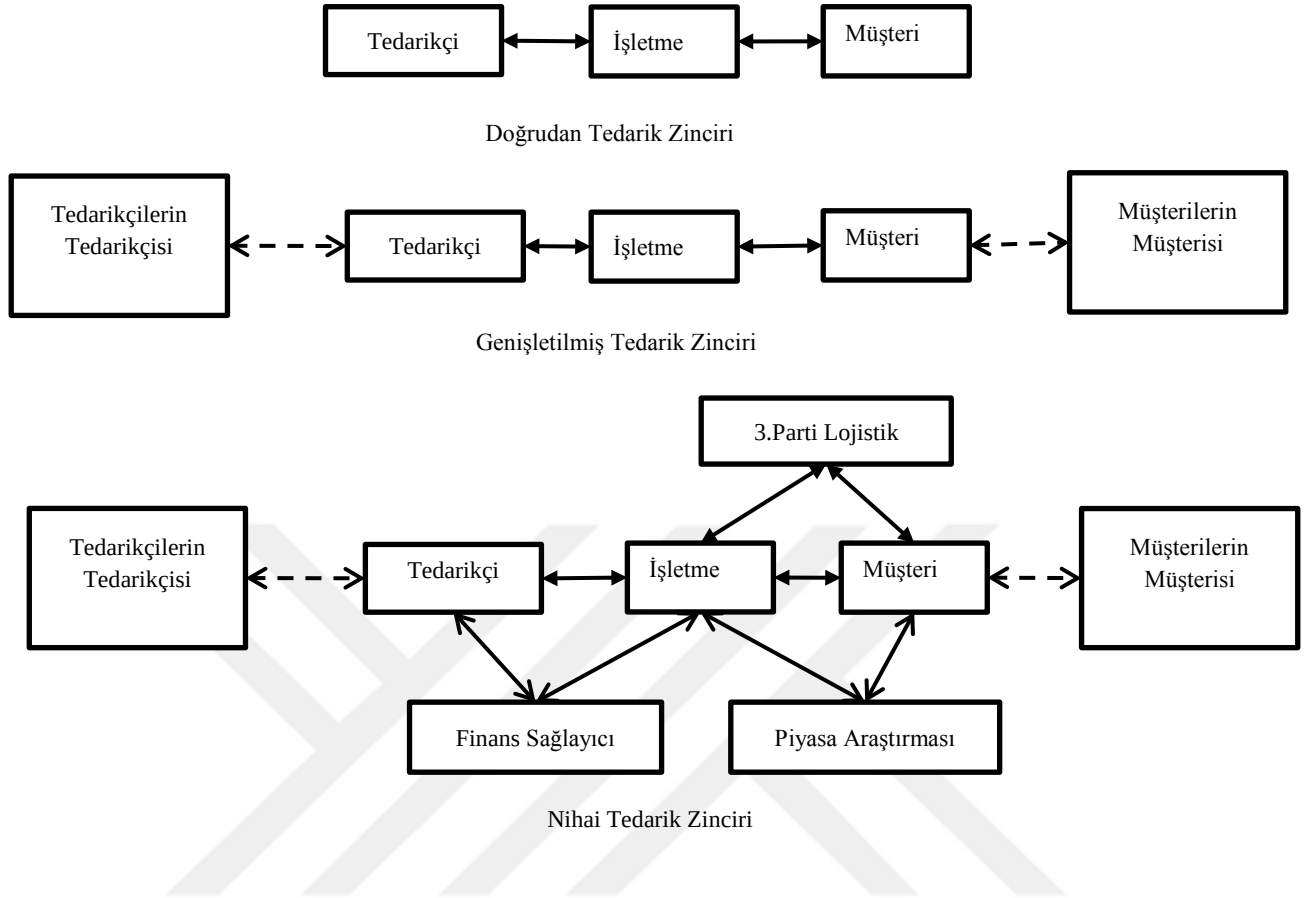
bütünleşmesi, alıcı-tedarikçi ortaklığı, tedarik üssü yönetimi, stratejik tedarikçi birlikteliği gibi kavramlar da kullanılmaktadır.

Stevens (1989: 4)' a göre tedarik zinciri; “hammaddelerin, yarı mamul ve mamüllerin tedarikçiden müşteriye ulaşmaya kadar planlanması ve koordine edilmesi ve kontrolünden oluşan bir dizi aktiviteler bütünüdür”.

Tedarik zinciri Mabert ve Venkataraman (1998: 538)'e göre; ”ürünün geliştirilmesi, malzemelerin tedarikçilerden temini, tesisler arasında malzemelerin taşınımı, ürünlerin imalatı, ürünlerin son kullanıcılara dağıtımı ve satış sonrası hizmetleri gerçekleştiren tesisler ve aktivitelerin ağıdır.”

Min ve Zhou (2002: 231) tedarik zincirini; hammadde veya parçanın temin edilmesi, son ürüne dönüştürülerek değer katılması, bu ürünlerin müşteri veya perakendecilere ulaştırılması ve işletmeler arasında bilgi akışının sağlanması hedefiyle, bir dizi işletmeler arası süreci senkronize eden bütünleşik bir sistem olarak tanımlamışlardır.

Tedarik zincirinin literatürdeki farklı tanımlarını derleyen Mentzer vd. (2001: 4) ise tedarik zincirini “ürün, hizmet, finans veya bilginin bir kaynaktan bir müşteriye ileri-geri akışında doğrudan bulunan üç veya daha fazla varlığın (işletme veya birey) bir kümesi” olarak ifade etmiştir. Bu tanıma dayanarak basitten karmaşığa doğru üç farklı tür tedarik zinciri tanımlanabilmektedir. Bir işletme, bir tedarikçi ve bir müşteriden oluşan “doğrudan tedarik zinciri”, tedarikçinin tedarikçilerinin ve müşterinin müşterilerinin de zincire dahil edildiği “geliştirilmiş tedarik zinciri”, zincir boyunca gerçekleşen faaliyetlerden ve yer alan unsurlardan herhangi birisiyle ilintili tüm varlıkların dahil olduğu kapsamlı yapı ise “ana tedarik zinciri” olarak isimlendirilmiştir. Ana tedarik zincirinde dışarıdan finansman desteği sunan işletmeler, zincirdeki işletmeler arasında lojistik hizmet sunan işletmeler veya piyasa araştırması firmaları üçüncü bir taraf olarak bu yapıya eklenmektedir. Üç tür tedarik zincirine ilişkin gösterim Şekil 1.1.'de sunulmuştur.

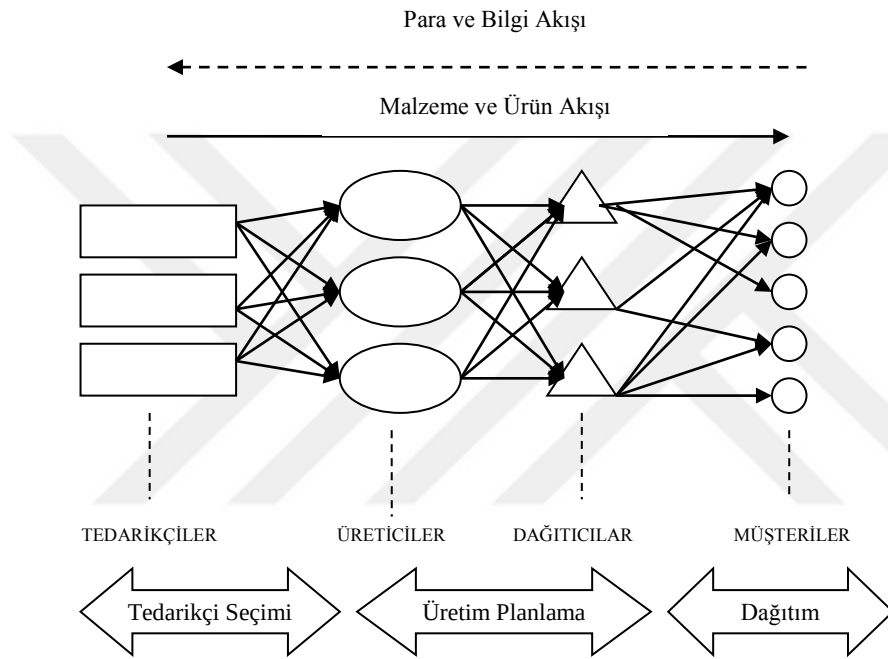


Şekil 1.1. Tedarik Zinciri Türleri (Mentzer vd. 2001)

Tedarikçiler, üreticiler, dağıtıcılar ve müşteriler bu tedarik zincirin halkalarını oluşturur. Zincir boyunca bu unsurlar arasında ürün, malzeme, bilgi ve para akışı oluşur. Bu akışın kontrol edilmesi çabası işletme fonksiyonlarını bu zincire dahil eder. Hammaddenin tedarikinden başlanarak ürünün, son ürüne dönüştürülmesi, depolanması ve dağıtılması operasyonlarını içeren süreçte, ürün akışı tedarikçilerden müşterilere doğru gerçekleşmektedir. Müşterinin düşük fiyat ve yüksek kalite beklentilerine uygun olarak işleyen bu süreçte bilgi ve para akışı ise ters yönde olmaktadır.

Tedarik zincirinin her birimi bağlantılı olduğu birimlerle etkileşim halindedir. Zincirin performansının artırılması bu etkileşimlerden oluşan yönetim fonksiyonlarının verimli işletilmesiyle mümkündür. Tedarikçi seçimi, üretim planlama ve envanter yönetimi, dağıtım ve lojistik, tedarik zinciri sürecinde, etkin yönetilmesi gereken aşamalar olarak belirmektedir. Tedarik zincirinin her bir

aşaması ayrı bir faaliyet alanı oluşturduğu gibi, tüm aşamaların bir bütün olarak ele alınıp değerlendirilmesi ve geliştirilmesi daha geniş bir çerçeveyi oluşturmaktadır. Tedarik zinciri yönetimi son yıllarda teoride ve uygulamadaki çalışmalarla birlikte literatürde geniş bir yer tutmaktadır. Bütünleştirilmiş tedarik zinciri yönetimi, tedarik zinciri optimizasyonu ve tedarik zinciri işbirliği birçok işletmelerin odaklandığı konular arasında yer almıştır. Yönetim fonksiyonlarından bir bölümünün de dahil edildiği tipik bir tedarik zinciri yapısı Şekil 1.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Tedarik Zinciri Yapısı

Tedarik zincirinin varlığı, bu zincirin halkalarının bu ilişkiyi yönetmesinden bağımsızdır. Dolayısıyla tedarik zinciri ve tedarik zinciri yönetimi kavramları bu noktada ayrılmaktadır. Tedarik zinciri zaten bulunan bir duruma, olguya işaret ederken, tedarik zinciri yönetimi bu yapıyı yönetme çabasıdır (Mentzer vd., 2001). Bu yapının yönetilme gerekliliklerini Stevenson vd. (2014: 31) şu şekilde listelemiştir:

1. Stok dalgalanmaları, geciken teslimatlar, kalite problemleri.
2. Satınalma, dağıtım ve lojistik faaliyetlerinin iyileştirilmesi gerekliliği.
3. Artan dış kaynak kullanımı.
4. Ulaştırma maliyetlerindeki artış.

5. Hızlı ürün çevrimi ve müşterilerin özelleşmiş ürün talebi dolayısıyla artan rekabet koşulları.
6. Küreselleşme kaynaklı kur dalgalanmaları, gümrük sıkıntıları.
7. E-ticaretin gelişmesi.
8. Tedarik zincirinin kırılgan ve dinamik yapısı.

Bu gereklilikler neticesinde icra edilen tedarik zinciri yönetimi; müşteriye, doğru ürünün, doğru zamanda, doğru yerde, doğru fiyata tüm tedarik zinciri için mümkün olan en düşük maliyetle ulaşmasını sağlayan malzeme, bilgi ve para akışının bütünleşik yönetimi olarak tanımlanabilir. Bir başka deyişle tedarik zinciri yönetimi, zincir içinde yer alan temel iş süreçlerinin entegrasyonunu sağlayarak müşteri memnuniyetini artıracak stratejilerin ve iş modellerinin oluşturulmasıdır.

Mentzer vd. (2001: 18)'e göre tedarik zinciri yönetimi, “bir bütün olarak tedarik zincirinin, bireysel olarak da her bir işletmenin uzun dönem performansını geliştirmeyi amaçlayan, zincirdeki işletmeler arası ve işletmelerin bünyelerindeki işletme fonksiyonlarının stratejik ve sistematik eşgüdümüdür”.

Amerika üretim ve stok kontrol cemiyeti APICS'in tanımına göre; “Müşteriye hizmet sağlayan ve ürüne değer katan firma içindeki ve dışındaki tüm fonksiyonların koordine edilmesidir.”

Paksoy (2005)'a göre, “bir tedarik zinciri; tedarikçiler, imalatçılar, dağıtıcılar, toptancılar, perakendeciler gibi çeşitli iş aktörlerinden oluşan bir ağda, hammadde temininden ürünlerin son tüketicilere dağıtım ve pazarlanmasına kadarki tüm iş süreçlerinin birlikte uyum içinde hareketini sağlamak üzere, malların ve bilginin akışını yöneten bütünleşik bir sistem olarak tanımlanabilir”.

Simchi-Levi vd. (2004: 52)'ye göre; “mamulün doğru miktarlarda, doğru yerde ve zamanda, gerekli müşteri hizmet beklentisinin karşılanarak, tüm sistem maliyetlerinin minimize edilip üretilmesi ve dağıtılması için, tedarikçilerin, üreticilerin, depoların ve mağazaların bütünleştirilmesinde yararlanılan bir yaklaşımlar kümesidir”.

Tedarik zincirinin yönetimi müşteriden başlamaktadır. Bu yönetimin merkezinde müşteri talebinin belirlenmesi ve bu taleplerin zincirin her bir düzeyinde

gerçekleştirilecek faaliyetlere aktarılması bulunmaktadır. Tedarik zinciri yönetimi unsurları ve faaliyetleri Tablo 1.1.'de sunulmuştur (Stevenson vd., 2014).

Tablo 1.1. Tedarik Zinciri Yönetiminin Unsurları ve Faaliyetler (Stevenson vd., 2014)

Müşteriler	Hangi ürün/hizmetlere talep olduğunun belirlenmesi
Talep Tahmini	Talebin miktarı ve zamanlamasının tayini
Tasarım	Müşteri talebinin ürün/hizmet tasarımına dönüştürülmesi
Kapasite Planlama	Talebin karşılanması
Üretim/Hizmet	İşin çizelgelenmesi, kalite kontrol
Envanter	Stok maliyeti gözetilerek talebe cevap verebilme
Satınalma	Tedarikçilerin değerlendirilmesi ve seçimi
Tedarikçi	Tedarikçi ilişkileri yönetimi ve tedarikçilerin takibi
Tesis Yerleşimi	Tesislerin yerleşimi
Lojistik	Malzeme ve bilgi akışının temini

Tedarik zinciri yönetimi, ürünün tasarımından, üretim ve satışına kadar tüm aşamalarda yer alan üretici, satıcı, müşteri, dağıtıcı ve bayi gibi unsurların tek bir çatı altında birbirine bağlandığı ve müşterinin almak isteyebileceği ürün ve hizmetin bu çatı altında üretildiği bir değer iş birliğidir. Bu iş birliğine hangi işletmelerin katılacağı ise tedarik zinciri ağının verimliliği açısından önemlidir. Bu iş birliğinde doğru ve uygun ortakların seçilmiş olması tedarik zincirinin uyumunu ve değerini artıracaktır.

Talluri ve Baker (2002), tedarik zinciri ağının oluşturulmasında çok aşamalı matematiksel bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntemde, zinciri oluşturan tüm halkalar için veri zarflama analiziyle (VZA) performans ölçümü yapılmakta, sonra konum, kapasite ve verimlilik kısıtları altında tamsayılı programlamayla çalışılacak olan işletmeler belirlenmekte, son aşamada ise ulaştırma yöntemiyle dağıtım kanalları ve sipariş miktarları bulunmaktadır. 18 tedarikçi, 47 üretici ve 13 dağıtıcının ele alındığı bu çalışmada, öncelikle VZA yöntemiyle bir eleme yapılarak uygun bulunanlar seçilmiş, kalanlar ise kısıtlar altında tamsayılı programlamayla bir elemeye daha tabi

tutulmuştur. Böylece tedarik zinciri ağına dahil edilecek olan tedarikçi, üretici ve dağıtıcılar belirlenmiştir. Son aşamada ise dağıtım miktarları ve optimal rotalar ulaştırma yöntemiyle bulunmuştur.

Tedarik zincirinin modellenmesinde literatürde kullanılan yöntemler Min ve Zhou (2002: 240) tarafından deterministik modeller, stokastik modeller, hibrit modeller ve bilişim teknolojisi modelleri olarak dört ana başlıkta sınıflandırılmıştır.

Tedarik zinciri türleri üretim felsefeleri bağlamında temel olarak üç kategoride sınıflandırılmaktadır. Bunlar: yalın tedarik zinciri, çevik tedarik zinciri ve hibrit tedarik zinciridir.

Yalın tedarik zinciri, zincir boyunca bir duraksamaya izin vermeyen, sürecin akışını kesintiye uğratmayan bir amaca göre biçimlenmektedir. Kurulum zamanlarının düşürülmesi, maliyetlerin azaltılması ve ürün özelliklerinin geliştirilmesi bu amaca hizmet eden faaliyetlerdendir. Tedarikçi seçiminde temel kriter maliyet ve kalitedir. Zincir boyunca düşük envanter seviyesi yakalanmaya çalışılmaktadır. Yüksek performans, düşük maliyet bu zincir yönetimini tarif etmektedir. Talep dalgalanmalarının olmadığı veya doğru tahmin edildiği ve çeşitliliğin az olduğu durumlarda yalın tedarik zinciri, verimlilik ve yüksek kar sağlamaktadır.

Çevik tedarik zinciri (ASC) ise temel olarak beklenmeyen talep değişimlerine cevap verebilmeye odaklanmıştır. Müşteri beklentilerini algılayarak olası değişimler karşısında hazırlıklı olmak, bu değişimin gerektirdiği talep dalgalanmalarına hızla cevap verebilecek bir organizasyon yapısına sahip olmak ASC'nin temel özelliklerindendir. Bu tür için tedarikçi seçiminde temel kriterler, hızlı teslimat, esneklik ve kalitedir. Olası talebi karşılamak için büyük stoklar tutulur. Çevik tedarik zinciri üretimini, müşteri talepleriyle şekillendirir. Christopher (2000: 38), müşterinin gerçek taleplerini anlamayı ve bunlara cevap verebilmeyi, alıcı-satıcı arasında açık bilgi paylaşımı ve sıkı işbirliğini çevik tedarik zincirinin sahip olması gereken özellikler olarak belirtmiştir.

İki tür tedarik zinciri yönetiminin karması olan hibrit zincir yapısını ise, ürünün son aşamada farklılaştırıldığı üretim biçimleri oluşturur. Dolayısıyla üretim

sürecinin başı yalın tedarik zincirine benzerlik gösterse de son aşaması müşteri beklentilerine odaklandığı için çevik tedarik zincirine benzemektedir.

Min vd. (2005: 250) tedarik zincirinde bulunan işletmeler arasındaki işbirliğinin güçlenmesiyle işletmelerin birçok alanda fayda sağlayacağını belirtmişlerdir (Tablo 1.2.).

Tablo 1.2. Tedarik Zincirinde Geliştirilen İşbirliğinin Muhtemel Faydaları (Min vd. 2005)

Karşılıklılık	Karşılıklı fayda ve sinerji
Verimlilik	Maliyet ve envanter azalması
	Teslimat süresinde azalma
	Tedarik zinciri sürecinin işlerliğinin artması
Etkinlik	Müşteri hizmetlerinin iyileşmesi
	Pazar payının artışı
	Yeni ürün geliştirilmesi
Karlılık	Yatırım getirisi ve satışlarda artış
İlişkilerin güçlenmesi	Güven ve bağlılığın artışı

Etkin bir tedarik zinciri yönetimi, işletmenin üretim ve pazarlamaya ilişkin faaliyetlerini olumlu yönde etkileyecek; daha fazla müşteri memnuniyeti, daha etkin ve verimli bir işletme olunmasını sağlayacak, daha düşük maliyetler ve daha yüksek kar ile istikrarlı büyümenin yolunu açacaktır.

1.2. Tedarikçi Seçimi Problemi

Etkin bir tedarik zinciri yönetimi için zincir boyunca gerçekleşen tüm faaliyetlerin iyileştirilmesi çabası literatürde farklı çalışma alanlarında karşılık bulmuştur. Bir bütün olarak tüm faaliyetlerin değerlendirilmesi ve iyileştirilmesi yanında; tedarikçi seçimi, üretim süreci ve dağıtım ağının müstakil bir problem olarak ele alındığı çalışmalar da yaygındır. Mevcut çalışmanın odağını tedarikçi seçimi problemi oluşturmaktadır. Tedarikçi seçimi; önceden belirlenmiş amaçlar ve karar kriterlerine uygun olarak bir tedarikçi havuzundan en iyi tedarikçi veya

tedarikçilerin seçildiği bir karar verme sürecidir (Wetzstein vd., 2016: 306). Tedarikçi seçimi süreci; tedarikçilerin değerlendirilmesi, sıralanması, bölümlenmesi ve seçimini ihtiva ettiğinden, literatürde bu isimlerle de karşılanmaktadır.

İşletmelerin satınalma faaliyetleri içindeki en önemli ve kritik süreç, işletmelere sağladığı büyük tasarruf sebebiyle tedarikçi seçimidir (Haq ve Kannan 2006: 826). Çünkü birçok sektörde hammadde ve yardımcı ekipman maliyetleri işletmelerin tüm maliyetlerinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır

Başarılı bir tedarik zinciri yönetimi için başarılı bir tedarikçi seçimi gereklidir. Bu sebeple işletmelerin maliyeti azaltma yolundaki başarısında tedarik birimlerinin faaliyetleri ve bu faaliyetler içinde de tedarikçilerin seçimi özel önem ifade eder. Tasarruf ve maliyetin yanısıra değişken talepler, pazardaki yenilikler, teknolojik değişimler ve sistematik olmayan pazar trendleri işletmeleri bu faaliyetin en doğru biçimde gerçekleştirilmesine zorlamaktadır. Tedarik faaliyetinden beklenen; arzu edilen kalitede, doğru miktarda uygun fiyattan ve başarılı dağıtım kanallarıyla hammadde ve ekipmanın tedarikidir. Muhtemel tedarikçiler arasından hangisi veya hangileri ile çalışılacağı tedarik zincirinde amaçlanan hedeflere ulaşılması için kritik önem arz etmektedir.

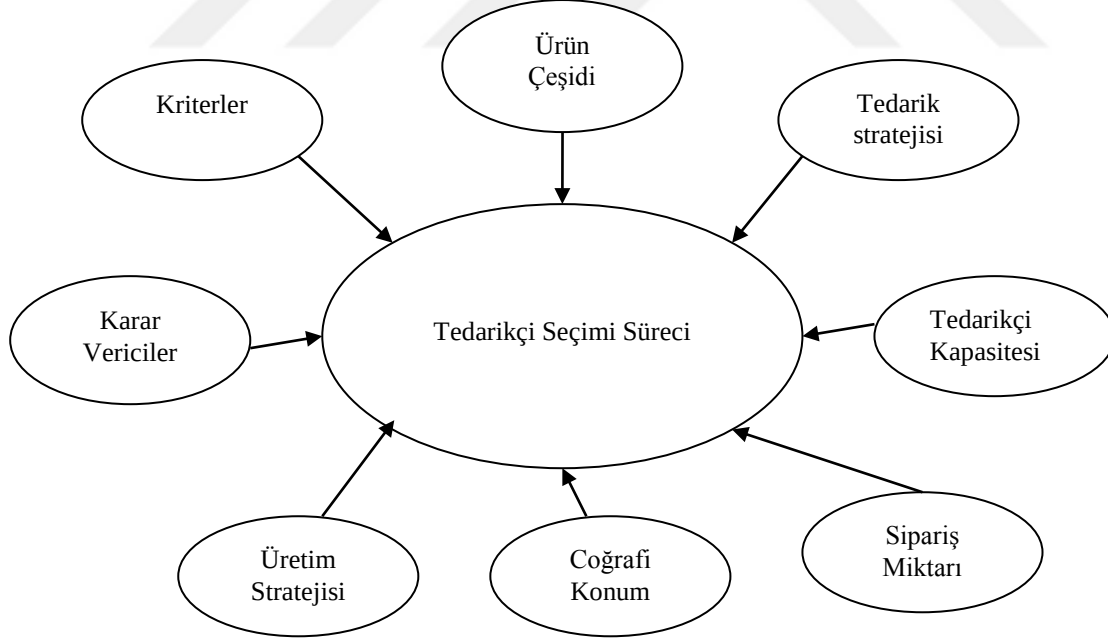
Az sayıda güvenilir tedarikçiyle çalışılması maliyet ve işlemler açısından fayda sağlasa da, gelecekte tedarikçiler açısından oluşabilecek öngörülemeyen riskleri barındırarak kırılganlığa yol açar. Fazla sayıda tedarikçi ise beraberinde yüksek maliyetleri getirecektir, öte yandan fazla sayıda tedarikçiyle çalışılması rekabetin getireceği kalite, düşük fiyat ve daha iyi hizmet avantajlarına sahiptir. Tedarikte beklenmeyen kesilmeler karşısında alternatiflerin çokluğu tedarik akışının devamlılığı açısından önemli bir güvencedir. Dolayısıyla çalışılacak tedarikçi sayısı maliyet ve risk arasında bir ödünleşmeyi gerekli kılar (Bayrakçıl 2007). Tedarikçi seçimi probleminin başarısı sadece hangi tedarikçiler ile çalışılacağına ilişkin tek bir seçim sonucu vermesinin ötesinde probleme ilişkin en iyi muhtemel çözümleri sunmasına da bağlıdır (Arunkumar vd., 2006: 1254).

1.2.1. Tedarik Türleri

Yapısı itibarıyla iki tür tedarikçi seçimi problemi tanımlanmıştır (Ghodsypour ve O'Brien,1998: 200); birincisi, tedarikçiler üzerinde hiçbir kısıtın bulunmadığı,

tedarikçilerin alıcının talep miktarı, kalite, dağıtım gibi tüm ihtiyaçlarına eksiksiz cevap verebildiği ve sadece en iyi tedarikçinin belirlenmeye çalışıldığı tek kaynaklı tedarikçi seçimi problemidir. Böyle durumlarda işletme sadece en iyi tedarikçiyi belirleyerek ihtiyacını tek kanaldan karşılayacaktır. İkinci tür tedarikçi seçimi probleminde ise tedarikçilerin kapasite, kalite ve sipariş büyüklüğü gibi nitelikleri sebebiyle kısıtlamaları vardır ve bu durum en uygun tedarikçilerin belirlenmesi ve sipariş miktarının bu tedarikçiler arasında bölünmesini içeren iki aşamalı bir karar vermeyi gerektirmektedir. Çok kaynaklı tedarikçi seçimi olarak adlandırılan bu problemde işletme ihtiyacını birden çok kanaldan karşılamak durumundadır.

Tedarikçi seçimi problemi çok sayıda faktörün etkilediği bir karar verme problemidir. Tedarikçi performanslarının ölçümü için kullanılacak kriterler, tedarikçilerin coğrafi konumları ve kapasiteleri, karar vericilerin tercihleri, ürün yapısı ve işletmenin tedarik politikaları, tedarik seçimi problemini çok kriterli bir problem haline getirmektedir. Tedarikçi seçiminde karar verme problemine etki eden temel bazı faktörler Şekil 1.3.'de gösterilmiştir (Wilson 1994).



Şekil 1.3. Tedarikçi Seçimi Sürecine Etki Eden Faktörler

Tedarikçi seçimi probleminde tedarikçilerin hangi ölçütler (kriterler) kullanılarak seçileceği, problemin niteliğini ve çözüm yöntemlerini belirlemektedir. Tedarikçinin maliyet, kalite, dağıtım ve hizmet performansı tedarik zincirinin hedeflerine ulaşmasında kilit rol oynar. Belirtilen ana kriterlerin yanı sıra tedarikçinin performans ölçümü için birçok kriter ve alt kriter vardır. Bu bağlamda, tedarikçi seçimi problemi, ölçülebilen ve ölçülemeyen farklı kriterlerin beraber değerlendirilmesini gerektiren çok kriterli bir problemidir. En uygun tedarikçilerin seçimi, kimi birbiriyle çelişen nicel ve nitel faktörler arasında ödünleştirmeyi gerektirir (Bayrakçıl 2007). Kapasite kısıtı da söz konusu ise problem olduğundan daha karmaşık hale gelir; yöneticiler hem hangi tedarikçilerin uygun olduğunu, hem de uygun tedarikçilere ilişkin miktarı belirlemek durumundadır.

1.2.2. Tedarikçi Probleminin Karmaşık Yapısı

Tedarikçi seçimi probleminin karmaşık bir problem olarak değerlendirilmesindeki nedenler şunlardır;

1. Seçilecek tedarikçiler için birden çok kriter vardır. Dickson (1966) 23, Dempsey (1978) 18 kriter saymıştır. Tullous ve Utecht (1994)' e göre ise tedarikçilerin seçiminde fiyat, kalite, teknik servis, dağıtım güvenliği ve süresi gibi 5 temel kriter esastır. Dolayısıyla tedarikçi seçimi problemi çok kriterli, çok amaçlı bir problemidir.

2. Her tedarikçinin farklı kriterler için farklı performans ölçütleri vardır. Bu kriterler birbirleriyle çatışabilir; en iyi fiyat veren tedarikçinin en iyi kaliteyi sunmama olasılığı olduğu gibi, en kaliteli ürünü sunan tedarikçinin de teslimatına ilişkin bir zayıflık bulunabilir (Wind ve Robinson 1968: 30). Bu ise kriterler arasında bir denge kurulmasını gerektirir. Bunun yanında JIT ve toplam kalite yönetimi gibi yeni üretim stratejilerinin uygulanması var olan seçim kriterlerinin yeniden düzenlenmesini ya da yeni kriterlerin eklenmesini gerekli kılabilir (Weber ve Ellram 1993).

3. Tedarikçilerin üretim kapasiteleri nedeniyle belirledikleri en az ve en çok sipariş miktarları tedarik sürecine sınırlama getirmektedir.

4. Teslimat süresine ilişkin kısıt bulunması diğer bazı kriterleri devre dışı bırakabilir.

5. Tedarikçilerin işletme politikası ve tedarik zincirinin dışsal etkisi sonucu, tedarikçi kotası, tedarikçi sayısı, en az ve en çok sipariş miktarları üzerinde yeni kısıtlar oluşabilir. Tedarik zincirinin işleminde gelişme ve karar alma sürecinde birimler arasında işlevselleşme satın alma biriminin halihazırdaki karar kriterlerinde değişime yol açacaktır.

6. Özellikle birden çok tedarikçiyle çalışılacağı durumlarda, olası seçeneklerden yapılacak çoklu seçimler, yapılacak değerlendirme sayısını artırmaktadır. Dolayısıyla tedarikçi alternatiflerinin fazlalaşması problemi daha karmaşık hale getirmektedir.

1.2.3. Tedarikçi Seçimi Probleminde Kriterler

Varolan tedarikçi alternatifleri arasından yapılacak bir seçimde öncelikli olarak bu seçimin hangi kriterler referans alınarak yapılacağı tayin edilmelidir. Weber vd. (1991) mevcut literatürde 74 çalışmada tedarikçi seçimi problemine tam zamanında üretim stratejisinin etkisini incelemiş; fiyat, kalite ve dağıtım kriterlerinin sırasıyla %80, %59 ve %54 oranında çalışmalarda yer aldığını tespit etmiştir (Weber ve Current,1993). Dickson (1966)' ın tedarikçi seçimi üzerine yaptığı çalışmada kullandığı 23 kriteri hareket noktası belirleyen bu çalışma, Dickson'un (1966) tedarikçi seçiminde fiyat, kalite ve dağıtım performansını temel kriterler olarak bulduğu çalışmasını desteklemiştir. Weber vd. (1991), bu 3 kriterin yanında coğrafi konum, kapasite ve olanaklar,teknik beceri gibi kriterleri de tedarikçi seçiminde belirleyici kriterler olarak saymıştır. Bu çalışma, fiyatın en önemli kriter olduğunun altını çizmiştir. Kalitenin ise fiyat ve dağıtım performansını takip ettiğini ortaya koymuştur. Roa ve Kiser (1980) ve Bache vd. (1987) tedarikçi seçimi için sırasıyla 61 ve 50 kriter saymışlardır.

Tedarikçi seçimi için temel kriterler kabul edilen fiyat, kalite ve dağıtım performansının yanında gelişen teknoloji ve artan rekabetin bir sonucu olarak esneklik, yenilikçilik ve müşteri hizmetleri gibi yeni kriterler tedarikçi seçiminde dikkate alınmaya başlamıştır (Olhager ve Selldin 2004). Farklı sektörlerdeki farklı firmaların hem sektörlerinin gerekliliği hem de özel koşulları sebebiyle daha farklı kriterleri ana kriterlere ekledikleri görülmektedir. Schmitz ve Platts (2004), Avrupa'da otomotiv endüstrisindeki işletmelerin, bilgi yönetimi, iş motivasyonu,

öğrenme, strateji oluşturma ve iletişim gibi faktörleri de tedarikçi seçimi için performans kriterleri olarak göz önünde bulundurduklarını söylemektedir.

Tedarikçi seçiminde temel kriterler genelde değişmese de her işletme için önem derecesi değişmekte, bazı diğer kriterler de mevcutlara eklenmektedir. Fiyat ya da maliyet önemli bir kriter olarak her işletme için geçerliliğini korusa da, en önemli kriter olmayabilmektedir. Woodside ve Vyas (1987), yöneticilerin daha iyi performans için % 4-6 arası daha yüksek bir maliyete razı olabildiklerini öne sürmüştür.

1.2.3.1. Tedarikçi Bütünleşme Seviyesinin Seçim Kriterlerine Etkisi

İşletmenin rekabet koşulları, işletme stratejisi ve tedarikçiyle bütünleşme derecesi tedarikçi seçimindeki kriter sayısını ve niteliğini belirlemektedir. Merli (1991) ve Masella ve Rangone (1995)' in, işletmenin tedarikçiyle bütünleşme derecelerine göre tedarikçi seçimi kriterlerine etkisini ele aldıkları çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre; bütünleşme derecesi ile kriter ilişkisi aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. derece: Bu seviyede bir bütünleşme olmadığı durumlar nitelenmiştir. Tedarikçi seçimi için temel kriterler fiyat ve kalitedir.

2. derece: Bu seviye, tedarikçi ve işletme arasında lojistik bütünleşmenin olduğu ve tedarikçinin işletmenin rekabeti açısından önem taşıdığı seviyedir. Bu yüzden işletme, tedarikçinin lojistik performansına özel önem vermelidir. Böyle durumlarda fiyat ve kalitenin yanında esneklik, tedarik kotası, gecikme süresi ve güvenilirlik gibi lojistik faaliyet kriterleri de hesaba katılmalıdır.

3. derece: Bu seviyede işletmeyle tedarikçi arasında operasyonel bütünleşme söz konusudur. Genellikle bu tam zamanında üretim (JIT) ve toplam kalite yönetimi (TQM) gibi üretim stratejilerinin benimsenmesiyle oluşur. Böyle durumlarda tedarikçinin ürününü özelliklerine göre değerlendirmenin ötesinde bu ürünün nasıl üretildiği, hangi süreçler kullanılarak üretildiği gibi kriterler devreye girmektedir. Kalite perspektifinden bakılacak olursa aynı imalat hatasına sahip iki tedarikçiden, daha az kalite kontrol işlemi yapan tercih edilecektir çünkü kalite kontrol sürecindeki bir iyileşme imalat hatasında düşüşe yol açabilecektir. Bu düzey bir bütünleşmenin

getirdiği yeni kriterlerden bazıları süreç yönetimi, üretim katile büyüklükleri ve aylak sürelerdir.

4. derece: Bu seviyede bütünleşme önceki aşamalardan daha derindir. Tedarikçinin insan kaynakları; kültür, tasarım bilgisi ve yönetsel beceri gibi özellikleri işletme için önemlidir çünkü işletme hem ürün hem de süreçlerde bir eşgüdüm talebindedir.

5. derece: Stratejik anlamda bir bütünleşme vardır. Tedarikçinin işletmenin stratejik hedeflerine uyması beklenir.

Tedarikçi seçiminde önem atfedilen ve kullanılan bazı kriterler kısaca açıklanmaya çalışılmıştır.

1.2.3.2. Fiyat Kriteri

Tedarik edilecek bir hizmet ya da ürünün seçiminde, bu işlem için işletmenin katlanacağı maliyet, tedarik işlemlerinde en çok dikkat edilen noktalardan birisidir. İşletmeler sadece mecbur oldukları için değil, kendi faaliyetlerinin bir bölümünü daha düşük maliyetle dışarıya yaptırabildikleri için bir hizmeti veya ürünü satın alabilmektedir (Dış kaynak kullanımı). Satın alma maliyeti, tedarik edilen miktara göre değişebilmektedir (Miktar indirimleri). Böyle durumlarda, tedarik miktarının fiyatla etkileşimi dikkate alınmaktadır.

1.2.3.3. Kalite Kriteri

Tedarik edilecek ürünün kalitesi ve performansı kimi zaman fiyat kriterinin önüne geçebilmektedir. Satın alınan bir ürünün kalite veya performansındaki eksiklik, üretim ve sipariş kesintilerine yol açabilmekte, ürünün tamiri, değiştirilmesi gibi zaman ve maliyet yükü getirmekte, müşteri kayıplarına yol açabilmektedir. Fiyat uygunluğu nedeniyle tercih edilen bir tedarikçi, kalite ve performans eksikliği nedeniyle seçim tercihi sebebi olan fiyat avantajını yitirebilmektedir. Tedarikçinin iş birliği için uyguladığı kalite kontrol süreci, kalite standartlarına uyumu ve sertifika sahipliği, üretimindeki hata oranı gibi alt faktörler genellikle kalite kriteri altında değerlendirilmektedir. Toplam kalite yönetimi (TQM), tam zamanında üretim (JIT) gibi yeni stratejilerle yakınlık doğru tedarikçi seçimi için kalite kriterinin detaylı değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır.

1.2.3.4. Teslimat Kriteri

Tedarikçinin siparişini zamanında teslim etmesi çalışılan işletmenin faaliyetlerinin aksamaması için önemlidir. Tedarikçinin süresinde teslimat yapabilmesi için üretim ve dağıtım esnekliğine sahip olması, üretim kapasitesinin yeterli oluşu ve taşıma maliyetleri gibi alt kriterler genellikle bu ana kriter altında ele alınır. Verilen taahhüt ve programa uygun bir teslimatın yanında, güvenli bir teslimat prosedürüne sahip olunması da dikkat edilen faktörlerdendir.

1.2.3.5. Hizmet Kriteri

Tedarikçinin işletmeyle iş birliği içinde çalışabilmesi için rahat iletişim kanallarına ve imkanlarına sahip olması gerekir. Hatalı ürünlerin geri dönüşü, teknik destek, garanti koşulları, müşteri hizmetlerinin verimliliği, iş birliğinin kalitesini artıracaktır. Satış sonrası destek ve yedek parça güvenliği de genelde bu başlık altında ele alınır.

1.2.3.6 Esneklik Kriteri

Üründe talep edilecek tasarım değişikliklerine, ürün bileşimi değişikliklerine, ve ürün hacmindeki değişikliklere hızlı tepki verebilmesi tedarikçi için artı özelliklerdir. Bu kriter bazen yenilikçilik kriteri altında yer alır.

1.2.3.7. Teknik kapasite Kriteri

Teknik problemleri çözme becerisi, teknik eleman yeterlilikleri ve araştırma geliştirme birimlerinin etkinliği, teknik kapasite altında değerlendirilen faktörlerdendir.

1.2.3.8. Performans Kriteri

Tedarikçi için geçmiş dönem tecrübelerinden edinilen, dürüstlük ve şeffaflık, iş birliği, olumlu yaklaşım gibi özellikleri geçmiş dönem performans kriteri olarak değerlendirilir.

1.2.3.9. Finansal Durum Kriteri

Kredi derecelendirme durumu, finansal itibar ve likidite durumu, finans özelliklerini niteleyen ana kriter etrafında ele alınan faktörlerdendir.

1.2.3.10. Tesis Özellikleri Kriteri

Tedarikçinin yerleşimi ve konumu temel olmak üzere, kapasite kullanımı, ekipman ve işgücü gibi faktörler genellikle tesis özellikleri kriteri altında ele alınırlar.

1.2.3.11. Yenilikçilik Kriteri

Artan rekabetin, gelişen teknolojinin, müşteri taleplerindeki değişkenlik ve değişimin işletmeleri yeniliğe zorladığı piyasa koşullarında tedarikçinin bu değişime hızla ayak uydurabilmesi gerekmektedir. İşletmelerin farklılaştırdıkları ürünlerine yanıt verebilecek tedarikçiler, işletmeler için tercih edilir hale gelmiştir. Dolayısıyla, üretim ve tasarım esnekliği, teknolojik değişime ayak uydurabilme, yenilikçilik ve çabuk tepki verebilme gibi tedarikçi seçiminde artan önemdeki kriterler genelde bu başlık altında değerlendirilmektedir.

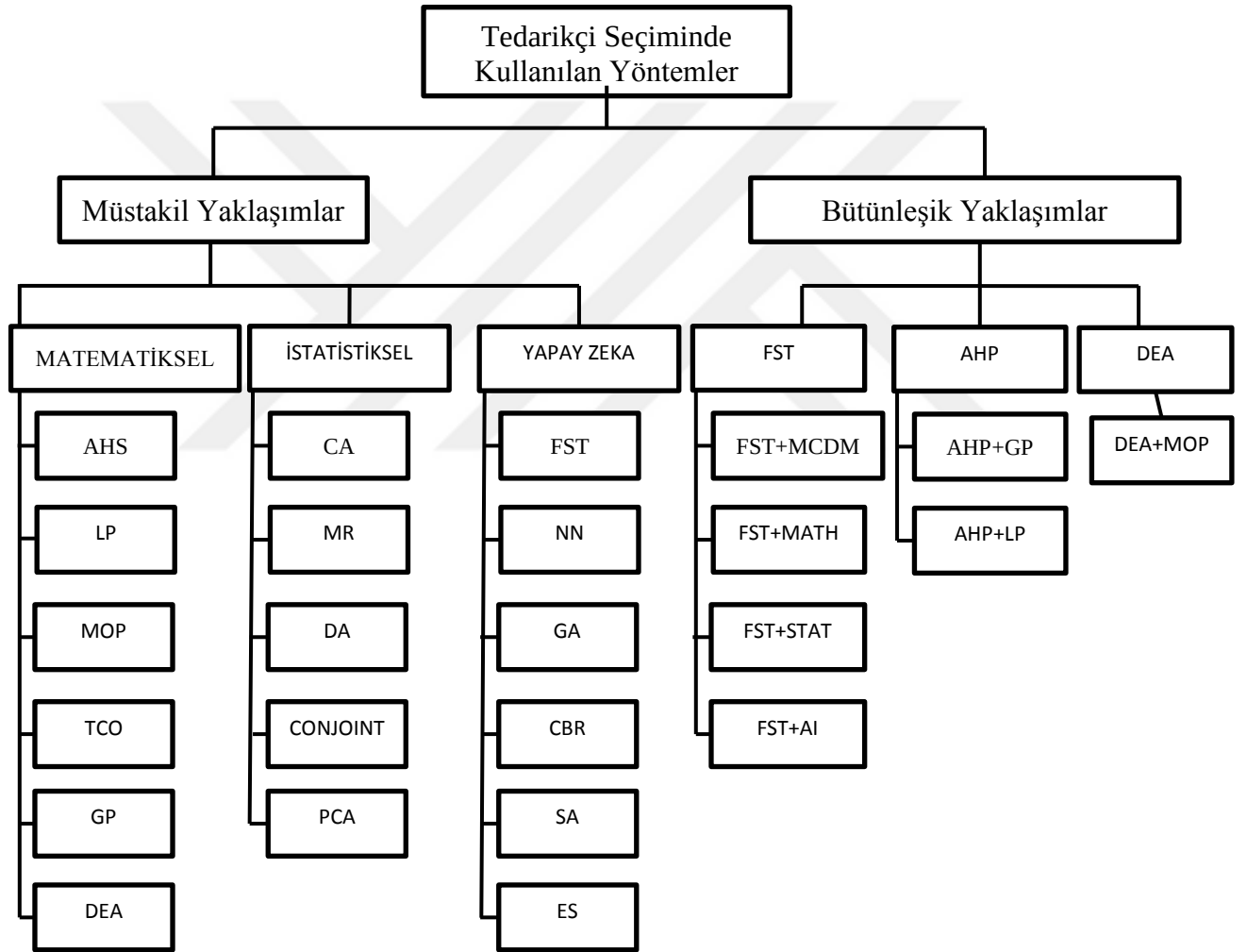
1.2.4. Tedarikçi Seçiminde Kullanılan Yöntemler ve Sınıflandırılması

Tedarikçi seçiminde önemli kriterler belirlendikten sonra bu kriterlerin nasıl ölçüleceği, birbirleriyle ilgisinin nasıl kurulacağı, bir diğerine nazaran ne derece önem atfedileceği, en uygun tedarikçinin seçiminde kriterlerin bütüncül olarak ele alınacağı bir yöntem ihtiyacı doğurmaktadır. Literatürde tedarikçi seçimi için Dickson (1966) milat kabul edilecek olursa, geçen uzun yıllar boyunca bu probleme ilişkin çok sayıda farklı yöntem önerilmiştir. Bu yöntemlere ilişkin tarama ve sınıflandırma çalışmalarına örnek olarak Chen (2011), De Boer vd (2001), Degraeve vd. (2000), Keshavarz vd. (2017) ve Simic vd. (2017) örnek verilebilir. Yapılan bu çalışmalarda, tedarikçi seçiminde tek bir yöntemin kullanıldığı çalışmalar, müstakil yöntemler olarak ve birden çok yöntemin birlikte kullanıldığı çalışmalar bütünleşik veya hibrit (melez) yöntemler kategorisi altında sınıflandırılmıştır. Literatürde tedarikçi seçimi için kullanılan yöntemler, yaygın kullanılan isimlendirmeleri, kısaltmaları ve Türkçe karşılıklarıyla Tablo 1.3.'de özetlenmeye çalışılmıştır.

Tablo 1.3. Tedarikçi Seçiminde Kullanılan Bazı Yöntemler ve Açılımları

YÖNTEM	AÇILIM	TÜRKÇE KARŞILIĞI
AHP	Analytic Hierarchy Process	Analitik Hiyerarşi Süreci
ANP	Analytic Network Process	Analitik Ağ Süreci
COPRAS	Complex Proportional Assesment	Kompleks Orantısal Değerlendirme
DEA	Data Envelopment Analysis	Veri Zarflama Analizi
EDAS	Evaluation Based on Distance from Average Solution	Ortalama Sonuçtan Uzaklığa Bağlı Değerlendirme
ELECTRE	Elimination et choix traduisant la réalité	Gerçekliği Yansıtan Eleme ve Seçim Yöntemi
MOORA	Multi-objective Optimisation by Ratio Analysis	Oran Analiziyle Çok-Amaçlı Optimizasyon
PROMETHEE	Preference Ranking Organisation Method for Enrichment of Evaluations	Değerlendirmelerin Zenginleştirilmesi için Tercih Sıralaması Düzenlenmesi Yöntemi
TOPSIS	Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution	İdeal Çözüme Benzerliğe göre Tercih Sıralaması Yöntemi
VIKOR	visekriterijumska optimizacija i kompromisno resenje	İdeal Çözüme Yakınlığa göre Sıralama yöntemi (Çeviri değil, yöntem açıklamasıdır)
DEMATEL	Decision-making trial and evaluation laboratory	Karar Verme Deneme ve Değerlendirmesi
FST	Fuzzy Set Theory	Bulanık Küme Teorisi
MCDM	Multi Criteria Decision Making	Çok Kriterli Karar Verme
AI	Artificial Intelligence	Yapay Zekâ
LP	Linear Programming	Doğrusal Programlama
GP	Goal Programming	Hedef Programlama
MOP	Multi Objective Programming	Çok Amaçlı Programlama
TCO	Total Cost of Ownership	Toplam Sahiplik Maliyeti
CONJOINT	Conjoint Analysis	Conjoint Analizi
PCA	Principal Component Analysis	Temel Bileşenler Analizi
DA	Discriminant Analysis	Ayırma Analizi
MR	Multiple Regression	Çok Değişkenli Regresyon
CA	Cluster Analysis	Kümeleme Analizi
NN	Neural Networks	Yapay Sinir Ağları
GA	Genetic Algorithm	Genetik Algoritma
ES	Expert Systems	Uzman Sistemler
SA	Software Agent	Yazılım Sistemleri
CBR	Case Based Reasoning	Vaka Bazlı Çözümleme
QFD	Quality Function Deployment	Kalite Fonksiyonu Göçerimi

Simic vd. (2017: 89)' nin tedarikçi seçiminde kullanılan yöntemlere ilişkin yaptıkları sınıflandırma tablosu Şekil 1.4.'de sunulmuştur. Kısaltmalar için Tablo 1.3.'den yararlanılabilir. Simic vd. (2017) bu sınıflandırma tablosunu, Chen (2011: 1653)'den uyarlamışlardır. Chen (2011)' in sınıflandırmasında sezgisel yöntemler (heuristics) ve benzetim teknikleri (simülasyon) matematiksel yöntemler altında yer bulmuştur. AHS ve VZA yöntemlerinin bütünleşik kullanımları yine Chen (2011)' in sınıflandırma tablosunda bulunmamaktadır.



Şekil 1.4. Tedarikçi Seçimi Yöntemleri için Simic vd. (2017: 89)'nin Sınıflandırması

Zimmer vd. (2016) çevresel ve toplumsal hassasiyetlerin artışı ile beraber önem kazanan sürdürülebilir tedarikçi seçimi için yaptıkları çalışmada bu yönde geliştirilen modelleri taramışlardır. Bahsedilen nicel yöntem ve yaklaşımlara ilaveten

ayrı bir başlıkta, Delphi, Ishikawa Diyagramı ve Kalite Göçerim Fonksiyonu yaklaşımlarını nitel (kalitatif) modellere örnek göstermişlerdir (Zimmer vd., 2016: 1418). Keshavarz vd. (2017), tedarikçi seçiminde kullanılan yöntemlere ilişkin yaptıkları sınıflandırma çalışmasının perspektifini bulanık yöntemlerle sınırlı tutmuşlardır. Tekil yöntem olarak, AHS, ANS, TOPSIS, VIKOR, MOORA, ELECTRE, DEMATEL ve VZA'yı zikreden Keshavarz vd. (2017: 1075), melez model olarak bu yöntemlerin kendi aralarında ve diğer matematiksel yöntemlerle bütünleşik kullanımlarını listelemişlerdir.

1.2.5. Tedarikçi Seçiminde Gerçekleştirilen Çalışmalar için Literatür Özeti

Dağdeviren ve Eren (2001), bir tedarikçi seçim probleminde AHS yöntemini ve 0-1 hedef programlamayı birlikte kullanmışlardır. Tedarikçi seçiminde kullanılacak kriterlerin uzmanlarca belirlenmesi ve tutarlı karşılaştırma matrisleriyle işlem yapılmasının önemine işaret etmişlerdir. Çalışmada 4 alternatifin performansı 4 kriter (Kalite, Tedarik Performans, Teknoloji ve Maliyet) göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir.

Paksoy ve Güleş (2006), AHS yöntemi ile bir tekstil firması için tedarikçi seçimi yapmışlardır. Bu çalışmada 6 alternatifin performansı 7 kritere (Kalite, Performans, Maliyet, Anlaşma, Uzaklık, Teknoloji ve Renk) göre değerlendirilmiştir.

Dağdeviren ve Eraslan (2008), PROMETHEE sıralama yöntemi ile Ankara'da elektrikli ev araçları üreten bir işletme için tedarikçi seçimi gerçekleştirmişlerdir. Uygulamada beş alternatif altı kritere göre değerlendirilmiştir.

Küçük ve Ecer (2008), AHS yöntemi ile Bayburt'taki imalatçı KOBİ için tedarikçi seçimi yapmışlardır. Çalışmada dört tedarikçi, dört ana kriter ve on iki alt kritere göre değerlendirilmiştir.

Özdemir ve Seçme (2009), Bulanık TOPSIS yöntemi ile bir mobilya fabrikası için tedarikçi seçimi gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada 3 tedarikçi, 7 ana kriter ve 30 alt kritere göre değerlendirilmiştir.

Kazançoğlu ve Ada (2010), BAHS yöntemi ile İzmir'deki bir işletme için tedarikçi seçimi yapmışlardır. Çalışmada 3 ana kriter (Kalite, Finansal, Performans)

ve 11 alt kriter göz önünde bulundurulmuştur ve 5 tedarikçinin performansı analiz edilmiştir.

Özçakar ve Demir (2011), Bulanık TOPSIS yöntemi ile bir gıda firmasında tedarikçi seçimi yapmışlardır. Bu çalışmada 4 tedarikçinin performansı, 6 kritere (Kalite, Maliyet Avantajı, Esneklik, Zamanında Teslimat, Ödeme Koşulları ve Güvenilirlik) göre değerlendirilmiştir.

Akyüz (2012), Bulanık VIKOR yöntemi ile mobilya parçaları üreten bir işletme için tedarikçi seçim sorununa çözüm aramıştır. Çalışmada 5 alternatif, 7 kritere (Teknoloji, Fiyat, Teslimata Uyum, Kalite, Teknik Yeterlilik, Coğrafi Konum ve Geçmiş Dönem Performansı) göre değerlendirilmiştir.

Çakın ve Özdemir (2013), ELECTRE ve Analitik Ağ Süreci yöntemleri ile makine sektöründe bulunan bir firma için tedarikçi seçimi yapmışlardır. Çalışmada tedarikçi seçimi yapılırken 5 ana kriter (Teslimat, Kalite, Tedarikçinin Üretim Yeterliliği, Fiyat ve Tedarikçinin Genel Durumu) ve 15 alt kriter göz önünde bulundurulmuştur. 12 tedarikçi belirlenen bu kriterlere göre değerlendirilmiştir.

Kapar (2013), AHS yöntemini kullanarak tedarikçi seçimi yapmıştır. Çalışmada 6 ana kriter ve 23 alt kriter göz önünde bulundurulmuştur. Bu kriterler ve alt kriterler baz alınarak 3 tedarikçi değerlendirilmiştir.

Davras ve Karaatlı (2014), bir otel işletmesinin tedarikçi seçimi problemini AHS ve BAHS yöntemleri ile çözmüşlerdir. Bu çalışmada AHS ve BAHS yöntemlerinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucuna göre kesin ifadelerin yer aldığı karar verme sorunlarında AHS yöntemi etkinen diğer durumlarda BAHS yöntemi etkindir.

Arıkan ve Gökbek (2014), AHS ve TOPSIS yöntemlerini kullanarak tedarikçi seçimi yapmışlardır. Çalışmanın uygulaması, elektronik sanayi sektöründe yer alan bir işletmede yapılmıştır.

Şahin ve Supçiller (2015), tedarikçi seçimi için TOPSIS, AHS ve K-Ortalamlar yöntemlerini içeren bir karar destek sistemi önermişlerdir. Çalışmada 20 tedarikçinin performansı 4 kritere (Servis, Kalite, Teslimat ve Fiyat) göre analiz edilmiştir.

Günay ve Ünal (2016), TOPSIS ve AHS yöntemlerini birlikte kullanarak telekomünikasyon sektöründe yer alan tedarikçileri değerlendirmişlerdir. Çalışmada 7 ana kriter 20 alt kriter hesaba katılmıştır. Bu çalışmada toplam 4 tedarikçi işletme değerlendirilmiştir.

Supçiller ve Deligöz (2018), Denizli'deki bir tekstil işletmesi için tedarikçi seçimi problemine çözüm aramışlardır. Bu çalışmada kriter ağırlıklarının bulunmasında AHS yöntemi kullanılırken alternatiflerin sıralamasında ise birçok yöntem (AHS, Gri İlişkisel Analiz, VIKOR, SAW, TOPSIS, ELECTRE II, MOORA ve M-TOPSIS) kullanılmıştır. Tedarikçilerin son sıralaması yapılırken Copeland ve Borda yöntemleri kullanılmıştır.

Çınar ve Uygun (2019), Sezgisel BAHS ile yeşil tedarikçi seçimi yapmışlardır. Çalışmada 5 kriter (Yeşil Ürün Tasarımı, Uygunluk Kalitesi, Yeşil Satın Alma, Çevresel Yönetim Sistemi ve Yeşil Üretim) göz önünde bulundurulmuştur. Bu çalışmada 3 alternatif bahsedilen kriterler baz alınarak değerlendirilmiştir.

Alakaş vd. (2019), AHS, TOPSIS ve VIKOR yöntemleri ile dört ambulans tedarikçisinin performansını değerlendirmişlerdir. Çalışmada 4 ambulans tedarikçisi 4 ana kritere göre değerlendirilmiştir. Kriterleri ağırlıklandırmak için AHS yöntemi kullanılırken tedarikçileri sıralamak için ise VIKOR ve TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır. Değerlendirme sonucunda EMS ve DORSER işletmelerinin diğer tedarikçilere göre üstün olduğu bulunmuştur.

Soyer ve Türkay (2020), Analitik Ağ Süreci yöntemi ile yeşil tedarikçi seçimi yapmışlardır. Çalışmanın uygulaması beyaz eşya sektöründe yapılmıştır. Bu sektörde yüzeylerde korozyonu önlemek amacıyla faydalanan bir hammadde için tedarikçi seçimi yapılmıştır.

Öztürk ve Tekin (2021), AHS ve TOPSIS yöntemleri kullanarak gıda sektöründe tedarikçi seçimi yapmışlardır. Bu seçim sürecinde 4 ana kriter (Tedarikçi Profili, Teslimat, Maliyet ve Kalite) ve 11 tane alt kriter hesaba katılmıştır. Bu çalışmada 5 alternatifin performansı değerlendirilmiştir.

Özetlenen Türkçe çalışma literatürünün yanında diğer yakın dönem çalışmalar, yazarları, yayımlanma tarihi ve çalışmada kullanılan yöntemlerle birlikte

Tablo 1.4’te verilmiştir. Tablo içeriği, Ulutaş ve Bayrakçıl (2017: 191) temel alınarak genişletilmiştir.

Tablo 1. 4. Yakın Dönem Tedarikçi Seçimi Çalışmalarında Kullanılan Yöntemler

Yazarlar	Kullanılan Yöntemler
Levary (2008)	AHS
Wu ve Olson (2008)	Stokastik Veri Zarflama Analizi
Chou ve Chang (2008)	Bulanık SMART
Montazer vd. (2009)	Bulanık ELECTRE-III
Boran vd. (2009)	Bulanık Sezgisel TOPSIS
Chen ve Wang (2009)	Bulanık VIKOR
Wu vd. (2010)	Bulanık Çok Amaçlı Programlama
Sanayei vd. (2010)	Bulanık Grup VIKOR
Saen (2010)	Veri Zarflama Analizi
Amin vd. (2011)	Doğrusal Programlama ve Bulanık SWOT
Li ve Zabinsky (2011)	Şans Kısıtlı Programlama
Toloo ve Nalchigar (2011)	Veri Zarflama Analizi
Chai vd. (2012)	PROMETHEE
Büyüközkan ve Çiftçi (2012)	Bulanık AAS, Bulanık DEMATEL ve Bulanık TOPSIS
Pitchipoo vd. (2012)	Gri Teori ve AHS
Roshandel vd. (2013)	Hiyerarşik Bulanık TOPSIS
Vatansever (2013)	Bulanık TOPSIS
Rajesh ve Malliga (2013)	Kalite Fonksiyon Göçerimi ve AHS
Deng vd. (2014)	AHS
Kannan vd. (2014)	Bulanık TOPSIS
Jadidi vd. (2014)	Hedef Programlama
Kumar vd. (2014)	Veri Zarflama Analizi
Rajesh ve Ravi (2015)	Gri İlişkisel Analizi
Kannan vd. (2015)	Bulanık Aksiyomatik Tasarım
You vd. (2015)	Genişletilmiş VIKOR
Hashemi vd. (2015)	Analitik Ağ Süreci ve Gri İlişkisel Analizi
Kar (2015)	Sinir Ağları, Bulanık Mantık ve AHS
Dweiri vd. (2016)	AHS
Awasthi ve Kannan (2016)	Bulanık VIKOR ve Nominal Grup Teorisi
Rezaei vd. (2016)	En iyi ve En Kötü Modeli
Fallahpour vd. (2016)	Genetik Programlama ve Veri Zarflama Analizi
Tavana vd. (2016)	Kalite Fonksiyon Göçerimi ve Analitik Ağ Süreci
Luthra vd. (2017)	VIKOR ve AHS
Agrawal vd. (2017)	Bulanık TOPSIS
Yazdani vd. (2017)	COPRAS, DEMATEL ve Kalite Fonksiyon Göçerimi
Büyüközkan ve Göçer (2017)	Sezgisel Aksiyometrik Tasarım, Sezgisel AHS
Wang ve Tsai (2018)	Veri Zarflama Analizi ve BAHs
Liu vd. (2018)	DEMATEL, Analitik Ağ Süreci, Entropi ve Oyun Teorisi
Bolturk (2018)	Pisagor Bulanık COPRAS
Wang vd. (2018)	TOPSIS ve AHS

Xu vd. (2019), aralık tip 2 bulanık AHSSort II yöntemini kullanarak sürdürülebilir tedarikçi seçimi yapmışlardır. Yazarlar çalışmalarında 3 ana kriteri (Ekonomik, Çevresel ve Sosyal) ve 7 alt kriteri (Fiyat, Kar, Taşıma Maliyeti, Enerji

Tasarrufu, Kirlilik Kontrolü, Bilgi İfşası ve Güvenlik Denetimi ve Değerlendirmesi) göz önünde bulundurmuşlardır. Çalışmada 20 alternatif değerlendirilmiştir.

Durmić (2019), FUCOM yöntemi ile sürdürülebilir tedarikçi seçim kriterlerinin ağırlıklarını bulmuştur. Çalışmanın uygulaması bir kireç üretim firmasında yapılmıştır. Çalışmada 3 ana kriter ve 21 alt kriter değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonucunda en önemli ana kriter Ekonomik ana kriteri bulunurken en önemli alt kriter ise Kalite alt kriteri olarak bulunmuştur.

Memari vd. (2019), sezgisel (Intuitionistic) Bulanık TOPSIS yöntemi ile bir katalitik çevirici üreticisi için sürdürülebilir tedarikçi seçimi yapmışlardır. Bu çalışmada üç boyut (Ekonomik, Çevresel Sürdürülebilirlik ve Sosyal Sürdürülebilirlik), dokuz kriter (Maliyet, Ürünlerin Kalitesi, Hizmet Performansı, Çevresel Verimlilik, Yeşil İmaj, Kirlilik Azaltma, Yeşil Yetkinlikler, Güvenlik ve Sağlık ve İstihdam Uygulamaları) ve 30 alt kriter değerlendirilmiştir. Çalışmada 9 alternatifi performansı analiz edilmiştir.

Mohammed vd. (2019), BAHS, bulanık TOPSIS ve bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon yöntemleri ile sürdürülebilir tedarikçi seçimi ve sipariş tahsisi yapmışlardır. Yazarlar önerdikleri bütünleşik modelin uygulamasını Suudi Arabistan'da bulunan bir fabrikada gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada 3 ana kriter ve bu kriterlere bağlı 10 alt kriter değerlendirilmiş olup veriler 3 karar vericiden alınmıştır.

Rouyendegh vd. (2020), sezgisel (Intuitionistic) bulanık TOPSIS yöntemi ile Ankara'da bulunan bir firma için yeşil tedarikçi seçimi yapmışlardır. Çalışmada 4 tedarikçi 10 kritere (Kalite, Maliyet, Servis ve Teslimat, Sürdürülebilirlik, Teknoloji, Yeşil Üretim Sistemi, Yeşil Tedarikçi İmajı, İş Birliği, Yeşil Uygulama ve Çevresel Yönetim ve Kontrol) göre değerlendirilmiştir.

Jain ve Singh (2020), Bulanık Çıkarım Sistemi ile Hindistan'daki bir demir çelik fabrikası için sürdürülebilir tedarikçi seçimi yapmışlardır. Çalışmada 7 tedarikçinin performansı 3 indeks (Ekonomik Performans İndeksi, Çevresel Performans İndeksi ve Sosyal Performans İndeksi) dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

Hasan vd. (2020), Lojistik 4.0 ortamında esnek tedarikçi seçimi için bir karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Bu karar destek sistemi bulanık tabanlı TOPSIS ve Çok Seçenekli Hedef Programlama yöntemlerinden oluşmaktadır. Çalışmada iki tip veri kullanılmıştır: Sayısal Özellikler (Zaman Serileri Verileri ve Zaman Serileri Olmayan Veriler) ve sözel özellikler (sözel değerlendirmeler). Çalışmada 5 tedarikçi 19 kritere göre değerlendirilmiştir.

Ramakrishnan ve Chakraborty (2020), bir bulut TOPSIS yöntemi ile yeşil tedarikçi seçimi yapmışlardır. Bu çalışmada 12 ana kritere (Kalite, Finans, Servis, Teslimat, Tedarikçi Yeterliliği, Çevre Yönetimi, Yönetim Yetkinliği, Kurumsal Sosyal Sorumluluk, Kirlilik Kontrolü, Yeşil Ürün, Yeşil İmaj ve Tehlikeli Madde Yönetimi) göre 5 tedarikçinin performansı değerlendirilmiştir.

Yazdani vd. (2021), SWARA-D, LBWA-D ve MARCOS-D yöntemleri ile belirsizlik altında çok katmanlı sürdürülebilir gıda tedarikçisi seçimi yapmışlardır. Çalışmada 5 alternatif 8 kritere göre değerlendirilmiştir.

Çalık (2021), Pisagor BAHS ve Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemleri ile Endüstri 4.0 bileşenleri dikkate alınarak yeşil tedarikçi seçimi yapmıştır. Çalışmada 5 ana kriter (Teslimat, Kirlilik Kontrolü, Üretim, Kalite ve Çevresel Temsil) ve 11 alt kriter kullanılmıştır. Bu çalışmada 5 tedarikçi değerlendirilmiş olup 4 karar vericiden veri alınmıştır.

Ulutaş vd. (2021), MULTIMOOSRAL yöntemi ile bir tekstil firması için tedarikçi seçimi yapmışlardır. Çalışmada 5 tedarikçi 7 kritere (Reddedilme Oranı, Satın alma Maliyeti, Geç Teslim Oranı, İndirim Fırsatı, Teknik Yardım, Teknolojik Yeterlilik ve Tedarikçinin Ünü) göre değerlendirilmiştir.

Nasrollahi vd. (2021), bulanık DEMATEL, ISM ve MICMAC yöntemlerini kullanarak esnek tedarikçi seçim kriterlerini analiz etmişlerdir. Çalışmada 19 kriter değerlendirilmiştir.

Hoseini vd. (2022), aralıklı tip 2 bulanık BWM ve bulanık TOPSIS yöntemi ile esnek tedarikçi seçimi problemini çözmüşlerdir. Çalışmada 4 alternatif 9 kritere (Sorumluluk, Sağlamlık, İş Birliği, Çeviklik, Tekrar Organize Olma, Esneklik, Eko-Tasarım, Fazlalık, ve İnsan Kaynakları Yönetimi) göre değerlendirilmiştir.

1.3. Araştırma Sahası

Tedarikçi seçimi problemi için uygulama sahası olarak demir-çelik sektörü belirlenmiş, araştırmaya konu olan vasıflı çelik malzemeler penceresinden çeliğin özellikleri, imalatı ve çelik türleri ana hatlarıyla incelenmiştir. Türkiye’de demir çelik sektörünün genel bir değerlendirmesini ortaya koyabilmek amacıyla, sektörde yer alan üretici birlikleri, sanayi odaları ve ilgili kamu kuruluş raporları ayrıntılı olarak tetkik edilmiş, işletmelerin ve uzman kişilerin basında yer alan değerlendirmeleri ve sunumlarından da faydalanılmıştır.

1.3.1. Çeliğin Özellikleri, İmalatı ve Türleri

Bileşiminde %2 den daha az karbon bulunan, demir içeriği diğer tüm elementlerden fazla olan karbon-demir alaşımlarına çelik denir. Çeliğe farklı özellikler kazandıran çeliğin içerdiği elementlerin kimyasal kompozisyonu ve çeliğin iç yapısıdır. Çeliğe farklı elementler katarak ve farklı işlemlerden geçirip iç yapısını değiştirerek kullanım amacına yönelik değişik kalitelerde veya özelliklerde çelik elde edilmektedir. İnşaat ve yapı sanayinde dört beş farklı kalitede çelik söz konusu iken, vasıflı çelikte bu sayının 500 civarında olduğu, kesit çeşitliliğiyle birlikte sayının 2000 in üzerinde olduğu görülmektedir. (DPT 2007: 63)

Çelikler çeşitli bakımlardan farklı sınıflandırmalara tabi tutulabilmektedir. Bu sınıflandırmalar; kullanım alanları, ürün biçimleri, kimyasal bileşimleri, kaliteleri ve üretim yöntemlerine göre yapılmaktadır. Ürün şekillerine göre uzun ve yassı mamul olarak iki ana gruba ayrılan çelikler, kimyasal bileşimlerine göre alaşımlı ve alaşımsız (karbon) çelikler olarak sınıflandırılmaktadır. Araştırmanın hedef sahası olarak alınan vasıflı çelik ürünlere ise kullanım alanlarına göre takım, yay, hız, rulman, otomat çelikleri ve paslanmaz çelikler örnek olarak verilebilir.

Vasıflı çelik, özel ürün veya parçaların imalatında kullanılan çeliktir. Vasıflı çeliği alaşımlı çelikle özdeşleştirmek yanlıştır. Vasıflı çelik hem karbon hem de alaşımlı çelikleri içerebilir. Çeliğin vasıflı olarak diğer çelik türlerinden ayrılması; ergitilme, oksijen giderme, döküm ve işleme yöntemlerindeki farklılık sonucunda kazandığı saflık nedeniyledir (The Great Soviet Encyclopedia 2017).

Väinölä vd.’ ne (1995: 453) göre, “vasıflı çelik üretimi; elektrik ark ocağında ergitme ve oksidasyon işlemlerini mütakiben çeşitli metalürjik işlemlerle çeliğin arzu edilen nihai kalitesine ulaştırılmasına tekabül etmektedir”.

Vasıflı Çelik; müşterinin özel istek ve spesifikasyonlarını sağlayacak şekilde üretilen, kullanım yerinde, kendisinden beklenen tüm “kimyasal, metalürjik, mekanik ve fiziksel özellikleri” sağlayan, üretimin sonunda, tüm kontrol, muayene ve onarım işlemleri yapılarak, bu özellikleri garanti altına alan, kalite belgesi ile ürün güvencesini veren niteliklere sahiptir. Yaratılan katma değer açısından vasıflı çeliklerin önemi DDMİB’de (2010) bu şekilde ifade edilmiştir.

Benzer bir vasıflı çelik tanımlaması Devlet Planlama Teşkilatı’nın sekizinci beş yıllık kalkınma planında (DPT 2000) şu şekilde verilmiştir: “Vasıflı çelik, her türlü dövme ve makine imalat sanayinde kullanılmaya uygun, kimyasal, fiziksel, ve metalürjik özellikleri garanti edilebilen ve bu garantiyi vermek üzere ihtiyaç duyulan tüm güvenilir muayene, ölçüm ve deneyleri yapılmış olan, müşteri talebi üzerine, ilgili izlenebilir dokümanları sunulabilen, karbon, orta ve yüksek alaşımlı çelik mamulleridir.”

Yine aynı raporda; Vasıflı çelik ürünler kullanım alanlarına göre alaşımsız, az alaşımlı ve yüksek alaşımlı olmak üzere üç ana grupta toplanmıştır. Bu gruplar altında makine yapım çelikleri, takım çelikleri, asal çelikler, elektrodruk, halatlık, tellik çelikler, civata çelikleri, yaylık çelikler, özel yapı çelikleri, paslanmaz çelikler ve ısıya dayanıklı çelikler zikredilmiştir.

GTİP, Gümrük Tarife İstatistik Pozisyonu veya Türk gümrük tarife cetvelinde 12 li koda verilen isimdir. Vasıflı çelik tanımına giren ürünler GTİP leri 7218 ile 7229 arasında olan ve dış ticareti yapılan ürünlerdir. GTİP leri 7214 ve 7207 ile belirtilen ve vasıflı çelik kapsamında olan bazı ürünler ise TÜİK in ayrı bir sınıflandırması olmadığı için vasıflı çelik başlığı altında bulunmamaktadır (DPT 2007: 63).

Temel iki çelik üretim prosesi bulunmaktadır; Bunlardan ilki kömür, demir, kireçtaşı gibi ham maddelerin ve hurdanın kullanılarak çelik elde edildiği entegre tesislerdir. Entegre tesisler kullandıkları imalat yöntemine dayanarak Bazik Oksijen Fırını (BOF) olarak da adlandırılırlar. Diğerisi ise hurda malzemenin elektrik

enerjisiyle ergitilerek çeliğin üretildiği elektrik ark ocakları (EAO)dır. Bu iki yöntem dışında dünyada yaygınlığı kaybeden, ağırlıklı olarak eski doğu bloku ülkelerinde görülen Siemens-Martin fırını yöntemi ve genellikle EAO'larla beraber değerlendirilen İndüksiyon Ocağı (İO) yöntemleriyle az miktarda ham çelik üretilmektedir.

Entegre tesislerde demir cevherinin ve taş kömürünün kullanıma elverişli hale getirilmesinden başlanarak, sıvı çelik üretimi ve dökümü, akabinde soğuk veya sıcak haddeleme yapılarak yassı ürünler imal edilmektedir. Uzun ürünler ise hurda girdisi kullanılarak EAO larda üretilmektedir. Yassı ürünlerin yarı mamulü slab, uzun ürünlerin yarı mamulü kütük olarak isimlendirilmektedir. Yarı mamul olarak bu şekilde piyasaya verilmesi veya ihraç edilmesi yanında, soğuk veya sıcak haddelenerek levha, kaplama, profil, tel, çubuk gibi ürünlere dönüştürülmektedir.

Vasıflı çelik ürünlerin çeşit itibariyle fazlalığı ve siparişe dayalı üretim özelliği sebebiyle vasıflı çelik üretimi daha esnek bir üretim anlayışı gerektirmektedir. Kitle çelik üretiminin yapıldığı entegre tesislerden farklı olarak daha az sayıda daha çok çeşitte ürünün farklı kimyasal ve metalürjik süreçlerle imalatına imkân veren EAO larda vasıflı çelik üretimi yapılmaktadır. Vasıflı çelik üretimini diğer çelik üretimlerinden ayıran temel fark pota metalürjisi ve vakumda gaz giderme işlemleridir (DPT 2007: 65).

1.3.2. Demir Çelik Sektörü

Demir-çelik sektörü neredeyse tüm sektörlere girdi sağlaması nedeniyle ekonomi için vazgeçilmez öneme sahiptir. İnşaat, otomotiv, beyaz-eşya, demiryolu, tüm makine ve cihaz üretimleri için ana tedarikçi konumundadır.

Çelik malzeme hayatın her alanında geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Ürünlerin bizatihi kendisi çelikten imal edilmemiş olsalar bile, ürünün imal edildiği makineler veya kalıplar çelikten üretilmiştir. Ülkelerin gelişmiş düzeyleri arttıkça, kişi başına düşen çelik üretimi ve tüketimi, yaratılan katma değer ve milli gelir de artmaktadır. Ülkelerin ham çelik üretiminin yükselmesi, ticaret ve ekonomik canlılıklarına işaret etmektedir. Dünya ekonomisinin canlı olduğu dönemlerde, toplam demir çelik üretim ve tüketim değerlerinin de buna paralel olarak arttığı,

durgunluk dönemlerinde üretim ve tüketim değerlerindeki artışların yavaşladığı ya da gerilediği gözlenmektedir (Birleşik Metal-İş Sendikası 2003).

Dünyada demir çelik ham üretimi 1628 milyon tondur ve bu üretimin yarısını Çin tek başına yapmaktadır. Türkiye ise ham çelik üretiminde 33,2 milyon tonla sekizinci sıradadır. Bu üretimin 1200 milyon tonu entegre tesislerde üretilmektedir. Türkiye'nin çelik tüketimi ise 35,1 milyon ton olmuştur. 17 milyon ton ihracatına karşılık yaklaşık 17 milyar dolarlık ihracat geliri elde edilirken, 17,5 milyon ton ithalat ve 11 milyar dolarlık ithalat gideri oluşmuştur. Ana ithalat kalemlerinin yassı ve vasıflı çelik ürünler olduğu görülmektedir. Uzun ürünler ise ihracatımızda büyük payı oluşturmaktadır (TOBB 2017).

Demir çelik sektöründe 2016 yılı itibariyle 39 bin kişi istihdam edilmiştir (TOBB 2017). Türkiye, ham çelik üretimi ve tüketiminde dünyada sekizinci sıradadır. Türkiye'de ham çelik üretimi 2017 senesi ilk sekiz ayında %13 artış göstererek 32 milyon tona ulaştı. Yine aynı dönemde ihracatın ithalatı karşılama oranı ise %114 olarak gerçekleşti ve dış ticaret fazlası oluştu. 2016 yılında bu oran %99, yıllık çelik üretimi ise 33,2 milyon tonda (TÇÜD, 2017). Çelik ihracatçıları Birliği'ne (2022) göre; 2021 yılında Türkiye'nin toplam çelik üretimi yaklaşık değerler olarak 40 milyon ton, ihracatı 24 milyon ton, ithalatı ise 18 milyon ton olmuştur. İhracatın ithalatı karşılama oranı %135'e ulaşmıştır.

Türkiye'de demir-çelik sektöründe üretim, yüksek fırına dayalı üretim yapan entegre tesisler ve elektrik ark ocaklı tesisler tarafından gerçekleştirilmektedir. 2016 yılı itibariyle sektörde toplam ham çelik kapasitesi 51 milyon tona ulaşmıştır. Toplam kapasitenin dörtte üçü EAO'lara dörtte biri ise entegre tesislere aittir. Dünyada ise entegre tesislerin üretimi toplam üretimin % 75 ini oluşturmaktadır. Oransal olarak bu fark yassı çelik ürünler için ithalatçı olmamıza neden olmaktadır (Bekcan 2016). Uzun ürünlerde kapasite fazlası yaşanırken, yassı ürün üretiminin artırılmasını mümkün kılacak yatırımların yapılamaması, yassı ürün üretiminin yetersiz kalmasına yol açmış ve Türk çelik sektöründe dengesiz bir yapının ortaya çıkması sonucunu doğurmuştur. 1980 yılından sonra, sektörün ağırlıklı bir şekilde EAO'lu tesislere yönelmesi, bu yatırımların, entegre tesislere kıyasla çok daha küçük ölçekte finansman gerektirmesinden ve Türkiye'de, entegre tesislerin temel

hammaddesi olan zengin demir cevheri yataklarının istenilen kalitede bulunmamasından kaynaklanmıştır. Entegre tesislerin temel hammaddesi demir cevheri, EAO'lu tesislerin temel hammaddesi ise çelik hurdasıdır. Entegre tesisler ile EAO'lu tesislerin maliyet yapıları büyük farklılıklar göstermekte, hatta EAO'lu tesisler arasında dahi, tesisin bulunduğu bölgeden, girdi kaynaklarına yakınlığına, finansal durumuna ve ulaşım imkânlarına kadar pek çok faktör, maliyet yapısını ve kârlılığı etkilemektedir.

Tesislerin kurulum yerleri açısından, deniz kenarında kurulu olmayan tesislerin yüksek nakliye maliyetleri nedeniyle ihracat imkânları daha sınırlı olmaktadır. Bu sebeple, Türkiye'de ham çelik üretimi yapan 32 kuruluş arasında, Kardemir, Sivas Demir Çelik, MKEK ve son yıllarda kurulan Bilecik Demir Çelik haricinde kalan 28 kuruluşun tamamı deniz kenarında veya denize çok yakın mesafelerde yerleşiktir.

Türkiye çelik üreticileri derneği kayıtlarına dayanarak 2016 yılı itibariyle sektörde faaliyet gösteren 32 tesisin dağılımı Şekil 1.5.'de gösterilmiştir. Bu tesislere 2022 yılına gelindiğinde, TÇÜD (2022a)'nin belirttiği 8 tane daha eklenmiş ve sayı 40'a ulaşmıştır.



Şekil 1.5. Türkiye’de Kurulu Demir Çelik Tesisleri (TÇÜD: 2017)

Bu tesislerin 10'u Akdeniz bölgesinde, 9'u Marmara bölgesinde, 8'i Ege bölgesinde, 3'ü Karadeniz bölgesinde, 2'si de İç Anadolu bölgesinde yerleşiktir. Sektörde faaliyet gösteren ham çelik üreticisi 32 tesisten üç tanesi entegre tesis (BOF) özelliği taşımaktadır. Bunlar; Türkiye'nin en büyük çelik üreticisi olan Erdemir ile İsdemir ve Kardemir'dir. Bilecik Demir Çelik, Ege Demir ve Platinium Demir Çelik indüksiyon ocaklı (İO) sıvı çelik üretimi yapmaktadır. Diğer tesisler ise Elektrik Ark Ocağı (EAO) yöntemiyle faaliyette bulunmaktadır. İşletmeler sınıflandırılırken genellikle İO'lu işletmeler EAO'lu işletmelerle birlikte değerlendirilmektedir.

Sektörde vasıflı çelik üretimi üzerine özelleşmiş tesislerden ikisi Bursa'da faaliyette bulunan Asil Çelik ve Çemtaş'tır. Bu iki tesis yerli vasıflı çelik üretiminin büyük çoğunluğunu karşılamaktadır. 2022 yılı mayıs ayı için sektör ürün gamında vasıflı çelik bulunduran diğer iki işletme Habaş ve Özkan Çelik olarak gözükmektedir (TÇÜD 2022b). Üretim miktarı açısından oldukça küçük bir paya sahip olmasına rağmen 10 yıl öncesine kadar vasıflı çelik imal ederek özellikle savunma sanayi ihtiyacını karşılamaya çalışan MKEK bu alanda ismi anılan tesislerden biridir. Yapılan yeni çelikhane yatırımının 2017 yılı sonundan itibaren faaliyete geçmesiyle yıllık 120 bin ton vasıflı çelik üretim kapasitesiyle bu alandaki ithalatın üçte birinin yurtiçinde üretilmesi planlanmakta, Türk Silahlı Kuvvetlerinin ve otomotiv, savunma ve havacılık gibi sektörlerin vasıflı çelik tedarikinde yaşadığı sıkıntıların hafifleyeceği ön görülmektedir (Anadolu Ajansı 2017).

Asil Çelik, Çemtaş ve MKEK dışında dönemsel olarak ve kısmen vasıflı çelik ürünler imal eden üreticilere; Kocaeli/Gebze'de üretim tesisleri bulunan Çolakoğlu Metalürji, Tekirdağ/Ereğli'de faaliyet gösteren Kaptan Demir Çelik, İzmir'de faaliyet gösteren Ede Demir Çelik ve Özkan Demir Çelik, Çanakkale/Biga'da üretimini sürdüren İÇDAŞ örnek gösterilebilir. Türkiye Çelik Üreticileri Derneğine üye olmayan ve hurda yerine kütükten vasıflı çelik ürünler imal eden farklı tesisler de bulunmaktadır. Vasıflı çelik ürünlerden bazılarını üreten diğer tesisler olsa da bunların ısıtma işlemi gibi kontrollü üretim araçlarından yoksun oluşları çoklukla vasıflı çelik sektöründe değerlendirilmemelerine yol açmaktadır (DPT 2007: 64).

TÜİK istatistiklerine göre, Türkiye 2016 senesinde 512 milyon dolar vasıflı çelik ürünler ihracatı, 2591 milyon dolar ithalatı gerçekleştirmiştir. Demir çelik ürünleri ithalatı içerisindeki pay %17 dir. İhracatta ise vasıflı çelik ürünlerin payı % 5 tir. İmalatlarında vasıflı çelik ürüne ihtiyaç duyan işletmeler için bu ürünlerin tedariği kritik önem arz etmektedir. Vasıflı çelik üreticileri yanında yurt dışından bu ürünleri ithal edip ilgili sektörlerle ulaştıran Çelik Servis Merkezleri (ÇSM) bulunmaktadır. Çelik ticareti yapan bu işletmelerin sektördeki öneminin yanında ithal ettikleri ürün kalitelerine ilişkin eleştiriler de bulunmaktadır (DPT 2007: 68).

Komar (2014), Çelik Servis Merkezlerinin (ÇSM) stoklama, dilme, kesme ve paketlemeden öte bir önem ifade ettiğini, istenilen kalitede ürünü gerekli olan zamanda tedarik ederek, stokta bulundurup müşteriye tam zamanında sevk ederek, tedarik güvencesini temin etmede ve stok bulundurma maliyetlerini azaltmada üretim işletmeleri için oldukça değerli olduğunu vurgulamıştır.

1.3.3 Vasıflı Çelik Sektöründe Tedarikçi Seçimi Kriterleri

Kaliteli çelik hammadde, özellikle otomotiv yan sanayi, makina sanayi ve birçok demir çelik metal işleme sanayi firmaları için temel girdi malzemesidir. Türkiye’de çelik imalatı yapan 32 tesis bulunmasına rağmen bu tesislerden bir bölümü vasıflı çelik ürünler konusunda uzmanlaşmıştır. Yan sanayi üreticileri ihtiyaç duydukları bu malzemeleri yurtiçindeki bu üreticilerden veya yurtdışından tedarik etmektedir. Kısıtlı sayıdaki tedarikçilerden hangisi veya hangileriyle çalışılacağı büyük önem arz etmektedir. Uygun tedarikçiyle çalışılması yüksek rekabetin hâkim olduğu piyasada işletmeleri bir adım öne taşımaktadır. Çalışılan tedarikçinin finansal konumu, ekonomik gücü, güvenilirliği, üretim kapasitesi, ürünlerinin kalitesi ve maliyeti, teslimat ve hizmet düzeyleri, işletmelerin ekonomik başarısını hatta sektördeki varlıklarını doğrudan etkilemektedir.

Vasıflı çelik tedarikçilerinin hangi kriterler göz önünde bulundurularak değerlendirileceği bu ürünün alıcıları olan sanayi kollarındaki işletmelere uygulanan anket çalışmasıyla elde edilmiştir. Tedarikçi seçimi için kabul gören genel geçer kriterlerin yanı sıra, vasıflı çelik kullanan sektörler özelinde yapılan çalışmalarda üzerinde durulan diğer kriterler de çalışmaya dahil edilmiştir. Kriterlerin başlangıçta hangi ana kriterler altında ele alınacağı literatürde önceden yapılmış ve geçerliliği

test edilmiş olan Punniyamooty vd. (2011)'nin çalışması esas alınarak belirlenmiştir. Bu çalışmada vasıflı çelik tedarikçi değerlendirilmesinde kullanılan ana ve alt kriterler aşağıda açıklanmıştır:

Yönetim Organizasyon: Tedarikçinin organizasyonel yapısı, tedarik ve teknoloji stratejileri açısından yeterliliği uygun bir alıcı-tedarikçi iş birliği için ana kriterlerdendir. Üreticiler açısından çalışılacak olan firmanın yönetim yapısı ve organizasyonu tedarikçi seçimini etkileyen, tedarikçinin organizasyon doğası ve standartları hakkında fikir veren bir kriterdir (Punniyamoothy vd., 2011). Bu kriter altında tedarikçinin fiziksel büyüklüğü, coğrafi konumu ve ulaşım olanakları, işletmenin sektördeki itibarı ve tecrübesi, etik standartlara bağlılığı, insan kaynaklarının eğitim kalifikasyonu gibi alt kriterler ele alınmıştır.

Kalite: Literatürde kalite, birçok yönüyle tedarikçi seçimi için ana kriter olarak ele alınmıştır. Tedarik edilecek ürünün dayanıklılığı, tedarikçinin kalite sertifikasyonlarına sahipliği, toplam kalite yönetimi anlayışını benimsemesi, ürünün performansı ve standartlara uyumu, kalite kontrolde ret, iade ve tamir oranları, müşterinin kalite taleplerine uyumu gibi alt kriterler, kalite ana kriteri altında toplanmıştır.

Teknik Kapasite: Bu kriter tedarikçinin değişen müşteri taleplerine cevap verebilme kapasitesiyle yakından ilişkilidir (Kılınççı ve Önal 2011). Tedarikçinin dizayn yeteneği, teknoloji ve yenilikçilik kapasitesi, araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin yeterliliği ve uyum hızı, gelecekteki üretim ve ekipman olanakları literatürde teknik kapasitesinin göstergeleri olarak değerlendirilmektedir (Chan vd.2006, Chang vd., 2007).

Üretim Olanakları ve Kapasitesi: Tedarikçi firmaların, hem ürün özellikleri hem de miktar açısından müşterilerin değişken ihtiyaçlarına cevap verebilecek üretim esnekliğine ve üretim hacmine sahip olmaları önemli faktörlerden birisidir (Haq ve Kannan, 2006). Üründe talep edilecek tasarım değişikliklerine, ürün bileşimi değişikliklerine, ve ürün hacmindeki değişikliklere hızlı tepki verebilmesi tedarikçi için artı özelliklerdir. Süreç ve hacim esnekliği yanında, makina ve teçhizat uygunluğu ve kapasitesi, ölçüm, kalibrasyon ve test birimlerinin yeterliliği, taşıma ve

paketleme özellikleri, tam zamanında üretim anlayışına sahip olunması ve iş eğitimleri bu kriter altında ele alınan alt kriterlerdir.

Finansal Durum: Tedarikçinin finansal kayıtlarının, büyüklüğüyle uyumlu olması, tedarikçinin finansal istikrarı ve kredi gücü bu ana kriter altında toplanmıştır. Anket çalışmasında bu alt kriterler tedarikçinin finansal büyüklüğü ve finansal istikrarı olarak düzenlenmiştir.

Teslimat: Tedarikçinin siparişini zamanında teslim etmesi işletmenin faaliyetlerinin aksamaması için önemlidir. Teslimat süresi ve teslimat güvenilirliği, parçaların hasarsız ve güvenli teslimatı, paketleme standartlarına uyumluluk, birbiriyle ilişki ürünlerin beraber taşınması alt kriterleri teslimat kriteri altında ele alınmıştır.

Hizmet: Tedarikçinin işletmeyle iş birliği içinde çalışabilmesi için rahat iletişim kanallarına ve imkanlarına sahip olması gerekir. Satış sonrası hizmetler, yedek parça ve değişim olanakları, sağlanan teknik destek düzeyi, Satış Temsilcisinin kabiliyeti ve yaklaşımı gibi faktörler hizmet kriteri altında ele alınmıştır. Muralidharan vd. (2001), Prahinski ve Benton (2004) gibi birçok araştırmada hizmet kriterinin tedarikçi seçimi için en önemli kriter olduğu belirtilmiştir.

Kurumsal İlişki: Uzun dönemli güven ilişkisine dayanan işbirliklerinde alıcı-tedarikçi arasında güven ve karşılıklı anlayışın olması, uzun dönemli ilişki halinde bulunulması, üretim, finans gibi konularda müşteriler ile tedarikçiler arasında bilgi alışverişinin bulunması tedarikçinin seçimini etkilemektedir (Kannan ve Tan.: 2006). Tedarikçiyle yakınlık olarak da adlandırılabilen bu kriter altında uzun dönemli ilişkide olunması, karşılıklı güven ve anlayış düzeyi, hassas bilgi paylaşımının olması ve tedarikçinin işletme dışında çalıştığı diğer müşteriler yani müşteri portföyü alt kriterler olarak alınmıştır.

Güvenlik ve Çevre: Özellikle demir çelik sektörünün emek yoğun oluşu ve çevreyi kirletebilen yapısı, çevre bilincinin ve iş kazası duyarlılığın geliştiği dünyada, iş güvenliğine sahip ve çevreye duyarlı bir tedarikçinin seçilme şansı artmaktadır (Chan vd., 2006). Çevre ve iş yeri güvenliği sertifikasyonuna sahip

olunması, koruyucu ekipmanla çalışılması ve kaza oranları kriterleri bu faktör altında ele alınmıştır.

Maliyet: Satın alınacak bir hizmet ya da malın seçiminde, bu işlem için işletmenin katlanacağı maliyet, tedarik işlemlerinde en çok dikkat edilen noktalardan biridir. Her ne kadar tedarikçi seçimi için ürün maliyeti eskisi kadar baskın bir kriter olarak ele alınmasa da önemini korumaktadır. Tedarikçinin rekabetçi fiyat politikasının olması, lojistik ve ulaştırma maliyeti, sunulan ödeme koşulları ve döviz kuru maliyeti tedarikçi seçiminde alt kriterler olarak ele alınmıştır.

1.4. Literatürde AHS ve BAHS Uygulamaları

Uygulamanın tedarikçi seçimi bölümünde bulanık yaklaşımla kullanılacak olan AHS yöntemi, karar verme süreçlerine somut veriler yanında yargı ve değerlendirmelerin dahil edildiği her sahada yaygın uygulama olanağı bulmuştur. AHS yöntemiyle yapılan ilk çalışmalar uygulama alanlarıyla birlikte Tablo 1.5.'de özetlenmiştir.

Tablo 1.5. AHS Yöntemiyle Yapılan ilk Uygulamalar ve Uygulama Alanları

Uygulamanın Alanı	Uygulamalar
İktisat ve Planlama	Saaty (1977)
	Saaty ve Vargas (1979)
	Emshoff ve Saaty (1982)
Enerji Politikaları ve Dağıtımı	Gholamnezhad (1981)
Sağlık	Vargas ve Saaty (1981)
	Lusk (1979)
Politika ve Çatışma Analizi	Alexander ve Saaty (1977)
	Saaty ve Bennet (1977)
	Saaty (1983)
Malzeme taşınması ve satın alınması	Frazelle (1985)
Esnek İmalat Sistemleri	Arbel ve Seidman (1984)
Personel seçimi ve Performans Ölçümü	Lootsma (1980)
Proje Seçimi	Johnson ve Hihn (1980)
Pazarlama	Wind ve Saaty (1980)
Veritabanı Sistemi Seçimi	Zahedi (1985)
Portföy Seçimi	Saaty vd. (1980)
Muhasebe ve Denetim	Arrington vd. (1984)
Eğitim	Saaty ve Rogers (1976)
Toplum Bilimi	Saaty ve Wong (1983)
Bölgesel Göç	Harker (1986)
Rekabet Davranışı	Saaty ve Vargas (1980)
Yöntem Geliştirme	Mitroff vd. (1979)
Çevre	Saaty ve Gholamnezhad (1982)
Bulanık Küme Üyelik derecesi Ölçümü	Chu vd. (1979)
Bütçe Tahsisi	Sinuany ve Stern (1984)
Tesis Yeri Seçimi	Yang ve Lee (1997)
Tedarikçi Seçimi	Bayazit ve Karpak (2005)
	Ghodsypour ve O'Brien (1998)
Proje Yönetimi	Al-Harbi (2001)
ERP Sistem Seçimi	Wei vd. (2005)
Personel Değerlendirmesi	Taylor vd. (1998)
İmalat Performansı	Jablonsky (2007)

AHS yönteminin bulanık yaklaşım ile beraber kullanıldığı bazı çalışmalar özet olarak verilmiştir.

Cheng (1997), taktik hava füze sistemlerinin değerlendirilmesi ve seçimi için üyelik fonksiyonu derece değerine dayanan BAHS yöntemini kullanmıştır.

Ayyıldız (2003), bir CIM yatırım kararı alınması sorununu çok kriterli karar verme yöntemlerinden klasik AHS ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemleriyle değerlendirmiş, sorunun çözümü için kriterler, alt kriterler ve alternatifler olmak üzere üç aşama oluşturmuş, böylece işletmenin CIM yatırımlarını yapmasının uygun olacağını önermiştir.

Özgörmüş vd. (2005), çalışmalarında personel seçim sorununu analiz etmişlerdir. Analiz yaparken BAHS modelini kullanmışlardır. Analizde kullanılan kriterleri, eğitim, yabancı dil, bilgisayar, referans, deneyim, yetkinlikler, fiziki özellikler olarak belirlemişler, analiz sonucunda üç adayın da iş için uygun personel olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca kriterlerden eğitim ve deneyimin diğer kriterlere göre daha önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Ayağ ve Özdemir (2006), Türkiye’de kesme aleti üreticisi CNC takım tezgâhı sorunu için BAHS yöntemini kullanarak değerlendirme yapmışlardır. Sonuç olarak 3 alternatif CNC makinesi Maho, Hass, Seiki ‘den en büyük fayda maliyet oranına sahip olarak “Hass” marka CNC dikey torna bulunmuştur.

Akman ve Alkan (2006), Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemini kullanarak Kocaeli’nde otomotiv yan sanayisindeki bir işletmede tedarikçilerinin verimliliğinin değerlendirilmesi sorununu ele almışlardır. İşletmenin üç tedarikçisinin verimliliğini değerlendirmişler ve değerlendirmede kullanılan kriterleri teslimat, kalite, teknik yeterlilik, esneklik, hizmet, fiyatlandırma ve yenilikçilik olarak belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda en iyi tedarikçi performansı olarak “Tedarikçi 2” bulunmuştur.

Dağdeviren (2007), çalışmasında Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemini personel seçimi problemine uygulamıştır. Personel seçimi analizinde ana kriter olarak işsel kriterler ve kişisel kriterler kullanılmış, alt kriter olarak kambyo bilgisi, dış ticaret bilgisi, mevzuat bilgisi, özgüven, inisiyatif alma, algılama, analitik düşünme, fiziksel görünüm belirlenmiştir. Çalışma sonucunda “Aday 2” terfi edecek en uygun aday olarak bulunmuştur.

Srdjevic ve Medeiros (2007), Brezilya’da Paraguacu havzasının su yönetimini tasarlamak için yaptıkları çalışmada Bulanık Analitik Hiyerarşi Sürecini kullanmış, değerlendirme yapılırken 24 alt kriter 5 kriter ve 3 farklı plan tanımlanmıştır. En iyi plan olarak “plan 1” önerilmiştir.

Günden ve Miran (2008), çiftçilerin temel işletmecilik faaliyetlerinde hangi kurumlardan yardım alması gerektiğini incelemiş ve bu değerlendirmeyi AHS ve BAHS yöntemiyle gerçekleştirmişlerdir. Alternatif olarak, kurumlar, üniversiteler, tarım bakanlığı, araştırma kurumları, ziraat odası, özel kurumlar, kooperatif ve

birlikler olarak belirlenirken kriterler ise planlama, teknik yardım, kayıt tutma olarak tanımlanmıştır. Değerlendirme sonucunda yöredeki çiftçilerin teknik yardım, planlama ve kayıt tutma konularında üniversitelerden destek almasını önermişlerdir.

Öztürk vd. (2008), Bulanık TOPSIS ve BAHS yöntemlerini kullanarak Denizli’de makine imalatı yapan bir firmanın nakliye seçim sorununu değerlendirmişlerdir. Analiz yapılırken 9 adet kriter ve 5 alternatif belirlenmiş. En uygun olan “ A2” nakliye firması ile iş yapılması en iyi sonuç olarak bulunmuştur.

Seçme ve Özdemir (2008), Türkiye’de ileri gelen bir mobilya fabrikasının mobilya aksesuarı tedarikçilerinden, üç tedarikçi arasında hangisiyle daha uzun süre çalışılması kararının analizi için Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemini kullanmış, karşılaştırma sonucunda en uygun tedarikçi olarak “ 3.Tedarikçi” belirlenmiştir.

Aydın (2009), Ankara’da açılacak bir hastanenin uygun yer seçimini belirlemek için çok kriterli karar verme yöntemlerinden BAHS yöntemini uygulamıştır. Analiz için beş farklı alternatif tanımlanmıştır. Bunlar Sincan, Altındağ, Çankaya, K.Kent ve Merkezdir. Ayrıca kriter olarak yatırım maliyetleri, rekabet unsurları, çevresel faktörler, bina özellikleri, bina konumu, demografik yapı belirlenmiştir. Değerlendirme sonucunda Çankaya bölgesi, Ankara için en uygun hastane konumu olarak bulunmuştur.

Heo vd. (2010) yenilenebilir enerji dağıtım projelerinin değerlendirilmesinde BAHS yöntemini kullanmışlardır.

Ertuğrul ve Karakaşoğlu (2010), çalışmalarında bir firmada diz üstü bilgisayar seçim sorununa çözüm bulmak için ELECTRE ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemini kullanmışlardır. Analizde alternatiflerin sıralanması için ELECTRE, kriterlerin ağırlıkları için BAHS yöntemini kullanmışlardır. Ayrıca çalışmada beş alternatif ve sekiz kriter (İşlemci Hızı ,Ekran Kartı, Sabit Disk Kapasitesi, Sistem Belleği, Ağırlık, Pil Ömrü, Fiyat, Marka Güvenilirliği) belirlenmiş, analiz sonucunda alternatiflerin $1 > 2 > 5 > 3 > 4$ şeklinde sıralandığı bulunmuştur.

Jaskowski vd. (2010), yüklenici seçimi değerlendirilmesinde kullanılacak ağırlıkların analizinde birden çok karar verici için BAHS yöntemini kullanmışlardır.

Toksarı ve Toksarı (2011), İç Anadolu bölgesinde beyaz eşya sektörüne en uygun pazar seçimini belirlemek için AHS ve BAHS yöntemini kullanmıştır. Pazar rekabeti, bölgenin satış hacmi, bölgenin büyüme potansiyeli, dağıtım imkanları, kar potansiyeli gibi kriterler ve alternatif 4 tane pazar belirlenmiş ve en uygun hedef pazar olarak “Pazar 3” bulunmuştur.

Atçı (2012) , çalışmasında BAHS yöntemini kullanarak Türkiye’deki enerji yatırımlarının düzenlenmesini değerlendirmiştir. Değerlendirmede temel kriterler teknik, ekonomik, çevresel, sosyal etkiler alternatif enerji kaynakları ise fosil, rüzgar, nükleer, hidroelektrik, güneş, jeotermal enerji olarak belirlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre yatırımların ilk olarak hidroelektrik ve rüzgâr enerji kaynaklarına yapılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Kabak ve Kazançoğlu (2012)’un çalışmalarında, askeri okulda öğretmenlik yapacak personelde bulunması gereken kriterler uzmanların görüşleri ile belirlenmiş ve kriterler BAHS yöntemiyle ağırlıklandırılmıştır. Kişisel faktörler, anlama ve anlatma yeteneği, liderlik özelliği, aile ve sosyal durumu, disiplin anlayışı, bilimsel yeterliliği, psikolojik yapısı gibi kriterler tanımlanmış, seçim için 15 tane alternatif aday kullanılmıştır. Sıralamada “2. Aday” ilk sırada bulunmuştur.

Organ ve Kenger (2012), en doğru mortgage kredisinin hangi bankadan seçileceğinin incelenmesi için bulanık AHS ve bulanık sıralama yöntemleri kullanılmışlardır. Ana ölçütler olarak faiz, masraf, vade, MT tutumu ve prosedürler tanımlanmış ve en doğru seçim olarak “İ” bankası belirlenmiştir.

Şengül vd. (2012), BAHS yöntemini kullanarak belediyelerin toplu taşıma problemi sorununa çözüm önerisi geliştirmişlerdir. Alternatif olarak en fazla kullanılan beş farklı araç belirlemişler ve sekiz kriter kullanmışlardır. Bu kriterler: fiyat, yolcu kapasitesi, motor tipi, tüketilen yakıt, motor gücü, garanti, ekonomik ömür ve marka değeridir. Çalışmada alternatiflerin ağırlık değerlerini hesaplamada kareli ortalama ve Kwong-Bai modelini kullanmışlar ve ilk sırada “O4” kodlu alternatifi belirlemişlerdir.

Calabrese vd. (2013) te genişletilmiş BAHS yönteminin adımlarını uyarlayarak işletmeleri entelektüel sermaye açısından değerlendirmişlerdir

Vatansever ve Uluköy (2013), çalışmalarında BAHS ve Bulanık MOORA yöntemi kullanarak üretim alanına en uygun kurumsal kaynak planlaması yazılımı seçimi için çok kriterli karar verme yöntemlerini uygulamışlardır. Değerlendirmede toplam maliyet, fonksiyonellik, sistemin güvenilirliği, sistemin esnekliği, uygulama zamanı, kullanım kolaylığı faktörleri ve SAP, ORACLE, LOGO, LAS, NETSIS gibi alternatifler kullanılarak analiz yapılmıştır. Firmanın tercih etmesi gereken yazılımın “SAP” olduğu bulunmuştur.

Şimşek vd. (2014), Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci kullanılarak turizm sektöründe insan kaynakları seçimine uygulamıştır. Alternatif olarak 3 aday belirlenmiş adaylar “Dışsal Kriterler”, “Mesleki Yeterlilik ve Sorumluluk”, “İçsel Kriterler”, ana kriterlerini oluşturan toplam 20 alt kriter üzerinden değerlendirilmiştir. En önemli ana kriterin mesleki yeterlilik olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Uçar vd. (2015), üniversitede müfredat tabanlı ders programı sorununa çözüm aramışlardır. Uygulama kapsamındaki eğitim kurumu için beş farklı alternatif belirlenmiş ve önem derecelerine karar verilirken bölümdeki öğretim elemanlarının düşünceleri alınmıştır. Ayrıca önem derecelerinin daha doğru sonuçlar vermesi için BAHS yöntemi kullanılmıştır. Calabrese vd. (2016) BAHS yöntemini işletmelerin sürdürülebilirlik raporlarının hazırlanmasında kullanmışlardır.

Akar ve Çakır (2016), lojistik firması personel seçimi için MOORA yöntemi uygulanarak adayların özelliklerine göre sıralamalarını yapmışlardır. Ayrıca BAHS yöntemiyle adaylarda olması gereken özelliklerin önem derecelerini hesaplamışlardır. Kriterleri temel düzey bilgisayar bilgisi, deneyim, raporlama, lojistik bilgi teknolojileri ve İngilizce seviyesi olarak belirtmişlerdir ve alternatif olarak beş aday içinden değerlendirme yapmışlardır. Değerlendirme sonucunda “4. Adayın” iş için en uygun aday olduğunu önermişlerdir.

Söyler ve Yaraş (2016), küresel pazardaki ülkelerin pazara girişteki zorluğunu BAHS yöntemi kullanılarak değerlendirilmişlerdir. Alternatif olarak 6 ithalatçı ülkeyi “Pazara giriş zorluğu”, “Pazar fırsatları”, “Ulaşılabilirlik”, “Ödeme riski” kriterleri ile değerlendirilmiş. Sonuç olarak en dezavantajlı pazarın Suudi Arabistan, en avantajlı pazarın ABD olduğunu bulmuşlardır.

Şişman (2017), hata çeşitleri ve performans analizinde BAHS ve bulanık VIKOR yöntemlerinden yararlanarak otomobil sektöründe faaliyet gösteren yan sanayide tehlikeleri ölçmüştür. 9 alternatiften en tehlikesiz olanını HT7 “valf yayının takılmaması” , en tehlikelisinin ise HT4 ile “metallerde çapaklanma olması” olduğunu bulmuştur.

Zafar vd. (2018), BAHS’yi yeşil tedarikçi seçimi ve değerlendirilmesinde kullanmışlardır. Eren ve Gür (2018), çalışmasında ameliyathane performansını artırmada etkili olan faktörler üzerine yaptıkları çalışmada ana kriterler olarak öğrenme ve büyüme, iç süreçler, hasta, maliyet ve 22 alt kriter kullanmış ve yapıyı BAHS yöntemi ile değerlendirmişlerdir.

Göktolga ve Karakış (2018), Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi ve VIKOR yöntemleri kullanarak on sekiz şirketin 2014-2016 yılları arasındaki finansal veri tablolarından yararlanarak bireysel emeklilik performanslarını incelemişlerdir. Firmalar sekiz adet teknik ve finansal oran kullanmışlardır. Bunlar: Cari Oran, Dönem Net Karı/Toplam Aktifler, Dönem Net Karı/Özkaynaklar, Teknik Kar Oranı, Hasar Prim Oranı ve Yatırım Gelir Oranı, Net karlılık Prim Oranıdır. Çalışmanın sonucunda kriter olarak belirlenen teknik ve finansal oranlara göre performans sıralaması yapılmıştır.

Kiraz vd. (2018), BAHS ve Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak Sakarya ili için sektörlerin öncelik sırasını belirlemişlerdir. Kriter ağırlıklarını belirlemek için BAHS yöntemini, 16 alternatif arasında sıralama yapmak için Bulanık TOPSIS yöntemini kullanmışlardır. Şirketlerin yatırımı için öncelikli kriterler, “teşvik ve destekler”, “Pazar”, “hammaddeye yakınlık” olarak belirlenmiştir. Sakarya ili için öncelikli alanlar ise “demir-çelik metal işleme”, “otomotiv ve yan sanayi”, “ziraat-tarım ve hayvancılık” olarak bulunmuştur.

Organ ve Kenger (2018)’in çalışmasında, Osmaniye ilindeki faaliyet gösteren yerel bir markette personel alımı için BAHS ve Bulanık MOORA yöntemi kullanılmış ve kriter olarak güvenilirlik, müşteri odaklılık, bilgisayar tecrübesi, fiziksel özellikler, eğitim, yabancı dil bilgisi, uyumluluk, deneyim, referans, yaratıcılık ve yenilikçilik belirlenmiş ve beş tane alternatif aday belirlenmiştir.

Değerlendirme sonucu alternatif sıralaması AD>AC>AE>AB>AA şeklinde oluşmuş ve en önemli kriter ise referans bilgisi olmuştur.

Uygun vd. (2018), çok kriterli karar verme yöntemlerinden BAHS ve bulanık MOORA yöntemleri kullanılarak gıda işletmesi için tedarikçi seçimi gerçekleştirmiştir. Çalışmada 21 kriter belirlenmiş, ağırlıklandırma için BAHS modeli kullanılmıştır. Bulanık MOORA yöntemi ile de kriter girdileri oluşturulmuş, öncelik verilmesi gereken tedarikçi “T3” olarak bulunmuştur.

Ulutaş vd. (2018), bulanık analitik hiyerarşi süreci yöntemi ve bulanık gri ilişkisel analizi yöntemlerini personel seçimi probleminde kullanmışlardır.

Ustalı ve Tosun (2019), çalışmalarında çok kriterli karar verme yöntemlerinden BAHS ve Bulanık WASPAS modellerini kullanarak teknoloji ürünleri üreten bir firmanın piyasaya yeni ürünler sürme konusunda tercih yapması probleminde çözüm aramışlardır. Çalışmada 4 adet ürün alternatifi arasından “A1” en uygun seçim olarak bulunmuştur.

Tosunoğlu ve Apaydın (2020), BAHS yöntemini kullanarak üniversitelerin sıralama göstergeleri üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada, makale sayısı, toplam bilimsel yayın sayısı, atıf sayısı, doktora öğrenci oranı, öğretim üyesi başına düşen öğrenci sayısı kriterler olarak belirlenmiştir. Ağırlıklandırma sonucuna göre toplam bilimsel yayın sayısı ilk sırada yer almıştır.

Cömert ve Yener (2017), Sakarya ilinde gıda alanında hizmet veren bir firmanın depo yeri seçimi problemi için BAHS yöntemi kullanmışlardır. Çalışmada kullanılan temel kriterler: depo yerinin maliyeti, depo yerinin çevresel etmenleri, depo yerindeki iş gücü, depo yerinin alt yapısıdır. En uygun depo yeri Sakarya'nın Arifiye ilçesi olarak belirlenmiştir.

Gedikli vd. (2021), gıda firmasının uygun bakım stratejisinin seçilmesi için yaptıkları çalışmada BAHS ve bulanık TOPSIS yöntemlerini kullanmışlardır. Yöntemin uygulanmasında beş alternatif (düzeltici bakım, periyodik bakım, fırsatçı bakım, duruma dayalı bakım ve kestirimci bakım), dört ana kriter (güvenlik, maliyet, güvenilirlik ve katma değer), on iki alt kriter tanımlanmıştır. “KB” kodlu bakım stratejisi en uygun alternatif olarak seçilmiştir.



II.BÖLÜM

2. METODOLOJİ

2.1. Yapısal Eşitlik Modellemesi

Yapısal eşitlik modelleri, çalışılan alandaki özelliklerin birbiriyle olan ilişkilerini, neden sonuç bağlamında ortaya koyması nedeniyle, nedensellik kavramıyla yakından ilişkilidir. YEM’de nitel neden-sonuç bilgileri istatistiksel veriyle birleştirildiğinde, ilgilenilen değişkenler arasındaki neden-sonuç ilişkilerinin nicel değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır (Pearl 2000: 204).

2.1.1. Nedensellik Kavramı

Nedensellik, nesnelerin özellikleri arasındaki bağımlılıkların nesneye özgü dille sunumudur (Mulaik ve James 1995: 129). Nesnelerin özellikleri mantıksal olarak değişken değerleri olarak kümelendikleri için, nedensellik, değişkenler arasında fonksiyonel ilişkiler biçimini alır (James vd., 1983).

Neden sonuç ilişkisi tarihin eski dönemlerinden beri üzerinde düşünülmüş kavramlardandır. Eski Yunan’da felsefenin öncülerinden Aristo, neden-sonuç ilişkisini açıklama olarak ele almış ve var olan açıklama biçimlerini sentezleyerek dört farklı neden-sonuç ilişkisi ortaya koymuştur, Maddi, biçimsel, etkin ve amaçlı (teleolojik) nedenlerle bir şeyin, başka bir şeye hangi araçlarla bağlı olduğu açıklanmıştır (Mulaik 2009: 65).

Akılcı felsefe okulunun kurucusu kabul edilen Descartes; Bilginin, bütünün analiz edilip sentez edilmesiyle tümdengelim ve sezgi yöntemiyle akıl tarafından elde edildiğini savunmuştur. Sebepler, bir başka deyişle neden sonuç ilişkileri doğal olarak varlardır. Descartes in bilginin ve düşüncelerin doğuştan var oldukları fikrinin aksine, Locke deney sonucu akıl yürütmelerle bilginin edinilebileceğini öne sürerek empirisizm in temellerini oluşturmuştur (Mulaik 2009: 66-67).

David Hume, nedensel ilişkilerin, deneysel tekrarlarla oluştuğunu, bir nesne üzerindeki benzer etkinin benzer bir sonuç üreteceğini belirtmiştir (Bollen 1989: 42). Alman felsefeci Kant, meydana gelen tüm değişikliklerin neden-sonuç kuralları

çerçevesinde ve eş zamanlı olarak gerçekleştiğini vurgulamıştır. Kant, kavramlar veya nesnelerin özellikleri için üç durum tanımlamıştır. Birincisi nesnenin özelliğini oluşturan ve ondan ayrılamayacak özellik (içerik), ilk özellikten farklı diğer bir özellik (nedensellik) ve bunların ilişkili olma biçimidir (topluluk) (Mulaik 2009: 85).

Çok değişkenli İstatistiğin kurucusu kabul edilen Pearson, neden-sonuç kavramını ilişki olarak tarif etmiş, korelasyonu ilişkinin bir ölçütü olarak nedensellikle ilişkilendirmiştir (Mulaik 2009: 75).

Mulaik (2009: 110), nedensellik ilişkisini şu şekilde özetlemiştir:

“Bilim, nesneler bilgisidir. Nesneler, belli özellikleri bünyesinde barındıran, araştırmacıdan bağımsız olarak tecrübeyle sabitlerdir. Özellikler, birden çok kategoriden sadece birine karşılık gelen ve belli bir anda sadece birisinin nesneye atandığı sınıflardır. Değişken, belli bir özelliğin belli bir anda sahip olabileceği değerlerin zihni bir sembolüdür. Değişkenler arasındaki işlevsel ilişkilere nedensel ilişki adı verilir.”

Nedenselliğin var olması üç koşulun yerine getirilmesine bağlıdır. Bollen (1989: 41) bu koşulları genel bir tanım içerisinde şu şekilde ifade etmiştir:

“x değişkeni dışında tüm etkilerden *yalıtılmış* bir y değişkeni olduğunu düşünelim. X deki bir değişim Y de *birlikte değişime* yol açıyorsa x, y nin *nedenidir*.”

İki değişken arasında nedensellik olduğunu söyleyebilmek için öncelikle başka değişkenlerden yalıtılmış olmaları, sonra birlikte değişim gösteriyor olmaları gerekir. Birlikte değişim korelasyonda görülebileceği gibi neden sonuç ilişkisinin belirlenmesinde tek başına yeterli değildir, hangi değişkenin diğerinin nedeni olduğunun tayin edilmesi gerekir. İki değişken arasında korelasyon bulunması, bunların birbirlerinin nedeni olduklarını göstermeyeceği gibi korelasyonsuz olmaları da aralarında neden-sonuç ilişkisi olmadığı anlamına gelmez (Bollen 1989: 52). Çünkü birbirlerine olan etkilerinin sadeleşmesi sonucu korelasyon bulunamamış olabilir. Bu yüzden korelasyon nedensellik ölçüsü olarak belirleyici değildir (Mulaik 2009: 1).

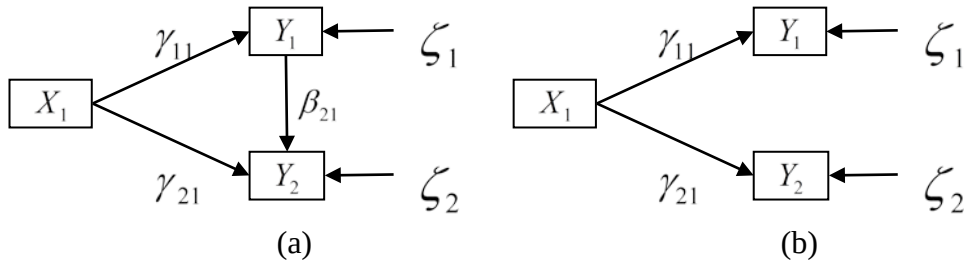
Nedenselliğin varlığı için üç koşulun varlığına bakılmaktadır: Yalıtılmışlık, Birlikte Değişim, İlişkinin Yönü.

2.1.1.1. Yalıtılmışlık

İki değişken arasında neden-sonuç ilişkisi araştırılırken öncelikle bu ilişkiyi etkileyebilecek diğer tüm etkilerden yalıtılmış olması gerekir. Ancak bu ideal olarak mümkün değildir çünkü bağımlı değişkeni sadece bir tane açıklayıcı değişkenin etkisi dışındaki tüm etkilerden arındırmak ancak deneylerde mümkün olabilir. Bu nedenle mutlak yalıtılmışlık kavramının yerini, ihmal edilmiş tüm değişkenlerin birleşimi olarak kabul edilebilecek etki teriminin dışsal değişkenlerle ilişkisiz olma varsayımıyla ifade edilen, *sahte-yalıtılmışlık* kavramı almaktadır (Bollen 1989: 43).

Açıklayıcı değişken setinde bulunması gerekirken etki teriminin bir parçası olarak kalan bir değişken, etki terimiyle açıklayıcı değişkenler arasında korelasyona yol açarak sahte-yalıtılmışlık koşulunu bozmaktadır. Dışlanan bu değişkenler y bağımlı değişkeni ile x açıklayıcı değişkenlerinin ortak nedeni olabileceği gibi, x ve y ile analiz edilemeyen bir ilişki içinde olabilir veya bu değişkenler *ara (intervening)* değişkendir (Bollen 1989: 46).

Bağımlı ve bağımsız değişkenleri sebep olarak bağlayan ve bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki dolaylı etkisini ortaya çıkaran değişkenlere *ara (intervening)* değişken denir. Örneğin madde bağımlılığı ve başarısızlık ilişkisini inceleyen bir modelde motivasyon kaybı bu model için ara değişken olabilir. Madde bağımlılığı motivasyon kaybına, motivasyon kaybı da başarısızlığa yol açmaktadır. Bollen (1989: 46)'dan uyarlanan bir yol modeli örneği Şekil 2.1.'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Yol Modeli Örneği

Şekilde X_1 dışsal değişkeninin hem Y_1 içsel değişkenini hem de Y_2 içsel değişkenini belirlediği görülmektedir. Sol taraftaki modelde, X_1 dışsal değişkeni tarafından belirlenen Y_1 değişkeni Y_2 değişkenini belirleyerek aynı zamanda dışsal değişken özelliğindedir. İki içsel değişken için iki denklem aşağıdaki gibi yazılır.

$$Y_1 = \gamma_{11}X_1 + \zeta_1 \quad Y_2 = \beta_{21}Y_1 + \gamma_{21}X_1 + \zeta_2$$

Hem denklemlerden hem de Şekil 2.1 (a)'da görüleceği gibi, X_1 değişkeni Y_1 değişkeni üzerinde doğrudan etkiye sahip olduğu gibi Y_2 üzerinden dolaylı da etki etmektedir.

γ_{21} , X_1 değişkeninin Y_1 değişkeni üzerindeki doğrudan etkisine karşılık gelirken, $\gamma_{11}\beta_{21}$ dolaylı etkisine, $\gamma_{21} + \gamma_{11}\beta_{21}$ ise toplam etkiye karşılık gelmektedir. Doğru modelin Şekil-3.1 (a)'da verilen model olduğunu varsayarsak, Y_1 değişkeni ara (*intervening*) değişkendir ve X_1 'in Y_2 değişkeni üzerindeki dolaylı etkisini sağlamaktadır. Bu değişkenin Y_2 üzerindeki etkisinin ihmal edilmesi (dışlanması) durumunda model Şekil 2.1 (b) deki şekle dönüşür Y_2 ye ilişkin denklem $Y_2 = \gamma_{21}X_1 + \zeta_2^*$ olur. Burada $\zeta_2^* = \beta_{21}Y_1 + \zeta_2$ olduğundan yeni bozucu terim ile X_1 arasında korelasyon vardır ve *sahte-yalıtılmışlık ihlal* edilmiştir.

Örnek modelde X_1 değişkeni dışlanacak olursa, hem Y_1 hem de Y_2 ye neden olan değişken dışlanmış olacaktır. Burada X_1 , Y_1 ve Y_2 nin *ortak nedenidir*. İki değişkenin ortak nedeni olan bir değişkenin modele dahil edilmemesi, bu iki değişken arasında *sahte ilişki* olarak tanımlanan, birbirleriyle ilişkili olduğu saptanan değişkenlerin aslında hiçbir şekilde birbirleriyle ilişkili olmamaları durumunu ortaya çıkarabilir (Şimşek 2007: 40). Bu değişkenler, başka bir değişkenle olan ortak ilişkileri sebebiyle ilişkili bulunmuş olabilirler.

Gözlenen değişkenlerin hatalı gizli değişkenlerle ilişkilendirilmesi veya bağımlı oldukları ortak gizli değişken dolayısıyla ilişkili olan iki gözlenen değişken arasında doğrudan bir nedensel ilişki belirlenmesi de sahte ilişki durumuyla karşılaşılmasına yol açabilir (Bollen 1989: 51).

Kimi durumlarda ara değişkenin modele dahil edilmemesi, bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasında var olan ilişkinin eksik veya fazla veya tamamıyla zıt bir yönde llmesine yol açabilir. Bir değişkenin, modele dahil edilmeyen diğer bir değişken üzerinden bağımlı değişken üzerindeki dolaylı etkisiyle doğrudan etkisi birbirini sadeleştirebilir. Bu tür durumlara *nleyicilik Durumu* (Suppression), bu duruma neden olan değişkenlere de *nleyici değişken* denmektedir (Bollen 1989: 52).

Dışlanan değişkenlerin varlığının sahte yalıtılmışlık koşulunu bozmasının yanında, açıklayıcı değişkenlerin ölçüm hatalarına sahip olması, bağımlı değişkenin dışsal değişkenleri etkilemesi, araştırmacının değişkenler arasında hatalı nedensel ilişki belirlemesi, içsel değişkenlerin diğer içsel değişkenlerin hatalarıyla ilişkili olması gibi durumlar da sahte yalıtılmışlık koşulunun ihlal edilmesine yol açmaktadır. (Bollen 1989: 55).

2.1.1.2. Birlikte Değişim

Değişkenler arasında nedensellik kurabilmenin ikinci koşulu, yalıtılmışlık koşulunun sağlanması kaydıyla, neden-sonuç değişkenlerinin birlikte değişim göstermeleridir. Bu değişimin sağlıklı ölçülmesi için; ölçüm hatalarının, değişen varyansın ve değişkenler arasında tam çoklu doğrusallığın bulunmaması, kalıntılar arasında korelasyon (ardışık bağımlılık) olmaması ve modelin farklı veri setlerinde tekrar edilmesi gerekir (Bollen 1989: 61).

2.1.1.3. İlişkinin Yönü

Değişkenler arasında ilişkinin nedensel olabilmesi için ilişki yönünün doğru belirlenmesi gerekir. Ancak nedenin, sonucu zamanda öncelemesi neticesinde açıklayıcı değişkenin neden olabileceği söylenebilir ve bu durum *zamansal öncelik* olarak bilinir (Bollen 1989: 61).

Bollen (1989: 63), özellikle ölçüme modellerinde, örtük değişkenlerin gözlenen değişkenlerin nedeni olabildiği gibi gözlenen değişkenlerin sonucu da olabildiğini, çalışmanın özelliğine bağlı olarak neden sonuç ilişkisinin oluşabilmesi için uygun zaman aralıkları belirlenmesi gerektiğini, dönüşlü veya eş anlı ilişkinin bulunduğu modellerde zamansal öncelik koşulunun gerçekleşmediğini belirtmiştir.

Mulaik (2009: 101), nedenselliğin doğru tespiti için; değişkenler arasındaki ilişkinin başka bir değişken aracılığıyla sağlanıp sağlanmadığının yani aracılığın değerlendirilmesi gerektiğini ve nedenin ilgili sonucu yaratması için gerekli zaman aralığının gözetilmesini önermiştir.

Çalışmalarda sadece iki değişken arasındaki ilişkiden ziyade ilgilenilen konuyla ilişkili olabilecek birçok değişken arasındaki ilişkiler bir genel çerçeve içerisinde yani model içerisinde değerlendirilir.

2.1.2. Model Kavramı

Model en temel ifadesiyle, değişkenler arasındaki ilişkilerin istatistiki olarak ifadesidir. Bir başka deyişle bir *istatistiki model*, bir grup rasgele değişkenin dağılımları hakkındaki yargıdır (Bartholomew,2007). Araştırmacı, üzerinde çalıştığı konuyla ilgili olduğunu düşündüğü değişkenleri ve bu değişkenlerin aralarındaki ilişkilerini konunun gerçekliğe uygun bir gösterimi olarak model biçiminde ifade eder. Nesnellik açısından modelin ne kadar gerçekliğe uygun olduğunun test edilebilir olması yani yanlışlanabilir olması gerekir (Mulaik ve James 1995: 131).

Modelin yapıtaşlarını oluşturan dört farklı değişken türünden bahsedilebilir. Bunlar; ölçmeyle elde edilebilen *gözlenen değişkenler*, doğrudan ölçülemeyen *gizli veya örtük değişkenler*, diğer değişkenlerin kolektif etkilerine karşılık gelen ve gösterge değişkene sahip olmayan sıfır hataya sahip *birleşik değişkenler*, ölçme hatası ve belirleme hatasını barındıran *hata değişkenleridir* (Grace 2006: 37).

Değişkenlerin birbirlerini etkileme yönü esas alınacak olursa, yordayıcı değişken *dışsal değişken*, yordanan değişken ise *içsel değişken* olarak adlandırılır. Bir başka deyişle, model dışında belirlenen değişkenlere dışsal değişkenler, model içinde belirlenen değişkenlere içsel değişkenler denir (Bollen 1989: 46).

Değişkenlerin yanında modelin diğer bir unsuru *yapısal parametrelerdir*. Yapısal parametreler değişkenler arasında nedensel ilişkiyi sağlayan sabitlerdir. Nedensellik modeli bağlamında regresyon denklemleri yapısal denklemlere, parametreler ise yapısal parametrelere dönüşürler. Yapısal parametreler, gözlenen değişkenler arasındaki nedensel bağı belirttikleri gibi, gözlenen değişkenlerle örtük değişkenler arasında veya örtük değişkenlerin arasındaki nedensel bağı da gösterirler.

Yapısal eşitlik modellerinin iki temel bölümü bulunmaktadır; yapısal model ve ölçme modeli. Yapısal Model, örtük değişkenler arasındaki ilişkilere karşılık gelen yapısal denklemleri içeren modellerdir. Örtük değişkenli modeller veya nedensel modeller olarak da bilinir. Ölçme modelinde de yapısal ilişkiler bulunduğu için, yapısal model kavramı yerine Bollen (1989), örtük değişkenli modeller isimlendirmesinin daha uygun olduğunu belirtmiştir. Hem bu hassasiyetle hem de örtük değişkenlere ilişkin konuların daha bütüncül ele alınabilmesi amacıyla, bu çalışmada da yapısal model yerine örtük değişkenli modeller başlığı uygun görülmüştür. Modeller denklemler şeklinde veya diyagramlar şeklinde gösterilirler.

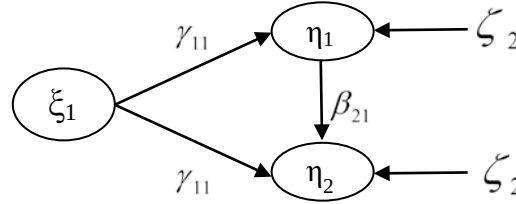
2.1.2.1. Örtük Değişkenli Modeller

Örtük (Gizli) Değişken, araştırmacının, çalışılan alanda doğrudan ölçme olanağı bulunmayan yapıları incelemek için hipotetik olarak tanımladığı değişkenlerdir (Bentler 1980: 420). Araştırmacı hipotetik olarak oluşturduğu yapıları birbirleriyle ve gözlenen değişkenlerle ilişkilendirip eşitliklerle matematiksel bir forma döktüğünde bilinmeyen parametrelere sahip yapısal formda eş anlı regresyon sistemleri elde edilir. Araştırmacının amacı veriyi doğrulayacak bir nedensel yapıya ulaşmaktır.

Örtük değişkenli nedensellik modelleri farklı bilimsel geleneklerden beslenerek oluşmuştur. Spearman (1904) la birlikte Psikometri alanında görülmeye başlayan Gizli değişken (GD) ve hata kavramları, değişkenlerin birbirleri üzerindeki etkileri Faktör analizinin gelişimine yön vermiştir. Wright (1934) eş anlı denklem modelleri ve GD üzerindeki çalışmalarını yol analizi olarak bilinen gösterim yöntemiyle sunarak başka bir temel oluşturmuştur. Duncan (1966), örtük değişkenlerle eş anlı denklem modellerini yol analizi gösterimiyle sunarak iki geleneğin birleşmesinin değerini göstermiştir (Bentler 1980: 432).

Bentler (1980) örtük değişkenli modelleri, analitik faktör modelleri ve eş anlı modeller olarak, eş anlı modelleri de tekrarlanan ve tekrarlanmayan modeller olarak iki sınıfa ayırmıştır. Analitik faktör modellerinde örtük değişkenler arasında yapısal bir ilişki yoktur, sadece korelasyonlu veya bağımsız olabilirler. Eş anlı denklem modellerinde ise örtük değişkenler birbirlerini oluşturabilir ve etkileyebilirler.

Örtük değişkenli modeller konusunda yapılan diğer bir sınıflama; birinci ve ikinci momentlerin ayrılabilir olup olmadığıyla ilgilidir. İkinci momentler varyans ve kovaryanslara karşılık geldiğinden bu modellere kovaryans yapı modelleri de denilir (Bentler 1980: 436). Örtük değişkenli modellerin notasyonları, denklem biçimleri ve grafik gösterimi Şekil 2.2.'deki örnekten yararlanılarak gösterilecektir.



Şekil 2.2. Örtük değişkenli modeller için örnek

Şekilde üç örtük değişkenli bir model gösterilmektedir. Değişkenlerin oval çerçeveler içinde olmaları bu değişkenlerin örtük değişkenler olduğunu ve doğrudan ölçülmediğini başka gözlenen değişkenler aracılığıyla ölçüldüğünü göstermektedir. Gözlenen değişkenlerin gösteriminde oval çerçeveler yerine dörtgen çerçeveler kullanılır. ξ_1 ile simgelenen ilk örtük değişken diğer değişkenler tarafından belirlenmediği için dışsal değişkendir ve dışsal örtük değişkenler ξ (Ksi) harfiyle gösterilir. η_1 ve η_2 ise içsel örtük değişkenlerdir ve ξ_1 tarafından belirlenmektedir. İçsel örtük değişkenler η (Eta) harfiyle gösterilirler. Dışsal değişken ile içsel değişkenler arasındaki nedensel bağa karşılık gelen yapısal parametreler γ (Gamma) harfiyle simgelenir. β (Beta) ise içsel değişkenler arasındaki yapısal parametrelere karşılık gelir. ζ_1 ve ζ_2 ise içsel değişkenlere ilişkin bozuntu (hata) terimleridir. Hata terimleri ζ (Zeta) harfiyle gösterilir.

Şekil 2.2.' de sunulan grafik gösterimi yol analizi diyagramı olarak bilinir ve müstakil bir alt başlık olarak tekrar değinilecektir. Örneğe ilişkin denklemler aşağıdaki gibi oluşur:

$$\eta_1 = \gamma_{11}\xi_1 + \zeta_1 \quad \eta_2 = \beta_{21}\eta_1 + \gamma_{21}\xi_1 + \zeta_2$$

Her bir içsel değişken için bir adet yapısal denklem oluşur ve bu denklemler matris gösterimiyle topluca şu şekilde yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \beta_{21} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \gamma_{11} \\ \gamma_{21} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \zeta_1 \\ \zeta_2 \end{bmatrix} \quad \eta = B\eta + \Gamma\xi + \zeta$$

B (Beta) ve Γ (Gamma) sembolleri sırasıyla β ve γ sembollerinin büyük harfleridir ve katsayı matrislerini sembolize ederler.

Örnek modelden hareketle örtük değişkenli modeller için genelleme yapılacak olursa, p adet içsel değişken ve q adet dışsal değişkene sahip bir modelde, η ve ζ matrisi px1 boyutlu, ξ matrisi qx1 boyutlu, B matrisi pxp boyutlu ve Γ matrisi pxq boyutludur.

Örnek modelin gösteriminde ve denklemlerde görülmese de örtük değişkenli modellerin sunumunda ve kovaryans matrislerinin hesaplanmasında kullanılan diğer iki sembolü belirtmek gerekir. Dışsal değişkenlere ilişkin kovaryans matrisi Φ (Phi) harfiyle veya beklenen değer cinsinden yazılacak olursa $E(\xi\xi') = \Phi$ şeklinde gösterilir. $\Psi = E(\zeta\zeta')$ ise hata terimlerinin kovaryans matrisini göstermek için kullanılır. Ψ matrisinin köşegen elemanları, karşılık geldikleri denklemde içsel değişkenin, açıklayıcı değişkenler tarafından açıklanamayan varyansını gösterir.

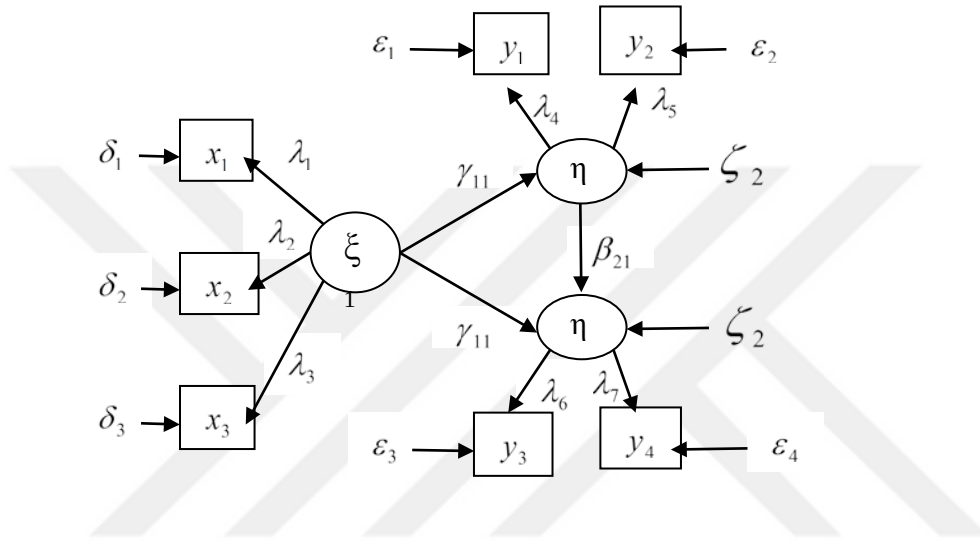
Örtük değişkenli modeller de diğer istatistiki yöntemlerde olduğu gibi bazı varsayımlara sahiptir. Örnek modelden hareketle izah edilecek olursa hata terimleri (ζ), dışsal değişkenlerle (ξ) ilişkisizdir ve tıpkı regresyon denklemlerinde hata terimleri için kabul edildiği gibi beklenen değer sıfıra eşittir $E(\zeta) = 0$ ve her bir denklemdeki hata terimleri ζ_i gözlemler için eşit varyanslı ve ardışık bağımsız kabul edilir (Bollen 1989: 14).

2.1.2.2. Ölçme Modeli

Ölçme en genel tabiriyle bir kavramın bir veya daha çok örtük değişkenle, bunların da gözlenen değişkenlerle ilişkilendirildiği süreçtir (Bollen,1989: 180). Ölçme, ilgilenilen kavramın tanımlanması, bu kavramla ilişkili örtük değişkenlerin belirlenmesi, belirlenen örtük değişkenlere ilişkin ölçülerin (gözlenen değişkenlerin) tayini ve bu örtük değişkenlerle ölçüler arasındaki bağın kurulması aşamalarını içerir.

Faktörler, yapısal eşitlik modellemesi özelinde de örtük değişkenler ancak gözlenen değişkenler için toplanan veriler üzerinden tarif edilebilir. Gözlenen değişkenler yerine literatürde, gösterge değişkenler, manifest değişkenler ve

ölçümler kavramı da kullanılmaktadır (Bollen,1989: 16). Örtük değişkenler arasındaki ilişkileri ortaya çıkarmak için kurulan modelin altyapısını gözlenen değişkenler ile örtük değişkenleri birbirine bağlayan ölçme modeli sağlar. Örtük değişkenler doğrudan ölçülemediği için gözlenen değişkenlerden elde edilen veriler yardımıyla ölçülürler. Örtük değişkenli modeller alt başlığında ele alınan örnek modelden hareketle, gözlenen değişkenlerin örtük değişkenlere bağlandığı bir ölçme modeli Şekil 2.3.'de verilmiştir.



Şekil 2.3. Ölçme modeli için örnek

Şekil 2.3'te görüldüğü üzere dışsal örtük değişkenle bağlantılı 3 gözlenen değişken vardır. Dışsal gözlenen değişkenler X ile gösterilir. Örnek modelde her bir içsel örtük değişkenle bağlantılı 2 gözlenen değişken olduğu görülmektedir. İçsel örtük değişkenlere karşılık gelen gözlenen değişkenler Y harfiyle simgelenmektedir.

Şekilde verilen λ (Lambda) katsayıları, örtük değişkenlerle gözlenen değişkenleri ilişkilendirirler ve örtük değişkendeki birim değişikliğin gözlenen değişkende oluşturması beklenen değişimin büyüklüğüne karşılık gelirler. Bu katsayılar, gözlenen değişkenler üzerindeki örtük değişkenin etkisine karşılık gelen regresyon katsayılarıdır.

Bu katsayıların daha iyi yorumlanabilmesi için genellikle örtük değişkenle gözlenen değişkenlerden birinin ölçeği eşitlenir veya örtük değişkenin varyansı 1 olarak sabitlenir (Bollen,1989: 18). X ve Y gözlenen değişkenlerindeki ölçüm

hataları sırasıyla δ (Delta) ve ε (Epsilon) ile gösterilir. Ölçme modelinin grafiksel gösteriminin yanında denklemlerle de ifade etmek mümkündür. Örnek ölçme modeli denklemleri şu şekilde yazılırlar.

$$\begin{aligned} x_1 &= \lambda_1 \xi_1 + \delta_1 & y_1 &= \lambda_4 \eta_1 + \varepsilon_1 & y_3 &= \lambda_6 \eta_2 + \varepsilon_3 \\ x_2 &= \lambda_2 \xi_1 + \delta_2 & y_2 &= \lambda_5 \eta_1 + \varepsilon_2 & y_4 &= \lambda_7 \eta_2 + \varepsilon_4 \\ x_3 &= \lambda_3 \xi_1 + \delta_3 \end{aligned}$$

Tıpkı örtük değişkenli modellerde olduğu gibi kovaryans modelde açıkça yer almamasına rağmen hesaplamalarda kullanıldığı için, ölçme modellerinde de ölçüm hatalarının kovaryansları önemlidir. Ölçme modellerinde hataların kovaryansları Θ (Theta) simgesiyle gösterilir, sırasıyla dışsal gözlenen değişkenlerin ve içsel gözlenen değişkenlerin hata kovaryans matrisleri $E(\delta\delta') = \Theta_\delta$ (Theta delta) ve $E(\varepsilon\varepsilon') = \Theta_\varepsilon$ (Theta epsilon) olur.

Ölçme modeli denklemleri kompakt halde aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$x = \Lambda_x \xi + \delta \quad y = \Lambda_y \eta + \varepsilon$$

Burada Λ (lambda), yapısal katsayıların oluşturduğu matrisleri temsil ederler.

Şekil 3.3'deki örnek model için matrisler aşağıdaki şekildedir:

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \quad y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix} \quad \Lambda_x = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \end{bmatrix} \quad \Lambda_y = \begin{bmatrix} \lambda_4 & 0 \\ \lambda_5 & 0 \\ 0 & \lambda_6 \\ 0 & \lambda_7 \end{bmatrix} \quad \xi = [\xi_1] \quad \eta = \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \end{bmatrix} \quad \delta = \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3 \end{bmatrix} \quad \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \end{bmatrix}$$

Örnekten hareketle ölçme modelleri için matris formu genellenebilir. p adet içsel örtük değişkene, q adet dışsal örtük değişkene, ve bu örtük değişkenlere ait sırasıyla m ve n adet gözlenen değişkene sahip bir modelde: x ve y matrisleri ve δ ve ε matrisleri sırasıyla nx1 ve mx1 boyutunda, ξ ve η matrisleri sırasıyla qx1 ve px1 boyutundadır. Λ_x matrisi nxq boyutlu ve Λ_y matrisi ise mxp boyutludur. Ölçüm hatalarının kovaryans matrisleri Θ_δ ve Θ_ε sırasıyla qxq ve pxp boyutludur ve köşegen elemanları ilgili gözlenen değişkenin varyansını verir.

Ölçme modelinde, x ve y gözlenen değişkenlerindeki ölçüm hataları δ ve ε için bazı varsayımlar bulunmaktadır. Ölçüm hataları birbirleriyle ve hem ξ ile hem

de η ile ilişkisiz olmalıdır. Gözlenen değişkenlerin hata terimlerinin örtük değişkenlerle korelasyon halinde bulunması tıpkı regresyon analizinde olduğu gibi hatalı parametre tahminlerine yol açar (Bollen 1989: 18).

Ölçme modelinin istenilen ölçme işlemi ne ölçüde gerçekleştirdiği, modelin geçerlilik ve güvenilirliğinin araştırılmasıyla tayin edilir.

2.1.2.2.1. Ölçme Modellerinde Geçerlilik ve Güvenilirlik

Geçerlilik, ölçülmek istenen şeyin değişken tarafından ne boyutta ölçülebildiğiyle ilgilidir. Geleneksel olarak dört grupta toplanabilen geçerlilik vardır; Kapsam geçerliliği, kriter geçerliliği, yapı geçerliliği, ayırt edici ve yakınsak geçerliliğidir.

Kapsam geçerliliği diğerlerinden farklı olarak nitel bir geçerlilik türüdür ve ilgilenilen kavrama ilişkin kuramsal tanımın çerçevesinin doğru çizilip çizilmemesiyle ilgilidir (Bollen 1989: 185).

Kriter geçerliliği, bir olgunun ölçüm sonucu elde edilen değeriyle gerçek değerinin yani kriterin ne kadar örtüştüğüyle ilgilidir ve ölçme işlemi anında elde edilebilen kriter değeriyle karşılaştırılabilirse eş anlı geçerlilik, daha sonra elde edilebilecek kriter değerleri karşılaştırılıyorsa tahmini geçerlilik denir. Bu geçerlilik testi, kriter ve ölçüm değerleri arasındaki korelasyonların bulunmasıyla yapılır ve bu değere geçerlilik katsayısı da denir (Bollen 1989: 186).

Yapı geçerliliği, ölçülmeye çalışılan yapılar arasındaki ilişkilerin ve yapılarla bu yapılara ilişkin ölçümler arasındaki ilişkilerin korelasyonlar yardımıyla ölçülmesi sonucu elde edilir.

Yakınsak geçerlilik, aynı özellik için farklı yöntemlerle elde edilen ölçümlerin korelasyonlarına bakılmasıyla değerlendirilir ve geçerlilik için yüksek korelasyon bulunması beklenir, ayırt edici geçerlilik ise farklı yapıları ölçen ölçekler arasında düşük korelasyon bulunmasını gerektirir.

Bollen (1989: 197), bahsedilen geleneksel geçerlilik yöntemlerinin yanında yapısal eşitlik modellerine özgü geçerlilik yöntemleri önermiştir. Bu yöntemler, standart ve standart olmayan yapısal katsayılar, belirleme katsayıları, çoklu doğrusallık yardımıyla ve model parametreleri kullanılarak bulunmaktadır.

Bir ölçümün güvenilir olması tekrarlandığında aynı sonuçları vermesine yani tutarlı oluşuna bağlıdır. Güvenilirlik, “bir ölçüm sürecinde ölçüm işleminin tekrarlanabilirliği ya da tekrarlardaki tutarlılık olarak tanımlanabilir” (Alpar 2003: 376).

Sosyal bilimlerde güvenilirlik kavramı psikolojideki klasik ölçüm kuramından türemiştir. Klasik test kuramına göre ölçmenin güvenilirliği için gözlenen skor ve gerçek skor ayırımına gidilmiş, bu ikisi arasındaki fark hata olarak tanımlanmıştır. τ gerçek skorlar, e hatalar ve α katsayılar olmak üzere iki maddeye ilişkin denklem aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned}x_i &= \alpha_i \tau_i + e_i \\x_j &= \alpha_j \tau_j + e_j\end{aligned}$$

α_i ve α_j 1’e eşit $\tau_i = \tau_j$ ve hata terimlerinin varyansları $Var(e_1) = Var(e_2)$ birbirine eşit ise x_i ve x_j maddelerine veya ölçülerine, *paralel maddeler*; α_i ve α_j bire eşit $\tau_i = \tau_j$ ama hata terimlerinin varyansları farklı ise *eşdeğer maddeler* denir. Şayet katsayılar da eşit değilse *konjenerik maddeler* olarak isimlendirilir (Bollen 1989: 208).

Bir başka deyişle, maddeler ölçmek istenen yapıyı eşit büyüklükte ve eşit duyarlılıkta ölçüyor ise paralel, eşit büyüklükte ancak eşit olmayan duyarlılıkta ölçüyorsa eşdeğer, farklı büyüklük ve duyarlılıkta ölçüyor ise konjenerik maddeler olarak isimlendirilir (Yurdugül, 2006: 24). Doğrulayıcı faktör analizinde ve YEM’de aynı faktöre atanan değişkenlere konjenerik değişken denir (Brown 2006: 59).

Bir madde için güvenilirlik, gerçek skor varyansının, gözlenen skor varyansına bölümüyle bulunur. $Var(x_i) = \alpha_i^2 \tau_i + var(e_i)$ olmak üzere güvenilirlik aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Güvenilirlik = \frac{\alpha_i^2 var(\tau_i)}{var(x_i)} \quad (Paralel \text{ ve } eşdeğer \text{ maddelerde } \alpha_i = 1)$$

Gerçek skorlar genelde bilinmediğinden yukarıda verilen formülü doğrudan uygulamak genelde mümkün olmamaktadır. Bu yüzden bir ölçeğin güvenilirliğini tahmin etmek için çeşitli yöntemler önerilmiştir. Bunlardan ilki *Test-Yeniden Test* yöntemidir. Aynı maddeye veya ölçüye ilişkin farklı zamanlarda elde edilen

sonuçların kıyaslanmasıdır. Diğer bir güvenilirlik yöntemi ise *Alternatif formlar* yaklaşımıdır. Test-yeniden test yönteminden farkı, aynı ölçü için değil farklı ölçüler için farklı zamanda elde edilen sonuçların karşılaştırılmasıdır. Her iki yöntemde de bu karşılaştırma işlemi yani güvenilirlik hesabı korelasyonlarla yapılmaktadır. Paralel maddeler için güvenilirlik korelasyonlara eşittir (Bollen 1989: 213). Diğer bir güvenilirlik yöntemi *yarı-güvenilirlik* yöntemidir. Bu yöntemde bir yapıyı ölçecek maddeler iki parçaya ayrılıp ayrı ayrı güvenilirlikleri hesaplanır ki bahsedilen ilk iki yöntem gibi korelasyonlarına eşittir daha sonra bu yarılar için bulunan güvenilirlik katsayısı testin tümü için kullanılır.

$$\text{Güvenilirlik} = \frac{2r}{1+r}$$

Bu formül *Spearman-Brown formülü* olarak bilinir. Diğer güvenilirlik testleri gibi bu testin de doğru sonuçlar vermesi için maddelerin paralel olması ve yarıların benzer olması varsayımları bulunur (Alpar 2003,383).

Paralel maddelerin yanında eşdeğer maddelerin güvenilirlikleri için de kullanılabilecek diğer bir güvenilirlik testi *Cronbach Alfa* yöntemidir. Bu yöntem diğer güvenilirlik formüllerinin aksine maddelerin ikili güvenilirliklerinin ortalamasını alarak testin tamamı için bir güvenilirlik formülü sunmaktadır (Yurdugül 2006: 28). q adet madde veya ölçü varsa iç tutarlık katsayısı da denilen denklem aşağıdaki gibi bulunur.

$$\alpha = \left(\frac{q}{q-1} \right) \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^q \text{Var}(x_i)}{\text{Var}(\sum_{i=1}^q x_i)} \right)$$

Test-yeniden test, alternatif formlar yöntemleri paralel ölçümler için, alfa katsayısı yöntemi eşdeğer ölçümler için güvenilirlik hesaplamalarında kullanılırken, konjenerik ölçümler ve maddeler için farklı yöntemler önerilmiştir. McDonald (1999) tarafından konjenerik ölçümler ve maddeler için geliştirilen omega (ω) güvenilirlik katsayıları şu şekildedir (Yurdugül 2006: 28).

$$\omega = \frac{\text{Var}(T)}{\text{Var}(X)} = \frac{(\sum_{i=1}^q \lambda_i)^2}{(\sum_{i=1}^q \lambda_i)^2 + \sum_{i=1}^q \psi_i^2} \quad \omega = \frac{\text{Var}(T_i)}{\text{Var}(X_i)} = \frac{\lambda_i^2}{\lambda_i^2 + \psi_i^2}$$

Test-yeniden test yöntemi testin istikrarına (stabilliliğine), alternatif formlar yaklaşımı testin eşdeğerliliğine, yarı-güvenilirlik ve cronbach alfa yöntemleri testin homojenliğine ilişkin güvenilirlik yaklaşımlarıdır (Aktürk ve Acemoğlu 2012: 318).

Ölçeğin güvenilirliği söz konusu ölçekteki tesadüfi hatalarla ilgilidir. Bu hatalara neden olarak; denek (örnek seçimi) hatası, denek önyargısı, gözlemci hatası ve gözlemci önyargısı örnek verilebilir (Altunışık vd., 2007: 117).

2.1.3. Yapısal Eşitlik Modellemesi

Yapısal eşitlik modellemesi, önemli kuramların deneysel veri aracılığıyla geçerliliğin araştırıldığı birçok istatistiksel yöntemi tarif etmek için kullanılan genel bir terimdir (Lei ve Wu 1997: 33). Kaplan (1990: 1)'e göre yapısal eşitlik modellemesi en iyi; gözlenen verilerin ortalamaları, varyansları ve kovaryanslarına ilişkin hipotezlerin, kuramsal modelce tanımlanan daha az sayıda yapısal parametreyle ifade edilebilmesini araştıran yöntemler bütünü olarak tanımlanabilir. Yapısal eşitlik modeli (YEM), bir veya daha çok bağımsız değişken ve bir veya daha çok bağımlı değişken arasındaki ilişkiyi incelemeye fırsat veren istatistiksel teknikler toplamıdır. Açıklayıcı faktör analizi, çok değişkenli regresyon analizi ile ele alınırsa YEM elde edilir (Tabachnick ve Fidell 2007: 676).

2.1.3.1. Yapısal Eşitlik Modellemesinin Tarihçesi

Kaplan (1990)'a göre YEM iki ayrı istatistiksel geleneğin harmanlanmasıdır. Bunlardan ilki temellerini psikoloji ve psikometrinin oluşturduğu faktör analizidir. İkinci gelenek ise erken dönemde genetik alanında izleri sürülebilecek olan ama özellikle ekonometri alanında geliştirilen eşanlı denklem modellemesidir (Kaplan 1990: 1).

Faktör analizinin kökeni Galton (1869) ve Pearson (1904)'ün kalıtım problemi üzerine çalışmalarına dayansa da, Spearman (1904) gerek değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarabilmek için geliştirdiği korelasyon katsayısının yapısal parametrelere karşılık gelmesi gerekse de belli özellikleri ortak bir faktör altında toplaması yapısal eşitlik modellemesiyle uyumludur (Kaplan 1990: 2) ve Spearman (1904)'ün bu çalışması faktör analizinde bir milat kabul edilmektedir (Cudeck ve Mccallum 2007: 1; Joreskog 2007: 47). Daha sonraları Thurstone (1934: 1), Spearman'ın çalışılan konuda ele alınan değişkenlerin tümünün tek bir faktörde

açıklanması sınırlamasına bağlı kalmadan, genel faktör kuramı olarak isimlendirdiği ve çoklu faktör kullanmayı önerdiği bir yöntem geliştirmiştir. Ortak faktör varyansı, hata varyansı, temel eksenler, eksenlerin döndürülmesini ilk kez kullanan Thurstone'ın faktör analizine yaptığı katkıyı Jones (2007) şu şekilde ifade etmiştir:

“Spearman'ın haricinde hiç kimse Thurstone kadar faktör analizinin gelişiminde güçlü bir etki bırakmamıştır”.

Bartholomew (2007: 13) faktör analizinin ağırlıklı olarak korelasyon matrisine dayandığı bu dönemi faktör analizinin birinci safhası olarak nitelendirmiş; Lawley ve Maxwell (1963,1971) tarafından değişkenlerin doğrusal bir model çerçevesinde sistematik olarak ele alınmaya başlanmasıyla faktör analizinin gelişiminde yeni bir safhaya geçildiğini belirtmiştir.

Lawley ve Maxwell (1962), Jöreskog ve van Thillo (1971) ve Jöreskog (1967) vb. çalışmalarda faktör analizinde en yüksek olabilirlik yaklaşımıyla (EYO) uyum fonksiyonları elde edilmiş, faktörlerin değişkenler arasındaki korelasyonu ne ölçüde temsil ettiğinin sınanmasına ve modelin uyumunun testine imkân sağlamıştır. Jöreskog ve Goldberger (1972), faktör analizinde tahmin yöntemi olarak genelleştirilmiş en küçük kareler (GEK) yöntemini geliştirmişlerdir.

Özellikle Jöreskog (1969) ve Anderson ve Rubin (1956)' in çalışmaları günümüze değin popülerliğini korumayı başarmış olan Açıklayıcı Faktör Analizi (AFA) ve Doğrulayıcı Faktör Analizi (DFA)'nin metodolojisinin gelişmesine yol vermiştir (Kaplan 1990: 3).

Yol diyagramları araştırmacılara değişkenler arasındaki ilişkilerin hipotetik gösterimine imkân verdiğinden YEM için temeldir (Tabachnick ve Fidell,2007: 677). Wright (1918), Yol Analizinin (YA) kurucusu olarak kabul edilir ve kurduğu model denklemlerinin doğrudan, dolaylı ve toplam etkinin tahmininde nasıl kullanılacağını göstermiştir. Yine Kaplan (1990;2)' a göre Wright' ın yaptığı iş, istatistiksel olarak Spearman (1904)'ın faktör analizine denktir ve çalışmalarındaki ekonomik bakış açısı yapısal eşitlik modellemesine daha sonra yapılacak ekonometrik katkının özünü oluşturmuştur.

Yapısal eşitlik modellemesine temel oluşturan ikinci alan ekonometri olmuştur. Ekonomik problemlerin ele alınışında ekonometrik yaklaşımın

matematiksel kısmının zayıflığını vurgulayan Haavelmo (1943), ekonomik değişkenlerin bağımlılıklarını modellemeye çalışmış ve eşanlı denklemler sistemi oluşturmuştur. Değişkenler arasında etkinin iki yönlü olduğu durumlarda tek bir denklem yerine, her bağımlı değişken için bir denklem oluşturularak eşanlı denklem çözümü yapmak gerekir (Gujarati 1999: 635).

Kaplan (1990: 5)'a göre örtük değişkenler ve eşanlı denklem modellemelerinin uyumlu bir çatı altında toplanması Jöreskog (1973), Keesling (1973) ve Wiley (1973)'in çalışmalarına dayanır. Jöreskog YEM'i iki parça halinde ele almıştır; Birincisi gözlenen değişkenlerle örtük değişkenlerin Doğrulayıcı Faktör Analiziyle (DFA) birbirine bağlandığı ölçme modeli, İkincisi ise eşanlı denklemlerle örtük değişkenlerin birbirleriyle ilişkilendirildiği yapısal modeldir.

Normal olmayan veriler için yeni tahmin yöntemlerinin geliştirmesi yapısal eşitlik modellemesinde yeni bir sayfa açmıştır. Browne (1984) ve Muthen (1978, 1984)'in kategorik, sıralı ve sürekli değişkenlerin bulunduğu normal dağılmayan veriler için kurulan modellerde parametre tahminine imkân veren çalışmaları önemlidir (Kaplan,1990: 6). Muthen ve Satorra (1989) zaman serisi verisi içeren büyüme eğrisi parametrelerinin tahmini için çok düzeyli yapısal eşitlik modellemesini kullanmışlardır (Kaplan 1990: 7).

2.1.3.2. Yapısal Eşitlik Modellemesinin Artıları ve Sınırlılıkları

Doğrudan gözlenemeyen ancak belli değişkenler yardımıyla belirlenebilen örtük değişkenler arasındaki ilişkiler üzerinde çalışılmasına olanak vermesi YEM'in en önemli avantajıdır. Hem deneysel hem de gözleme dayalı verilerde uygulanabilmesi, kesit verilerde ve zamansal verilerde kullanılabilmesi diğer artı yönleridir (Lei ve Wu 2007: 33).

Kaplan (1990: 6)'a göre YEM'in esnek bir yaklaşım olması ve belli ölçme modellerinin genel istatistiksel modellere dahil edilebilmesi önemli avantajlarından. İlgilenilen olgu kompleks ve çok boyutlu ise YEM, ilişkilerin bütüncül ve eş zamanlı testine olanak veren yegâne analizdir (Tabachnik ve Fidell 2007: 678).

Bollen (1989: 67)'e göre bir yapısal eşitlik modeli değerlendirilirken, modelin örnek veriye uygunluğu ve modelin gerçek hayata uygunluğu göz önünde

bulundurulmalıdır. Modelin veriye uygunluğu veya başka bir deyişle eldeki verinin kurulan modeli doğrulaması, örnek kovaryans matrisi ve model kovaryans matrisi kullanılarak test edilebilmektedir. Ancak kurulan modelin gerçeklikle ne kadar örtüştüğü, modelden elde edilen tahminlerin farklı örneklerde ve bağlamlarda da geçerli olduğu teyit edilerek değerlendirilebilir. Bollen (1989: 68), model-gerçeklik veri-model ilişkisini şu şekilde özetlemiştir:

“Bir model gerçeklikle uyum gösteriyorsa, veri de modelle uyum halindedir. Ancak verinin modelle uyumlu olması modelin gerçeklikle uyumlu olduğunu göstermez.”

Örneğin üç değişkenli bir model farklı nedensel ilişki biçimleriyle kurulabilir ve bu biçimlere karşılık gelen modellerin kovaryans matrisleri örnek kovaryans matrisine uygun bulunabilir. Bu durumda modellerden hangisinin gerçekle uyumlu olduğu ancak ilgilenilen alanda detaylı çalışmalarla ve diğer çalışmalarla mukayese edilerek ortaya konulabilir. Kurulan bir modelin sadece veriyle uyumlu olması gerçeklikle uyumlu olduğunu göstermez.

Bollen (1989: 71)’e göre kuram, kavramları ilişkilendiren soyut fikirler bütünüdür, model ise kuramın bir formal gösterimidir; Kuram gerçekliğin bir yaklaşımı olduğuna göre, model bundan daha iyisi olamaz. Diğer ampirik metodolojilerde olduğu gibi yapısal eşitlik modelinde de, bir modelin geçerli olduğu hiçbir zaman ispat edilemez ancak yanlışlanabilir (Bollen 1989: 72).

Yapısal eşitlik modellerinin sadece gözleme dayalı verilerde uygun olduğu, deneysel verilerde kullanılamayacağı eleştirisine karşın, Bollen (1989: 73), deneysel çalışmalarda kullanılan varyans ve regresyon analizlerinin zaten yapısal eşitlik modellemesinin özel durumları olduğunu, deneysel çalışmaların üstünlüğü olarak bahsedilen rassal deney düzenlemesine karşın ölçüm hatalarını ve dışlanan değişkenleri değerlendirebilmek için deneysel çalışmalarda da yapısal eşitlik modellemesinin kullanılmasının yararlı olacağını belirtmiştir.

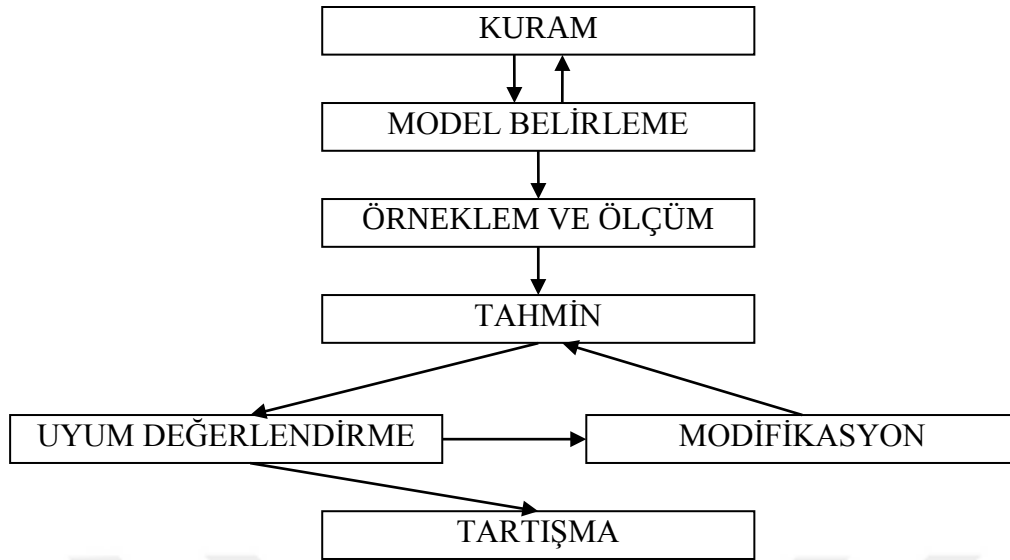
YEM, kovaryans matrisine dayandığından ve parametre tahminleri ile ki-kare testinin örnek büyüklüğüne duyarlılığından dolayı örnek büyüklüğü iyi bir faktör modeli için gereklidir. YEM’de kullanılan tahmin yöntemlerinin çoğu çoklu doğrusallık varsaydığından sapan değerlerin, basıklık ve sivrilğin araştırılması ve

gerekirse normallik dönüşümleri yapılması gerekir (Tabachnik ve Fidell 2007: 683). Kovaryans matrisinin tekil olması, dönüşüm için sıkıntı oluşturacağından veri setinin tekrar gözden geçirilmesi, eğer tekillik giderilemiyorsa değişkenlerin birleştirilmesi yani komposit değişken oluşturulması diğer bir seçenektir.

Pearl (2000: 257), yapısal eşitlik modellemesi çalışmalarında, modelin anlamı, kullanımı ve parametrelerin nedensel açıklamaları konusunda karmaşa ve eksiklik yaşandığını bunun ise yapısal denklemlerin barındırdığı nedensel bilgileri ele alacak matematiksel bir dilden yoksun bulunmakla açıklanacağı eleştirisini getirmiştir.

2.1.3.3. Yapısal Eşitlik Modellemesinin Aşamaları

Kaplan (1990)'a göre YEM'in geleneksel yaklaşımı Şekil 2.4.'deki gibi aşamalandırılabilir. İlk aşamada çalışmanın ilgisini oluşturan Kuram ortaya konur. Daha sonra yapısal eşitlikler kuramın birebir gösterimi olarak Yol Analiziyle belirtilir. Bu aşama model belirleme aşaması olarak adlandırılır. Örneklemin belirlenerek ölçümlerin elde edildiği ve model parametrelerinin tahmin edildiği aşamalar bunları takip eder. Parametre tahmini aşaması, ölçme modeli ve yapısal model için ayrı ayrı yapılabilirdiği gibi, tek seferde de yapılabilir. Model uyum iyiliği istatistikleriyle modelin yeterliliğinin araştırılması, yetersiz görülürse model modifikasyonu yapıp tekrar tahmin aşamasına dönülmesi, istenen uyum elde edilmişse, sonuçların değerlendirilmesi ve tartışılması nihai aşamaları oluşturur (Kaplan 1990: 7).



Şekil 2.4. YEM aşamaları (Kaplan 1990)

2.1.4. Yol Analizi

Yol analizi, bir grup gözlenen değişken üzerinden yapısal ilişkilerin ortaya konulmasına denir; Ekonometri alanında bu açıklama eşanlı denklem modellemesinin tanımıdır. (Kaplan 1990: 13). Bir başka deyişle gözlenen değişkenlere sahip yapısal modellerin analizine Yol Analizi (YA) denmektedir. Yol analizi korelasyon verisine dayanmasına rağmen araştırmacılara bir grup değişken arasındaki doğrudan, dolaylı ve toplam etkileri yapısal parametreler cinsinden tahmin etmelerine olanak tanıyan çok değişkenli bir yöntemdir (Mueller 1996: 22).

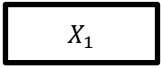
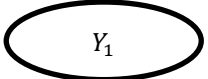
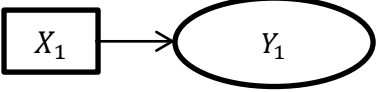
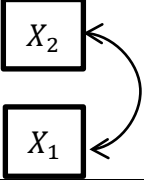
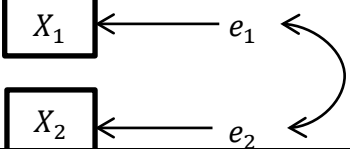
Yol analizi, regresyon ve korelasyon kavramları üzerinden hayat bulmuştur. Francis Galton, gerek korelasyon gerekse doğrusal regresyon tekniklerinin kurucusu kabul edilir. Bezelyeler üzerinde, özelliklerin kalıtım yoluyla aktarılmasına ilişkin yaptığı çalışmalar onu regresyon analizine götürmüştür (Stanton 2001). Galton, gözleme ve deneye dayalı olarak yaptığı çalışmalarda, grafiksel olarak regresyon ve korelasyonun izleri bulunur. Korelasyon, kavramsal olarak Galton'un çalışmalarında bulunmasına karşın, korelasyon analizinin matematiksel temellendirmesi Pearson (1896) tarafından yapılmıştır. Pearson (1920), korelasyon hesaplamalarının kökeninin Legendre tarafından ilk olarak ortaya konulan en küçük kareler yöntemi olduğunu söylemektedir. Ancak Galton'un kalıtım çalışmalarında gözlemlerin

ortalamalardan farklarını yani hataları ele alışı regresyonun kurucusu olarak kabul edilmesini sağlamıştır.

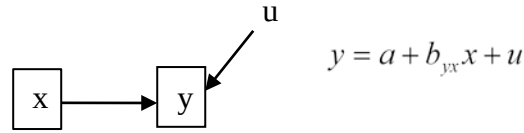
Korelasyon ve regresyon hesaplamalarıyla birlikte değişkenler arasındaki ilişkilerin ortaya konmasına çalışmalar yoğunlaşmıştır. Kalıtsal aktarım ve hayvanlarda büyümeye etki eden değişkenler üzerine araştırmalar, değişkenler arasındaki korelasyonla yapılmaktadır. Wright (1918) sadece iki değişkenin birlikte değişimine karşılık gelen korelasyondan hareketle, hangisinin diğerini etkilediğine yönelik çıkarımlar yapmaya çalışmış ve neden-sonuç ilişkisi açısından incelemiştir. Wright (1921), korelasyonu farklı bir biçimde kullanarak ve doğrusal nedensel ilişkiler fikriyle birleştirerek yol analizi denilen yaklaşımı oluşturmuştur. Wright (1921), bu çalışmasında domuzlar üzerinde büyümeye etki eden faktörleri nedensel olarak diyagram üzerinde göstermiş ve yol katsayılarını hesaplamıştır.

Yol analizinde, diyagram gösterimi temeldir ve gösterimde kullanılan notasyonlar Tablo 2.1.'de açıklanmıştır.

Tablo 2.1. Yol Analizi Gösterimi

YOL ANALİZİ GÖSTERİMİ	
	Gözlenen Değişkenler
	Gizli Değişken (Faktör)
e_1	Hata terimi
	İki değişken arasında nedensel ilişki
	İki değişken arasında analiz edilmemiş ilişki veya kovaryans (korelasyon) bulunması
	Hata terimleri arasında kovaryans (korelasyon)

Wright (1921)'ın yol katsayıları ve yol analizi diye isimlendirdiği ve matematiksel altyapısını sunduğu bu yöntemi hem ilgili çalışmasından hem de notasyon ve gösterim olarak günümüzdeki haliyle özetlendiği Wright (1960) yılı çalışmasından hareketle, örnek modeller üzerinden yol analizi gösterimleri, yol katsayıları ve denklemlerin türetilmesi açıklanacaktır.



Şekil 2.5. Yol analizi için Model-I

Şekil 2.5.'te görülen basit model, regresyon denklemi olarak ele alınacak olursa x değişkeni kestirici veya açıklayıcı, y değişkeni sonuç değişkeni ve u bozucu terim veya hata terimi olarak kabul edilir. Açıklayıcı değişkendeki birim değişimin sonuç değişkeninde yarattığı değişimin ifadesi olarak b_{yx} katsayısı kullanılır ve buna regresyon katsayısı veya grafiksel olarak düşünüldüğünde eğim denir. Katsayıda alt karakter olarak belirtilen değişkenlerin sırası önemlidir. İlk sırada bağımlı değişken yani sonuç değişkeninin simgesi, ikinci sırada açıklayıcı yani bağımsız değişkenin simgesi yazılır. Denklemden yer alan a sabit terim olarak bilinir ve denklem doğrusunun y eksenini kestiği noktadır.

Galton'la başlayan ilk dönem regresyon çalışmalarında değişkenler, ham değerleri yerine ortalamalarından farkları alınarak ele alınmıştır. Model-I için $x = x_i - \bar{x}$ ve $y = y_i - \bar{y}$ olur bunun avantajı regresyon denklemlerinde sabit terimin bulunmaması ve hesaplamaları kolaylaştırmasıdır. Değerleri bu şekilde almak sonucu etkilememektedir çünkü ham verilerle ortalamadan fark verilerinin sapmaları aynıdır (Mueller 1996: 25). Model-I için regresyon denklemi aşağıdaki gibi olur.

$$y = b_{yx}x + u \quad (2.1)$$

Yol katsayıları türetilmeden önce denkleme ilişkin bazı varsayımlara ihtiyaç duyulur. Denklemden bulunan u bozucu terimi, sonuç değişkeninde açıklayıcı değişken tarafından açıklanamayan kısmı oluşturmakta ve eşitliği sağlamaktadır. Sonuç değişkeni y deki değişimin ne kadarının x deki değişimden kaynaklandığının

doğru tespit edilebilmesi için, bozucu terim ile açıklayıcı değişkenin etkilerinin ayrıştırılması gerekir ki bu da $E(xu) = 0$ olmasını yani açıklayıcı değişkenle bozucu terimin ilişkisiz olması varsayımını gerekli kılar. Değişkenler, ortalamalarından farklarıyla ele alındıkları için hem açıklayıcı değişkenin hem de sonuç değişkeninin beklenen değerleri sıfıra eşittir. $E(x) = 0$ ve $E(y) = 0$. Bozucu terimin tıpkı regresyon analizinde olduğu gibi eşit varyanslı ve ardışık bağılanımsız olduğu kabul edilir. Bozucu terimin beklenen değeri de sıfıra eşittir. Bu varsayımların sağlanmaması durumunda katsayı tahminleri hatalı bulunur (Mueller 1996: 14).

$E(y^2) = \sigma_{yy}$, $E(x^2) = \sigma_{xx}$, $E(u^2) = \sigma_{uu}$, $E(yx) = \sigma_{yx}$, $E(yu) = \sigma_{yu}$, $E(xu) = \sigma_{xu}$ olmak üzere regresyon denklemi (2.1), x ile, y ile ve u ile çarpılarak beklenen değerleri alınır aşağıdaki sonuçlara ulaşılır.

$$E(yu) = b_{yx}E(xu) + E(u^2) \Rightarrow [E(xu) = 0] \Rightarrow \sigma_{yu} = \sigma_{uu} \quad (2.2)$$

$$E(y^2) = b_{yx}E(yx) + E(yu) \Rightarrow [\sigma_{yu} = \sigma_{uu}] \Rightarrow \sigma_{yy} = b_{yx}\sigma_{yx} + \sigma_{uu} \quad (2.3)$$

$$E(xy) = b_{yx}E(x^2) + E(ux) \Rightarrow \sigma_{yx} = b_{yx}\sigma_{xx} \quad (2.4)$$

Denklem (2.4) regresyon katsayısına göre düzenlenecek olursa regresyon katsayısının değerinin, açıklayıcı değişkenle sonuç değişkeni arasındaki kovaryansın, açıklayıcı değişkenin varyansına oranı olduğu görülür.

$$b_{yx} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_{xx}} \quad (2.5)$$

Denklem (2.4), (2.3) denkleminde yerine yazılırsa sonuç değişkenindeki varyansın, açıklayıcı değişken tarafından ve bozucu terim tarafından açıklanan kısımları bulunur.

$$\sigma_{yy} = b_{yx}^2 \sigma_{xx} + \sigma_{uu} \quad (2.6)$$

Yukarıdaki hesaplamaları kovaryans yerine korelasyonlar kullanarak da yapmak mümkündür. Wright (1921) yol analizinin ilk gösterimini ve hesaplamalarını sunduğu çalışmasında ham veri yerine, verilerin ortalamalardan farklarının standart sapmalarına bölünmesiyle elde edilen standardize edilmiş verileri kullanmıştır.

Örnek Model-I için $y = b_{yx}x + u$ denkleminde ortalamadan fark değişkenleri kendi standart sapmalarına bölünüp, eşitlik bozulmayacak şekilde şu şekle dönüştürülür:

$$\frac{y}{\sigma_y} = b_{yx} \frac{\sigma_x}{\sigma_y} \frac{x}{\sigma_x} + \frac{\sigma_u}{\sigma_y} \frac{u}{\sigma_u} \quad (2.7)$$

Değişkenlerin ortalamalarından farklarının standart sapmalarına bölünmesi sonucu elde edilen standart değerler (z gibi) farklı bir değişken yerine yine orijinal simgeleriyle gösterilecektir. Denklem (2.7) de standart skorların yanında yer alan katsayıları Wright (1921: 562) yol katsayıları olarak isimlendirmiştir. Yol katsayıları (p) harfiyle simgelenmektedir ve Model-I için yol katsayıları ve nihai denklem aşağıda verilmiştir.

$$b_{yx} \frac{\sigma_x}{\sigma_y} = p_{yx} \quad \frac{\sigma_u}{\sigma_y} = p_{yu} \quad y = p_{yx}x + p_{yu}u$$

Bu denklemlerden iki sonuç çıkarmak mümkündür. Bunlardan ilki, tek bir yolla nedensellik ilişkisiyle bağlanan iki değişkenin, standart değerler kullanılarak elde edilen yol katsayısı regresyon katsayısına eşittir ($b_{yx} = p_{yx}$). Bu özellik yol analizinin *ikinci kuralı* olarak bilinir (Grace 2006: 46). İkincisi, yine standart değerlerin kullanılması şartıyla değişkenler arasındaki ilişkiler yol katsayıları ve ilgili değişkenler kullanılarak yazılabilir. Regresyon katsayısında alt karakterlerdeki sıralama yol katsayıları için de geçerlidir. Bağımlı değişken ilk sırada bağımsız değişken ikinci sırada yazılır. Standart değişkenlerin ortalamaları sıfıra, varyansları bire eşittir. Standart iki değişkenin çarpımlarının beklenen değeri korelasyonu (r) verir. Matematiksel olarak ifade edilecek olursa:

$$E(x) = 0, E(y) = 0, E(u) = 0, E(x^2) = 1, E(y^2) = 1, E(u^2) = 1, E(xy) = r_{xy}$$

Standart değişkenler ve yol katsayılarından oluşan denklem, x ile, y ile ve u ile çarpılıp beklenen değerleri hesaplandığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılır:

$$E(xy) = p_{yx}E(x^2) + p_{yu}E(xu) \Rightarrow r_{yx} = p_{yx} \quad (2.8)$$

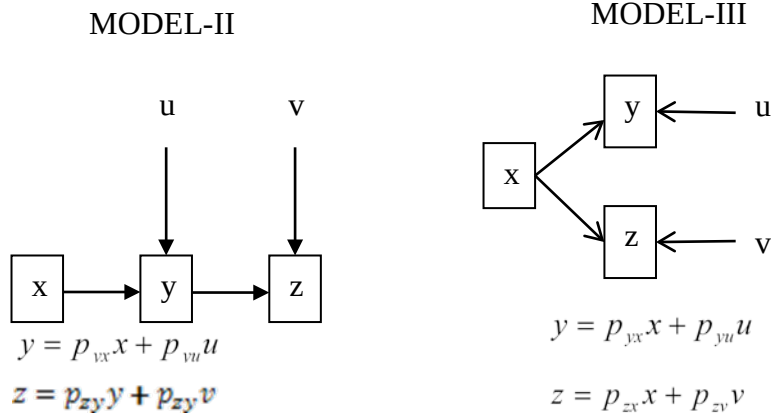
$$E(yu) = p_{yx}E(xu) + p_{yu}E(u^2) \Rightarrow r_{yu} = p_{yu} \quad (2.9)$$

Şekil 2.5'teki Model-I için, iki değişken arasındaki yol katsayısı ile korelasyon katsayısı eşit çıksa da, bu sonuç tek açıklayıcı değişkenli ve tek sonuç değişkenli modellere özgüdür ve başka modeller için genellenemez (Duncan,1975: 11).

$$E(y^2) = p_{yx}E(xy) + p_{yu}E(yu) \Rightarrow p_{yx}r_{yx} + p_{yu}r_{yu} = 1 \Rightarrow p_{yx}^2 + p_{yu}^2 = 1 \quad (2.10)$$

Model-I için bağımlı değişkenin bire eşit olan varyansının ne kadarının bağımsız değişken x tarafından açıklandığını ve açıklanamayan kısmının bozucu terim üzerinden ifadesi denklem (2.10)'da görülmektedir. Bir tane açıklayıcı, bir tane sonuç değişkeninin bulunduğu Model-I, yol katsayılarının türetilmesi ve katsayıların korelasyonla ilişkisinin ortaya konması bakımından açıklayıcı olsa da, yol analizinde bazı genellemelere ulaşabilmek için en az üç değişkenli bir model üzerinde çalışılması uygundur. Üç değişkenli modeller daha ayrıntılı modeller için gerekli temel kuralları ortaya koyarlar (Duncan 1975: 11).

Değişkenler arasındaki ilişkilerin farklı kurgulandığı çok sayıda üç değişkenli model oluşturmak mümkündür. Örnek olarak, değişkenlerin nedensel zincir oluşturduğu Model-II ve iki değişkenin ortak nedeni olan üçüncü bir değişkenin bulunduğu Model-III, yol katsayıları kullanılarak yazılan denklemleriyle birlikte Şekil 2.6.'da verilmiştir.



Şekil 2 6. Üç değişkenli iki örnek model

Model-II de z değişkeni y değişkeni tarafından, y değişkeni de x değişkeni tarafından belirlenmektedir. z değişkeni için denklemler düzenlenir, x ile çarpılıp

beklenen değer alınacak olursa $E(zx) = p_{zy} p_{yx} E(x^2) + p_{zy} p_{yu} E(xu) + p_{zv} E(xv)$ elde edilir. Bozucu terimlerle açıklayıcı değişkenler arasında korelasyon sıfır olduğundan karşılık gelen beklenen değerler sıfıra eşittir. İki standart değişkenin çarpımının beklenen değeri korelasyonlarına eşit ve standart değişkenlerin varyansları 1 olduğundan, beklenen değer sonucunu aşağıdaki gibi oluşturur.

$$r_{zx} = p_{zy} p_{yx} \quad (2.11)$$

Denklem (2.11) yol analizinin *üçüncü kuralını* oluşturmaktadır. Birbirlerine üçüncü bir değişken aracılığıyla nedensel zincirle bağlanan iki değişkenin korelasyonu zincir üzerindeki yol katsayılarının çarpımına eşittir. Model-III de x değişkeni y ve z değişkenlerinin ortak nedenidir. İlk denkleme ilişkin çözümlemeler diğer modellerde bulunanların dışında yenilik sunmasa da ikinci denklem üzerinden y ve z değişkenlerinin ilişkisi araştırılınca yeni bir sonuca ulaşılmaktadır. İkinci denklem y ile çarpılırsa veya iki denklem taraf tarafa çarpılacak olursa eşitlik bozulmayacaktır. Çarpım sonucunun beklenen değeri alınacak olursa aşağıdaki sonuca ulaşılır.

$$E(yz) = p_{yx} p_{zx} E(x^2) + p_{yx} p_{zv} E(xv) + p_{yu} p_{zx} E(xu) + p_{yu} p_{zv} E(uv)$$

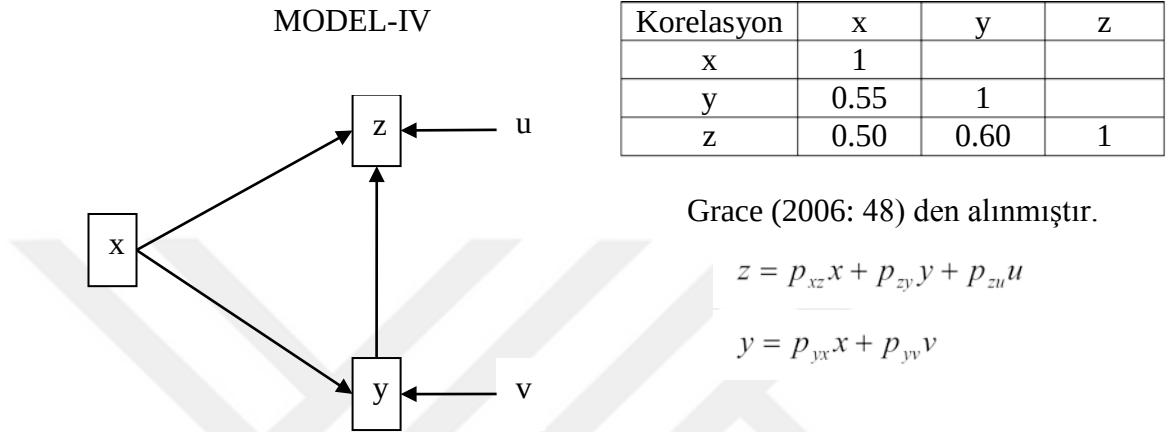
Bozucu terimler ve açıklayıcı değişkenler arasında ve bozucu terimler arasında korelasyon bulunmadığı varsayıldığından ve standart değerlerin varyansı bire eşit olduğundan yol analizinin *üçüncü kuralına* benzer bir sonuca ulaşılır.

$$r_{yz} = p_{yx} p_{zx} \quad (2.12)$$

Model-III için denklem (2.12) ve Şekil 2.6, bir arada değerlendirildiğinde; ortak nedene sahip iki değişkenin korelasyonunun, bu değişkenlerle ortak değişken arasındaki yol katsayılarının çarpımına eşit olduğu görülür. Grafikselsel olarak değerlendirilecek olursa nedensel zincir oluşturmada da iki değişkeni bağlayan yollar üzerinden korelasyonun hesaplanabildiği sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu özelliği “birleşik yol katsayısı” olarak isimlendiren Wright (1960: 193), aynı değişkenden iki defa geçmemek, ileri yönü bir hareketten sonra geriye dönmek şartıyla izlenecek güzergâh boyunca yol katsayılarının çarpımının iki değişken arasındaki korelasyonu verdiğini ifade etmiştir.

İki değişken arasında birden çok nedensellik oluşturan güzergâh varsa bu değişkenler arasındaki yol katsayısı kısmi regresyon denklemleriyle belirlenir ve bu kural yol analizinin *dördüncü kuralı* olarak bilinir (Grace 2006: 49).

Şekil 2.7.'de Model-IV ve modele ilişkin denklemler ve korelasyon matrisi verilmiştir.



Şekil 2 7. Doğrudan ve dolaylı etki için örnek model

Yol analizinin ikinci kuralı gereği, eğer iki değişken sadece bir yolla bağlıysa, ilgili yol katsayısı bu iki değişkenin ikili korelasyonuna eşittir. Model-IV de x ve y değişkenleri sadece tek bir okla bağlı olduklarından p_{yx} yol katsayısı r_{yx} e eşittir yani 0.55'tir. Ancak diğer iki yol katsayısı için durum farklıdır. Örneğin x değişkeni z değişkeni üzerinde doğrudan etkiye sahip olsa da $x \rightarrow y \rightarrow z$ üzerinden dolaylı etkiye de sahiptir. x ve z arasındaki doğrudan ilişkinin, y değişkeni üzerinden oluşan dolaylı etkiden arındırılması gerekir. x ve z arasındaki yol katsayısı için kısmi regresyon denklemi aşağıdaki gibi yazılır ve hesaplanır.

$$p_{zx} = \frac{r_{xz} - r_{xy}r_{xz}}{1 - r_{xy}^2} \Rightarrow p_{zx} = \frac{0.5 - (0.55)(0.60)}{1 - 0.55^2} \Rightarrow p_{zx} = 0.24$$

Bu sonuçtan yararlanarak, iki değişken arasındaki korelasyonun yol katsayısıyla eşit olmadığı görülebilir. Çünkü x değişkeni z değişkenin doğrudan etkilediği gibi y üzerinden de etkilemektedir. Formülün pay kısmı x ve z değişkenleri arasındaki korelasyondan y değişkeni üzerinden oluşan korelasyonu arındırmaktadır.

Payda kısmı ise standartlaştırma işlevi görmektedir. Bulunan yol katsayısı p_{zx} şöyle yorumlanır: x değişkenindeki her bir standart sapma değişim y değişkeninde (0.24) standart sapma değişime yol açmaktadır. Aynı şekilde y ve z değişkenleri arasındaki ilişki de x tarafından etkilenmektedir. Burada x değişkeni hem y hem de z nin ortak nedenidir. y ve z değişkenleri arasında kısmi regresyon formülü ve hesaplamaları aşağıda verilmiştir.

$$p_{zy} = \frac{r_{zy} - r_{yx}r_{zx}}{1 - r_{yx}^2} \Rightarrow p_{zy} = \frac{0.60 - (0.55)(0.50)}{1 - 0.55^2} \Rightarrow p_{zy} = 0.47$$

Bozucu terimlere ilişkin yol katsayıları denklemlerde açıkça gözükme de hata teriminin ilgili olduğu değişkende açıklanamayan varyansa ilişkin değerlendirmeye olanak vermesi açısından önemlidir. Regresyon analizinde hata teriminin katsayısının karesi varyansın açıklanamayan kısmına karşılık gelmektedir. Bir değişkende açıklanan varyans biliniyorsa hata teriminin katsayısı da buradan bulunabilir.

Yol analizinde denklem (2.10) da görüldüğü gibi bir değişkende açıklanan varyans yol katsayısı ile korelasyonun çarpına eşittir. Model-IV de y değişkenindeki varyansı sadece x açıklamaktadır, dolayısıyla açıklanan varyans kısmı $R_y^2 = p_{yx}r_{yx}$ e eşittir. Varyansın açıklanamayan kısım bunun birden çıkarılmasıyla bulunur ve karekökü alındığında ise p_{yv} yani v hata teriminin yol katsayısı bulunmuş olur. Hata terimlerin yol katsayılarının korelasyonlarına eşit olması yol analizinin *beşinci kuralı* olarak bilinir.

$$p_{yv} = \sqrt{(1 - p_{yx}r_{yx})} \Rightarrow p_{yv} = \sqrt{(1 - (0.55)(0.55))} = 0.84$$

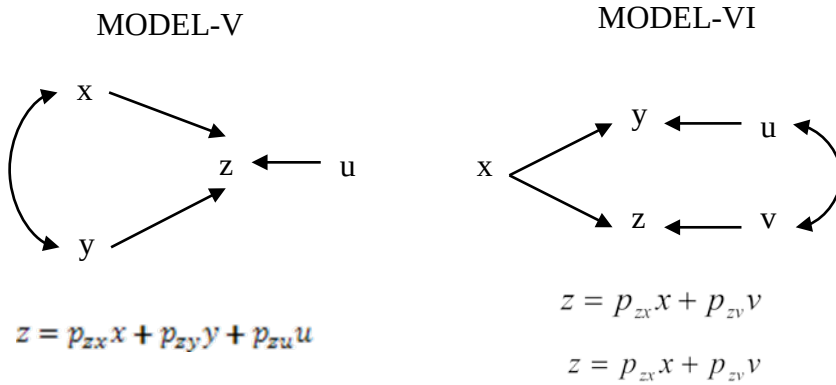
Diğer hata terimi u için yol katsayısı hesabı benzer şekilde yapılır ancak burada farklı olan durum u değişkenin varyansının açıklanamayan kısmına karşılık geldiği z değişkenindeki varyans, x ve y değişkenleri tarafından açıklanmaktadır. z değişkeninde açıklanan varyans $R_z^2 = p_{zx}r_{zx} + p_{zy}r_{zy} = 0.24 \times 0.50 + 0.47 \times 0.60 = 0.40$ olarak bulunur. Açıklanamayan varyansın karekökü u hata terimine ilişkin yol katsayısını verecektir.

$$p_{zu} = \sqrt{1 - 0.40} = 0.77$$

Duncan (1975: 23), kısmi regresyon denklemleriyle bulunan katsayıların yol katsayılarına eşit olduğunu dolayısıyla kısmi regresyon ve kısmi korelasyonun kullanılmasının dikkati dağıtabileceğini, yapısal eşitlik modellerinin oluşturulmasında kısmi korelasyonun ikincil bir role sahip olduğunu belirtmiştir. Duncan (1975)'in önerdiği yöntemlerle de Model-IV için aynı sonuçları bulmak mümkündür. Örneğe ilişkin denklemler y ve x ile çarpılıp beklenen değerler alınacak olursa aşağıdaki sonuçlara ulaşılır.

$$\begin{aligned}
 E(yz) &= p_{xz}E(yx) + p_{zy}E(y^2) + p_{zu}E(yu) \Rightarrow r_{yz} = p_{xz}r_{yx} + p_{zy} \\
 E(xz) &= p_{xz}E(x^2) + p_{zy}E(xy) + p_{zu}E(xu) \Rightarrow r_{xz} = p_{xz} + p_{zy}r_{xy} \\
 E(xy) &= p_{yx}E(x^2) + p_{yv}E(xv) \Rightarrow r_{xy} = p_{yx} \\
 E(z^2) &= p_{xz}r_{xz} + p_{zy}r_{zy} + p_{zu}r_{zu} \Rightarrow r_{zu}^2 = 1 - p_{xz}r_{xz} - p_{zy}r_{zy} \\
 E(y^2) &= p_{yx}r_{yx} + p_{yv}r_{yv} \Rightarrow r_{yv}^2 = 1 - p_{yx}r_{yx}
 \end{aligned}$$

Üçüncü denklemden tek bir yolla bağlı iki değişken arasındaki yol katsayısı korelasyona eşittir sonucu teyit edilebilir. İlk iki denklem taraf tarafa çözülecek olursa p_{zx} ve p_{zy} için kısmi regresyonla bulunmuş çözümlere ulaşılır. Aynı şekilde hata terimlerinin katsayıları son iki denklemin taraf tarafa çözümüyle bulunduğu önceki sonuçla uyum halinde olduğu görülür. Yol analizinin diğer kuralları Model-V ve Model-VI üzerinden açıklanmaya çalışılacaktır (Şekil 2.8.).



Şekil 2.8. Korelasyon içeren iki örnek yol modeli

Model-V de iki dışsal değişken x ve y nin, z değişkenini yordadığı görülmektedir. İki dışsal değişkenin içsel değişken üzerinde bireysel etkileri olabileceği gibi, etkileşimleri sonucu z değişkeni üzerinde ilave etki de oluşturabilirler. Bu ilişkinin etkilerini test etmek amacıyla iki dışsal değişken arasında korelasyon tanımlanabilir. Model denklemi y ve x ile çarpılıp beklenen değerler alındığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılır.

$$\begin{aligned} E(xz) &= p_{zx}E(x^2) + p_{zy}E(xy) + p_{zu}E(xu) \Rightarrow r_{xz} = p_{zx} + p_{zy}r_{xy} \\ E(yz) &= p_{zx}E(yx) + p_{zy}E(y^2) + p_{zu}E(yu) \Rightarrow r_{yz} = p_{zx}r_{yx} + p_{zy} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E(z^2) &= p_{zx}E(zx) + p_{zy}E(zy) + p_{zu}E(zu) \Rightarrow 1 = p_{zx}r_{zx} + p_{zy}r_{zy} + p_{zu}r_{zu} \\ E(uz) &= p_{zx}E(ux) + p_{zy}E(uy) + p_{zu}E(u^2) \Rightarrow r_{uz} = p_{uz} \end{aligned}$$

İlk iki denklemden, iki dışsal değişken arasındaki yol katsayısının korelasyonlarına eşit olduğunu ve içsel değişkenle dışsal değişkenlerden birinin korelasyonun dolaylı etkiyi yaratan diğer dışsal değişken üzerinden ifade edildiği görülmektedir. Dışsal değişkenler arasındaki yol katsayısının korelasyonlarına eşit olması yol analizinin *birinci kuralı* olarak bilinir. Model-VI, yol analizinde karşılaşılabilecek diğer bir durumu temsil etmektedir. İçsel değişkenler arasında tarif edilemeyen bir ilişki, bir başka deyişle hataları arasında korelasyon varsa, kısmi korelasyon hesapları devreye girer ve bu durum yol analizinin *altıncı kuralı* olarak bilinir Grace (2006: 53).

Duncan (1975) de önerilen yöntemle Model-VI denklemleri, u ve v değişkenleri için düzenlenip çarpımlarının beklenen değerleri alınacak olursa kısmi korelasyon denklemi elde edilir.

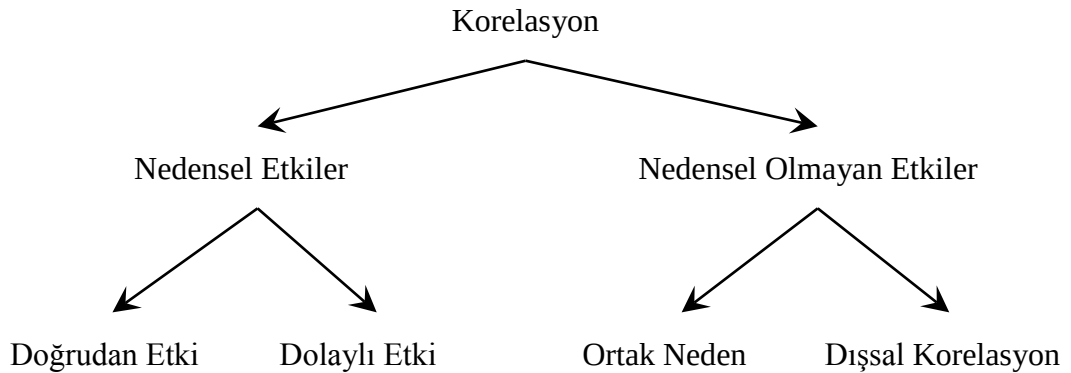
$$\begin{aligned} u &= \frac{y - p_{yx}x}{p_{yu}} \text{ ve } v = \frac{z - p_{zx}}{p_{zv}} \Rightarrow E(uv) = \frac{E(yz) - p_{zx}E(y) - p_{yx}E(xz) + p_{yx}p_{zx}E(x)}{p_{yu}p_{zv}} = \frac{r_{yz} - r_{yx}r_{xz}}{p_{yu}p_{zv}} \\ E(y^2) &= p_{yx}E(yx) + p_{yu}E(yu) \Rightarrow 1 = r_{yx}^2 + r_{yu}^2 \Rightarrow r_{yu} = p_{yu} = \sqrt{1 - r_{yx}^2} \\ E(z^2) &= p_{zx}E(zx) + p_{zv}E(zv) \Rightarrow 1 = r_{zx}^2 + r_{zv}^2 \Rightarrow r_{zv} = p_{zv} = \sqrt{1 - r_{zx}^2} \end{aligned}$$

Son iki hesaplamadaki değişken değişimleri ilk denklemde yerine yazılacak olursa içsel değişkenlerin hataları arasındaki korelasyon denklemi elde edilir.

$$r_{uv} = \frac{r_{yz} - r_{yx}r_{xz}}{\sqrt{(1 - r_{yx}^2)}\sqrt{(1 - r_{zx}^2)}} \quad (2.13)$$

Denklem (2.13) ve Model-VI grafiği beraber değerlendirildiğinde; y ve z değişkenleri arasındaki korelasyon sadece x değişkeni üzerinden sağlanıyorsa $r_{yz} = r_{yx}r_{zx}$ olur ve kısmi korelasyon denkleminde payı dolayısıyla hata değişkenleri arasındaki korelasyonu sıfır yapar. X değişkeninin, içsel değişkenler arasındaki ilişkiyi bütünüyle açıklayamaması durumunda, hata değişkenleri arasında korelasyon bulunduğu dolayısıyla mevcut modelle açıklanamayan bir ilişkinin varlığı tespit edilmiş olur.

Yol analizi bir modelde değişkenler arasındaki ilişkilerin nedensel etkiler ve nedensel olmayan ilişkiler şeklinde ayrıştırılmasına imkân vermesi bakımından önemlidir. Nedensel etkiler doğrudan ve dolaylı etkiler olarak iki bölüme ayrılabilir. Nedensel olmayan ilişkiler ise iki nedenden kaynaklanır. Ortak nedene sahip iki değişken arasındaki ilişki, ortak nedeni oluşturan değişken tarafından etkilendiğinden bu etki nedensel olmayan etki olarak kabul edilir. Nedensel olmayan ilişkinin ikinci biçimi ise dışsal değişkenler arasında model tarafından değişkenliği tayin edilmeyen ilişkinin yani korelasyonun bulunmasıdır. Bir modeldeki ilişkiler Şekil 2.9.'daki gibi ayrıştırılabilir.

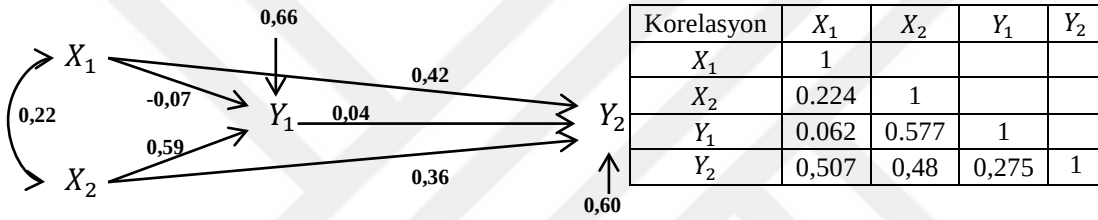


Şekil 2.9. Değişkenler arasındaki ilişkilerin ayrıştırılması (Maruyama 1998: 37)

İki değişken arasındaki korelasyonun bir bölümünü model tarafından belirlenmeyen ilişkiler oluşturabilir. Bunlar daha önceden bahsedilen, değişkenler arasındaki *sahte ilişki* kavramıyla da açıklanabilir (Maruyama 1998: 41).

Yol analizinin son iki kuralını açıklamaya yardımcı olması bakımından, Wright (1960) tarafından önerilen, yol diyagramları üzerinde iki değişken arasındaki ilişkiye karşılık gelebilecek güzergahların bulunmasında yardımcı olan kurallara değinmek gerekir. İki değişken arasındaki etkilerin ayrıştırılması için güzergâh oluşturmada şu yöntem takip edilir:

1. Neden-sonuç ilişkisi bulunan değişkenlerden, sonuç değişkeninden başlanır ve yön olarak gerektiği kadar geriye doğru gidilebilir.
2. En fazla bir sefer ok yönünde ileri gitmek mümkündür.
3. Bir değişkenden en fazla bir sefer geçilebilir.
4. Güzergah en fazla bir tane korelasyon yani çift yönlü ok içerebilir.



Şekil 2.10. Yol analizinde, katsayılar ve korelasyon ilişkisine dair model

Şekil 2.10.'da Schumacker ve Lomax (2010: 158)'dan uyarlanan modelin standart yol katsayıları ve ilgili korelasyon matrisi verilmiştir. İki dışsal değişken ve iki içsel değişkenin bulunduğu modelde, değişkenlerin birbirlerine olan etkileri doğrudan dolaylı ve toplam etkiler olarak ayrıştırılabilir. Örneğin Y_1 değişkeni Y_2 üzerinde (0.04) birim doğrudan etkiye sahip iken $Y_1 \rightarrow X_1 \rightarrow Y_2$ ve $Y_1 \rightarrow X_2 \rightarrow Y_2$ güzergahlarıyla dolaylı etkiye de sahiptir. Bir değişkenin diğeri üzerindeki toplam etkisi, doğrudan ve dolaylı etkilerin toplamına eşittir. Bu kural yol analizinin *yedinci kuralı* olarak bilinir. Dolaylı etkiler, takip edilen güzergahdaki yol katsayıların çarpımıyla bulunur. Y_1 değişkeninin Y_2 üzerindeki dolaylı etkisi iki farklı güzergahtaki dolaylı etkilerin toplamına, sayısal olarak $(-0.07)(0.42) + (0.59)(0.36) = 0.18$ eşittir. Doğrudan ve dolaylı etkilerin toplamı ise, toplam nedensel etkiye karşılık gelir. $(0.18) + (0.04) = (0.22)$.

Yol analizinin *sekizinci kuralı* iki değişken arasındaki nedensel ve nedensel olmayan etkilerin toplamının, o iki değişken arasındaki ikili korelasyona eşit olduğunu söyler. Y_1 değişkeninin Y_2 üzerinde doğrudan ve dolaylı etkileri ve bunların

toplamı olan toplam etki daha önceden bulunmuştu. Şekil 2.10'a göre, iki değişken arasında dışsal değişkenlerin korelasyonları üzerinden gerçekleşen iki güzergah daha olduğu görülür. Bunlar $Y_1 \rightarrow X_2 \rightarrow X_1 \rightarrow Y_2$ ve $Y_1 \rightarrow X_1 \rightarrow X_2 \rightarrow Y_2$ güzergahlarıdır. Bu güzergahlardaki toplam etkiler sırasıyla 0.056 ve (-0.006) ya eşit olup bunların toplamı nedensel olmayan etkiye karşılık gelmektedir. Toplam etkiyle nedensel olmayan ilişkinin toplamının iki değişken arasındaki toplam korelasyona eşit olduğu görülür ve böylece yol analizinin 8. kuralı doğrulanmış olur. $0.18 + 0.04 + 0.056 + (-0.006) = 0.275$.

Yol analizi kuralları aşağıdaki biçimiyle özetlenebilir (Grace 2006: 65):

1. Dışsal değişkenler arasında analiz edilmemiş ilişkiye karşılık gelen yol katsayısı ikili korelasyona eşittir.
2. İki değişken arasında sadece bir tane yol varsa, yol katsayısı regresyon katsayısına eşittir.
3. İki değişken bir güzergâhla birbirlerine bağlı ise, birleşik yol katsayısı güzergah üzerindeki yolların katsayıları çarpımına eşittir.
4. İki değişken birden çok güzergâh ile bağlıysa ilgili yol katsayıları kısmi regresyon denklemleriyle hesaplanır.
5. Hata terimlerinin katsayıları açıklanamayan etkilere karşılık gelen kovaryanslardır.
6. İçsel değişkenler arasındaki korelasyon, kısmi korelasyon denklemleri ile bulunur.
7. Bir değişkenin diğeri üzerindeki toplam nedensel etkisi, tüm doğrusal güzergahların toplamına eşittir.
8. İki değişkeni birbirine bağlayan tüm güzergahların etkilerinin toplamı bu iki değişken arasındaki korelasyona eşittir.

Yol analizinin sosyal bilim uygulamalarında popüler olmasının nedenini, tıpkı regresyon tekniklerinde olduğu gibi değişkenlere ilişkin ölçüm hataları ve modele özgü belirleme hataları içermediği varsayımında aramak gerekir (Maruyama 1998: 30).

2.1.4.1. Standart ve Standart Olmayan Verilerle Yol Analizi

Ham verilerle veya standartlaştırılmamış verilerle yol analizi denklemleri türetildiğinde kovaryanslar, standart verilerle aynı işlem yapıldığında korelasyonlar işlemlerde yer alır. Kovaryans ve korelasyonlar birbirlerinin doğrusal dönüşümleri olmasına rağmen birbirlerinden farklı bilgiler içerirler. Korelasyonlar örneklemdeki değişkenliğe ilişkin bilgiyi göz ardı ederler, bu yüzden gruplar arası veya örnekler arası bir karşılaştırma için korelasyonların kullanılması uygun değildir (Maruyama 1998: 34). Her ne kadar örneklerin karşılaştırılması ve başka örnekler için geçerli tahminler yapılmasında korelasyonların kullanılması uygun değilse de, eldeki örnekten çıkarım yapmak için kovaryans yerine korelasyonla işlemleri yapmak sıkıntı yaratmamaktadır (Grace 2006: 69).

Standart veriler kullanılmasının bazı avantajlarını Duncan (1975: 51) şöyle özetlemiştir:

1. Matematiksel işlemleri kolaylaştırması.
2. Wright'ın korelasyonların yol katsayıları üzerinden hesaplanmasını sağlayan kuralının işletilmesi.
3. Yol analizi ve nedensel model literatürüyle uyum sağlanması.
4. Sadece korelasyon matris verisi bulunan çalışmalarda analiz yapma imkânı vermesi.

Geleneksel yol analizinin oluşumunda ve erken dönem uygulamalarında standart değişkenler ve korelasyonlar kullanılmıştır. Wright (1960), ham verilerle ve standart verilerle yol katsayılarının hesaplanmasını, yorumlanma farklılıklarını, kullanım alanlarını tartışmış, her iki yöntemin birbirinin alternatifi olmadıklarını beraber yorumlanmaları gerektiğini belirtmiştir.

Standardize edilmemiş ham verilerin yani kovaryansların kullanıldığı yol analizleri hem standart hem de standart olmayan çözümleri sunduğu ve ortalamaların da karşılaştırılmasına imkân verdiği için Yapısal eşitlik modeli çalışmalarında kovaryans matrisleri kullanılmalıdır (Grace 2006: 58).

Ham verilerin kullanılmasıyla elde edilen yol katsayıları ile standart veriler kullanılarak elde edilen katsayıların yorumları farklıdır. Ham verilerle elde edilen katsayılar tıpkı regresyon katsayıları gibi yorumlanır. Örneğin iki değişken

arasındaki katsayı 2 bulunmuşsa; bağımsız değişkendeki 1 birim artışın bağımlı değişkende 2 birim artışla yol açacağı söylenebilir. Oysa standartlaştırılmış değişkenlerle yapılan analizde katsayı değeri 2 bulunduğunda yapılabilecek yorum; bağımsız değişkendeki 1 standart sapma değişim bağımlı değişkende iki standart sapma değişime yol açacaktır olur. Dolayısıyla karşılaştırma yapılacak değişkenlerin birimlerine önem atfediliyorsa ham verilerin dolayısıyla kovaryans matrislerinin kullanılması gerekir.

Yol analizinde değişkenlere ilişkin kovaryans veya korelasyonların bilindiği varsayılır. Modele ilişkin bilinmeyen ve tahmin edilen ise yol katsayılarıdır. Bir yol analizi modeli için, serbestlik derecesi bilinenlerin sayısından bilinmeyenlerin sayısı çıkarılarak bulunur. Serbestlik derecesi sıfıra eşit bir model tam-tanımlı bir model olarak kabul edilir ve bir tane sonucu vardır. Pozitif serbestlik derecesine sahip modeller fazla-tanımlı modeller olarak bilinir ve birden çok tahmin sonucu vardır. Yol analizi modelleri şayet tekrarlanan modeller ise her zaman tanımlıdır (Maruyama 1998: 49). Yol diyagramları faydalı çizim araçlarıdır çünkü eğer doğru çizilmişlerse yapısal eşitlikleri birebir temsil ederler.

Geleneksel yol analizi ile günümüzdeki modern yol analizi arasında dört temel fark bulunmaktadır. Geleneksel olarak yol analizi korelasyonlar üzerinden hesap yaparken, özellikle grupların standardize edilmemiş katsayılarla kıyaslanabilmesi için kovaryans matrisinin kullanılması gereklidir ve modern yol analizi buna imkân vermektedir. İkinci olarak geleneksel yol analizi katsayıları tahmin için SEK yöntemini kullanırken, modern yol analizinde tahmin için yeni yöntemler geliştirilmiştir ve bu yöntemler sayesinde karşılıklı ilişki bulunan özellikle gizli değişken içeren modellerde daha tutarlı tahminler elde edilmektedir. Geleneksel yol modellerinde, model uyum açısından değerlendirilmez iken modern yol analizinde çok sayıda uyum testi geliştirilmiştir. Geleneksel yol analizi açıklayıcı özelliğe sahipken, günümüzde yol analizleri doğrulayıcı bir karaktere sahiptir. Yol analizi, gözlenen değişkenlerle yapısal eşitlik modellemesidir (Grace 2006: 41).

2.1.4.2. Çoklu Tam Doğrusallığın Yol Analizine Etkisi

Yol analizinde tıpkı regresyon analizinde olduğu gibi bağımsız değişkenler arasında ilişki bulunmadığı varsayılır. Gözleme dayalı çalışmalarda deneysel

Çalışmaların aksine bunu gerçekleştirmek imkansızdır. Tahmin edici değişkenler arasında korelasyon bulunması durumunda bunun analiz sonuçlarına ne ölçüde etki ettiği önemlidir. Modelde bulunan iki bağımsız değişken aynı ise bir başka deyişle doğrusal olarak bağımlı ise varyans blmlenemez ve sonuç bulunamaz (Maruyama 1998: 63). Bu durum regresyon veya yol analizi denklemlerinin matris formu üzerinden şöyle gösterilebilir.

$Y = XA + E$, x bağımsız değişkenlerin, y bağımlı değişkenlerin, A katsayıların ve E hata terimlerinin matrisleri olmak üzere ve standart değerlerle yani korelasyonlarla işlem yapıldığı varsayılsa, her bir denklem bağımsız değişkenlerle teker teker çarpılıp beklenen değerler alındığında aşağıdaki şekle dönüşür.

$$X^T Y = X^T X A$$

Eşitliği sol tarafının bağımlı değişkenlerle bağımsız değişkenlerin korelasyon matrisine, sağ tarafının ise bağımsız değişkenler arası korelasyon matrisi ile katsayı matrisinin çarpımına eşit olduğu görülür. şayet bağımsız değişkenler arasında korelasyon yoksa $X^T X$ yani bağımsız değişkenler arası korelasyon matrisi birim matris olacağından regresyon katsayıları korelasyonlara eşit olacaktır ($r_{xy} = A$). Bağımsız değişkenler birbirleriyle ilişkiliyse, regresyon katsayıları $(X^T X)^{-1}(X^T Y) = A$ denklemi ile hesaplanır. Tutarlı regresyon katsayıları bulunabilmesi için bağımsız değişkenler arası korelasyon matrisinin tersinin bulunabilmesi gerekir. $X^T X$ matrisine varyans şişirme arpanı (VIF) denir ve köşegen elemanları $\frac{1}{(1-R^2)}$ 'e eşittir. Bir değişkenin diğer değişkenlerle çoklu korelasyon katsayısı ne kadar büyük olursa köşegen eleman da o kadar büyür ve çoklu tam doğrusallığa yol açar (Maruyama 1998: 66).

Bir modelde, aşağıdaki durumların varlığında çoklu doğrusallığın bulunduğu dşnlmelidir (Maruyama 1998: 64):

1. Katsayılarda varyans (standart hata) büyükse.
2. Katsayıların işaretleri uygun değilse.
3. Katsayılar bir değişkenin eklenmesi veya çıkarılmasına aşırı duyarlı ise.
4. Bağımsız değişkenler arası korelasyon matrisinin determinantı sıfıra yakınsa.

5. Bağımsız değişkenlerin faktör analizinde “koşul sayısının” büyük bulunması. Koşul sayısı faktör analizinde en büyük özdeğerin en küçük özdeğere bölümünün kareköküdür.
6. Bir veya daha çok özdeğerin sıfıra yaklaşması.
7. Varyans şişirme çarpanının yani korelasyon matrisinin tersinin köşegen elemanlarının 6 veya 7 den büyük olması.
8. İkili korelasyonları 0.8 veya 0.9 dan büyük olması.
9. İki bağımsız değişken arasındaki ikili korelasyonun, bağımsız değişkenlerle bağımlı değişken arasındaki korelasyon R^2 den büyük olması.

Çoklu doğrusal bağımlılık olması durumunda sapmalı tahmin yöntemlerinden olan *ridge tahmin teknikleri* kullanılabilmektedir. Bu yöntemle korelasyon matrisinin köşegen elemanlarına çok küçük değerlerden başlayarak sabit bir sayı eklenmekte ve istikrarlı katsayılar elde edilmesine çalışılmaktadır. Tahminlerinin yanlı olması, standart hataların bulunmaması ve varyansı azaltması gibi dezavantajlarının yanında, tekil korelasyon matrisi nedeniyle hiçbir sonuç elde edilemeyecek verilerde yanlı da olsa çözüm vermesi açısından tercih edilebilir (Maruyama 1998: 73).

2.1.4.3. Yol Analizinin Belirlenmesi

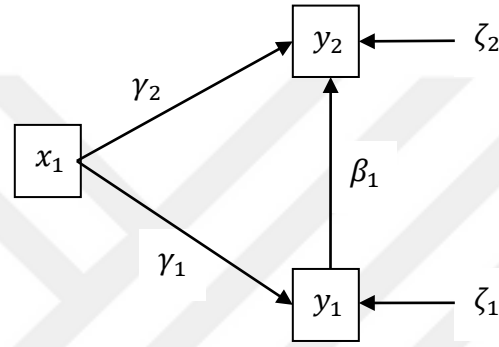
Yol analizi gözlenen değişkenlerle yapısal eşitlik modellemesinin bir türü olduğundan, yol analizi için belirlenme tanımlanma ve tahmin yöntemleri, genel yapısal eşitlik modelleri için de bir temel oluşturmaktadır. Daha önce yol analizi denklemlerinin türetilmesinde kullanılan gösterim biçimi bireysel değişkenler üzerinden ilerlemekteydi ve geleneksel olarak literatürde oluşturulduğu şekliyle sunulmuştu. Ancak yapısal eşitlik modellerine bir geçiş olarak notasyonlar aşağıdaki biçimine dönüştürülecek ve bireysel değişkenler yerine matris biçimi kullanılacaktır.

Modeldeki içsel değişken sayısı p , dışsal değişken sayısı q olmak üzere yapısal eşitliklerin kompakt gösterimi şu şekildedir.

$$y = \alpha + By + \Gamma x + \zeta \quad (2.14)$$

Burada y gözlenen içsel değişkenlere ilişkin $p \times 1$ boyutlu matrisidir, x ise gözlenen dışsal değişkenlere ilişkin $q \times 1$ boyutlu matrisidir. α (*alfa*) yapısal sabit terimlere karşılık gelen $p \times 1$ matrisidir. B (Beta), içsel değişkenler arası ilişkilere

karşılık gelen $p \times p$ boyutlu katsayılar matrisidir. Γ (Gamma) içsel ve dışsal değişkenleri birbirlerine bağlayan $p \times q$ boyutlu katsayılar matrisidir. ζ (Zeta) içsel değişkenlerin etki terimlerine karşılık gelen $p \times 1$ boyutlu matristir. $cov(\zeta) = \Psi$ (Psi), etki terimlerinin $p \times p$ boyutlu kovaryans matrisidir. $cov(x) = \phi$ (Phi) dışsal değişkenlerin $q \times q$ boyutlu kovaryans matrisidir. B ve Γ matrislerin elemanları değişkenler arasındaki yapısal ilişkileri gösterir. Yapısal eşitlik modellerinde tıpkı yol analizi ve regresyon modellerinde olduğu gibi veriler ortalamalardan farklarıyla kullanıldıklarından ve işlemlerde kolaylık sağladığından sabit terim α , çoğu modelde bulunmaz.



Şekil 2.11. Yol Analizi gösterimi için örnek model

Şekil 2.11.'deki örnek modelde γ ve β simgeleri sırasıyla Γ ve B harflerine karşılık gelmektedir. Örnek için her bir içsel değişkene ilişkin denklem ve denklemlerin topluca matris gösterimi şu şekildedir.

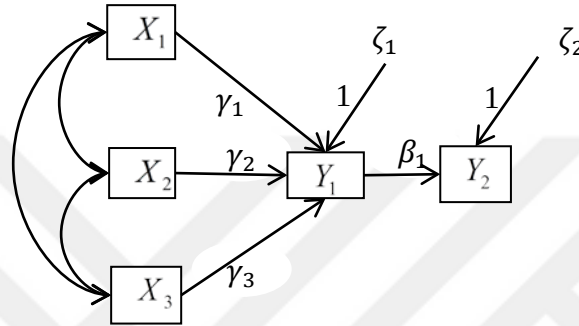
$$\begin{aligned} y_1 &= \gamma_1 x_1 + \zeta_1 \\ y_2 &= \beta_1 y_1 + \gamma_2 x_1 + \zeta_2 \end{aligned} \quad y = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \beta_1 & 0 \end{bmatrix} y + \begin{bmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \end{bmatrix} [x_1] + \begin{bmatrix} \zeta_1 \\ \zeta_2 \end{bmatrix}$$

İçsel değişkenler arasındaki ilişkiler özel olarak yol analizi modellerinde genel olarak da yapısal eşitlik modellerinde önem taşır. B matrisine karşılık gelen bu ilişkiler modelin tanımlanması sürecinde karşılaşılabilecek güçlükler konusunda ipucu verir. B matrisinin elemanlarının belirlenmesi yol analizi modellerinin iki genel sınıfının ayrımını yapma olanağı sağlar. Bunlar; Tekrarlanan (recursive) veya Tekrarlanmayan (nonrecursive) modellerdir.

2.1.4.3.1. Tekrarlanan Modeller

Bir modelde tüm nedensel bağlantılar tek yölü ise yani iki değişken birbirinin hem nedeneni hem sonucunu oluşturmuyorsa bu tür modellere *tekrarlanan modeller*

denir (Duncan,1975: 25). Tekrarlanan modellerin tipik özelliklerinden birisi, içsel değişkenler arasındaki ilişkilere karşılık gelen B matrisinin elemanlarının alt köşegen matrisi oluşturmalarıdır. Ayrıca etki terimleri arasında kovaryans bulunmaması nedeniyle, Ψ matrisi sadece etki terimlerinin varyanslarından oluşan köşegen matristir. Diyagram olarak söylenecek olursa tüm nedensel etkilerin tek yönlü olduğu modeller tekrarlanan modellerdir (Kline 2011: 106). Tekrarlanan modellere ilişkin örnek Şekil 2.12.'de verilmiştir.



Şekil 2. 12. Tekrarlanan Modeller Örneği

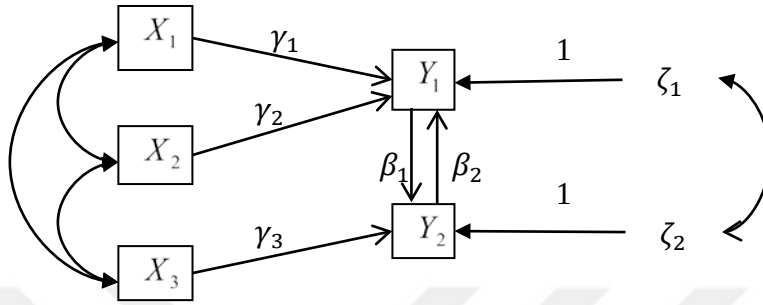
$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \beta_1 & 0 \end{bmatrix}, \Psi = \begin{bmatrix} \psi_{11} & 0 \\ 0 & \psi_{22} \end{bmatrix}, \Psi = \zeta\zeta^T$$

Şekil 2.12.'deki örnek model için B ve Ψ matrisleri incelenecek olursa B matrisinin alt köşegen matris, Ψ matrisinin ise köşegen matris olduğu görülür. Bu sonuçlar örnek modelin tekrarlanan bir model olduğunu göstermektedir.

2.1.4.3.2. Tekrarlanmayan modeller

Yapısal eşitlik modellerinde çift yönlü nedensel ilişki içeren bağıntıları içeren modeller tekrarlanmayan modeller olarak adlandırılır (Maruyama 1998: 100). Tekrarlanmayan modellerde iki içsel değişken arasında çevrimsel besleme görülür ve B matrisi alt köşegen matris değildir. İçsel değişkenlerin etki terimleri arasında kovaryans belirlenir ve burunda Ψ matrisi köşegen matris değildir. İçsel değişkenlerden birisi diğerini belirliyorsa, o içsel değişkene ilişkin etki terimi değişken üzerinden diğer değişkenin etki terimiyle ilişkilidir.

Ekonomide arz talep problemleri için sıklıkla kullanılan tekrarlanmayan modeller, bu alanda eşanlı denklemler modeli olarak da bilinir (Kaplan 1990: 16). Tekrarlanmayan modeller fazla tanımlı olsa bile biricik bir sonuç üretmeyebilir (Maruyama 1998: 100). Tekrarlanmayan modellere ilişkin bir örnek Şekil 2.13.'de verilmiştir.



Şekil 2.13. Tekrarlanmayan Modeller Örneği

Şekil 2.13.'teki model için B ve Ψ matrisleri aşağıdaki gibidir.

$B = \begin{bmatrix} 0 & \beta_2 \\ \beta_1 & 0 \end{bmatrix}$ matrisi alt köşegen matris değildir, $\Psi = \begin{bmatrix} \psi_{11} & \psi_{12} \\ \psi_{21} & \psi_{22} \end{bmatrix}$ köşegen değildir.

Modelde Y_1 ve Y_2 değişkenleri arasında karşılıklı ilişki bulunmaktadır. Yani Y_1 değişkeni Y_2 değişkenini etkilemekte aynı zamanda da etkilenmektedir. İçsel değişkenler için yazılacak iki denklemden birbirlerinin hata terimleriyle ilişkili oldukları görülebilir. Bu tür modellerin çözümü için çok aşamalı regresyon analizi kullanılsa da, genel yapısal eşitlik modeli içerisinde tıpkı tekrarlanan modeller gibi ele alınırlar (Maruyama 1998: 103). Çok aşamalı regresyon analizi çalışmanın merkezinde yer almadığı ve örtük değişkenlerin de bulunduğu genel yapısal eşitlik modellerinde tekrarlanmayan modellere ilişkin tanımlama problemlerine değinileceğinden detaya girilmemiştir.

2.1.4.3.3. İndirgenmiş Kalıp Denklemleri ve Kovaryans Yapısı Belirlenmesi

Yol analizi modellerinin genel olarak söylenecek olursa da yapısal eşitlik modellerinin ilk aşaması kuramsal bir modelin oluşturulmasıdır. Modelin

oluşturulması değişkenler arasındaki ilişkilerin ve tahmin edilecek parametrelerin belirlenmesini, modele ilişkin denklemlerin oluşturulmasını ve test edilecek hipotezin yani kovaryans matrisinin türetilmesini içerir.

Denklem (2.15) yani $y = \alpha + By + \Gamma x + \zeta$, modelin yapısal form denklemi olarak bilinir ancak modelin özellikle belirlenmesi ve tahmini sürecinde metodolojik adımların görülmesi bakımından, içsel değişkenlerin eşitliğin bir tarafında, dışsal değişkenlerin eşitliğin diğer tarafına toplandığı biçimi yani indirgenmiş kalıp denklemleri şu şekilde oluşturulur (Kaplan 1990: 18; Mulaik 2009: 136).

$(I - B)y = \alpha + \Gamma x + \zeta$ *matrisinin tersinin bulunduğu varsayılarak*

$$y = (I - B)^{-1}\alpha + (I - B)^{-1}\Gamma x + (I - B)^{-1}\zeta$$

$$y = \Pi_0 + \Pi_1 x + \zeta^* \quad (2.16)$$

Π_0 sabit terimlerin indirgenmiş kalıp katsayıları vektörüdür, Π_1 ise eğimlerin indirgenmiş kalıp katsayılarıdır. ζ^* kalıntıların indirgenmiş formu olmak üzere $\text{cov}(\zeta^*) = \Psi^*$. İndirgenmiş kalıp katsayıları, yapısal katsayıların doğrusal olmayan birleşimleridir (Gujarati 1999: 655). Gözlenen değişkenlerle yapısal eşitlik modellerinde yani yol analizinde indirgenmiş kalıp denklemleri ve bu denklemlerde katsayıların türetilmesi ve yapısal katsayılarla ilişkisi Duncan (1975: 58) tarafından detaylı olarak izah edilmiştir. İndirgenmiş kalıp denklemlerinde eşitliğin sağında sadece dışsal değişkenler ve bozucu terim bulunduğu ve bozucu terimlerle dışsal değişkenler ilişkisiz sayıldığından indirgenmiş kalıp katsayılarının tahmininde SEK yöntemi uygulanabilir, daha sonra yapısal katsayılar bu indirgenmiş kalıp katsayılarından çıkarılabilir (Gujarati 1999: 655).

Modeli eldeki veriyle sınamak için, model parametreleri kullanılarak kovaryans matrisinin elde edilmesi gerekir. Oluşturulacak bu kovaryans matrisi tahmini veya uydurulmuş kovaryans matrisi olarak bilinir ve θ (Theta) bilinmeyen, tahmin edilecek olan parametre kümesini temsil etmek üzere $\Sigma(\theta)$ ile gösterilir. Model denkleminde yararlanarak kovaryans matrisi oluşturulurken sabit terim dikkate alınmaz ve denklem, bağımlı ve bağımsız değişkenler eşitliğin iki tarafında olacak şekilde aşağıdaki biçime dönüşür.

$$y = (I - B)^{-1}(\Gamma x + \zeta) \quad (2.17)$$

Bağımlı değişken y lere ait varyans-kovaryans matrisi ($\Sigma_{yy}(\theta)$), bağımlı değişkenlerin çaprazlama çarpımlarının beklenen değeri ile elde edilir. Matris işlemi olarak bu, y matrisinin devriği ile çarpılması ve beklenen değer alınmasıyla bulunur. İşlemlerin ham veriler değil ortalamalarından çıkartılmış verilerle yapıldığı gözönünde bulundurulmalıdır. Tahmini kovaryans matrisinin bağımlı değişkenlerin kovaryanslarına karşılık gelen elemanları aşağıdaki işlemlerle bulunur:

$$\Sigma_{yy}(\theta) = E(yy^T) = E[(I - B)^{-1}(\Gamma x + \zeta)((I - B)^{-1}(\Gamma x + \zeta))^T]$$

$$E(yy^T) = E[(I - B)^{-1}(\Gamma x + \zeta)(x^T \Gamma^T + \zeta^T)(I - B)^{-1^T}]$$

$$E(yy^T) = (I - B)^{-1}(E(\Gamma x x^T \Gamma^T) + E(\Gamma x \zeta^T) + E(\zeta x^T \Gamma^T) + E(\zeta \zeta^T)) + (I - B)^{-1^T}$$

$$E(x x^T) = \Phi, E(\zeta \zeta^T) = \Psi, E(x \zeta^T) = 0 \text{ ve } E(\zeta x^T) = 0 \text{ olduğu için;}$$

$$\Sigma_{yy}(\theta) = E(yy^T) = (I - B)^{-1}(\Gamma \Phi \Gamma^T + \Psi)(I - B)^{-1^T} \text{ olur.}$$

Bağımsız değişkenlere ilişkin varyans kovaryans matrisi model dışında belirlenmektedir ve $\Sigma_{xx}(\theta) = E(x x^T) = \Phi$ ye eşittir. Bağımlı ve bağımsız değişkenlerin tahmini kovaryans matrisi elemanları yukarıdaki adımlar takip edilecek olursa aşağıdaki gibi olur.

$$\Sigma_{xy}(\theta) = E(x y^T) = \Phi \Gamma^T (I - B)^{-1^T}$$

Bulunan tahmini kovaryans matrisi elemanları topluca modelin uydurulmuş kovaryans matrisini oluştururlar. Kurulan modelin eldeki veriye uygunluğu denklem 2.18'de verilen hipotez sınanarak değerlendirilir.

$\Sigma = \Sigma(\theta)$ sırasıyla örnek kovaryans ve modelin tahmini kovaryans matrisleri olmak üzere

$$\begin{bmatrix} \Sigma_{yy} & \text{simetrik} \\ \Sigma_{xy} & \Sigma_{xx} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (I - B)^{-1}(\Gamma \Phi \Gamma^T + \Psi)(I - B)^{-1^T} & \text{simetrik} \\ \Phi \Gamma^T (I - B)^{-1^T} & \Phi \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

Denklem (2.18), genel bir matris gösterimi olup, varyans-kovaryans matrisinin boyutuna ilişkin bilgi vermemektedir. Modeldeki toplam değişken sayısı s olmak üzere tahmini kovaryans matrisinin boyutu ve örnek kovaryans matrisinin boyutu $s \times s$ olur. Modeldeki parametreler yani (B, Γ, Φ, Ψ) matrisleri belirlenip

denklem (2.18.)’de yerine yazıldığında tahmini kovaryans matrisi bulunmuş olur. Modelin belirlenmesi aşamasından sonra belirlenen modelin tahmin edilemeyeceği yani çözümünün bulunup bulunamayacağı araştırılmalıdır. Bu aşama, tanımlanma aşaması olarak bilinmektedir. Nedensel modellerin değerlendirilebilmesi ve tahmin edilebilmesi için parametrelerin biricik şekilde belirlenip tanımlanabilmesi gereklidir (Bentler 1980: 426).

2.1.4.4. Yol Modellerinin Tanımlanması

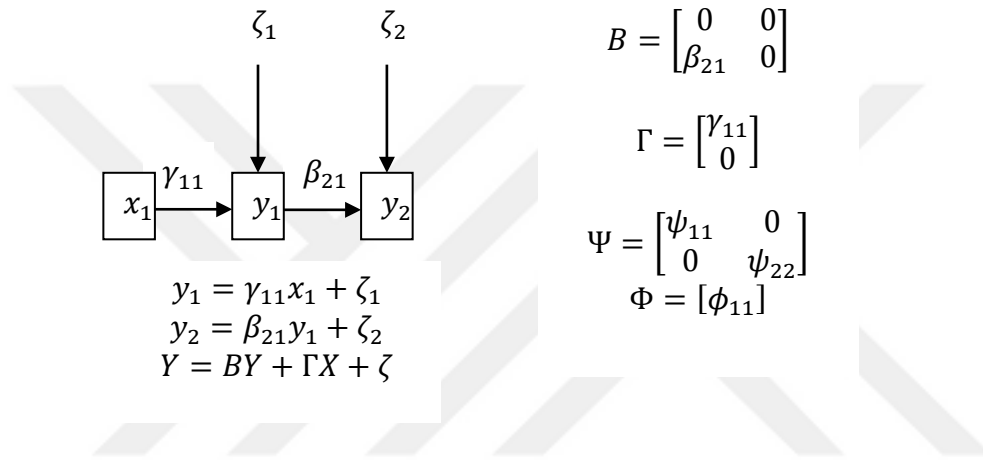
Kurulacak yol modelinin parametrelerini tahmin etmeden önce parametrelerin tanımlanabileceğinin değerlendirilmesi önkoşuldur (Kaplan 1990: 19). Model parametrelerinin örnek veri kullanarak elde edilip edilemeyeceği tanımlamaya karşılık gelir. Şayet model parametreleri tanımlanamıyorsa bu parametrelere ilişkin tahmin olanaksızdır. Neredeyse tüm istatistiksel modellerde tanımlama sorunu bulunmasına karşın, yapısal eşitlik modellerinde tanımlamanın rolü çok belirgindir. Çalışılan model için tanımlanmanın sağlanması dolayısıyla modelin çözümünün bulunabileceğinin görülmesi araştırmacıları umutsuz bir çaba için kaynak israf etmekten alıkoyacaktır (Rigdon 1996: 359).

Gujarati (1999: 656)’ye göre tanımlanma, yapısal bir denklemin ana kütle katsayılarının sayısal tahminlerinin, tahmin edilen indirgenmiş kalıp katsayılarından tahmin edilip edilemeyeceğidir. Yapısal ana kütle katsayılarına biricik sayısal değerler bulunabiliyorsa tam tanımlanma vardır, yapısal denklemlerin bir ya da birden çok ana kütle katsayısına birden çok değer bulunabiliyorsa fazla tanımlanma vardır, hiçbir değer bulunamıyorsa eksik tanımlanma vardır denir (Gujarati 1999: 657).

Tanımlanabilirlik modelin seçimine bağlıdır (Jöreskog,1978: 445). Modelde bulunan tüm parametreler θ vektörü ile gösterilecek olursa $\theta = (B, \Gamma, \Phi, \Psi)$ olur. Burada $\phi = \text{cov}(x)$ ’tir. Parametre vektörü ϕ (Phi) dışsal değişkenlere ilişkin varyans kovaryansları içerdiği ve gerçekte ϕ tahminleri örnek kovaryans matrisi elemanlarıyla aynı olduğundan, bu parametrenin tahmin edilmeyeceğini akılda tutmak gerekir (Kaplan 1990: 19).

Basit regresyon modelleri için bile bazı sınırlamaların yapılması gerekmektedir. Bu sınırlamalardan birisi B matrisinin köşegen elemanlarının sıfıra

eşitlenmesidir yani *normalizasyondur* (Bollen 1989: 91). Bu işlem, içsel değişkenlerin kendileri üzerinde dönüşlü etkilerinin olmaması anlamına gelir (Kaplan 1990: 20). Bir diğer gereklilik etki terimlerinin (ζ) vektörü olan Ψ ile ilgilidir. İçsel değişkenlerin etki terimlerinin birbirleriyle ilişkisiz oldukları varsayılır, böylece Ψ matrisi köşegen matrise dönüşür. Etki terimleri ölçülmediği için metrik değişimlerdir ve genellikle içsel değişkene bağlandıkları parametre katsayıları 1 e sabitlenir (Bollen 1989: 91). Yapısal denklemlere de bakıldığında ζ ların katsayılarının 1 olduğu görülür (Kaplan 1990: 20).



Şekil 2.14. Tanımlama için örnek model

Kovaryans matrisinin türetildiği bir önceki bölümde verilen denklem (2.18), modelin tanımlanmasında kullanılır. Denklemin sağ tarafında yer alan parametrelerden birisi, denklemin solundaki örnek kovaryans matrisinin elemanlarının fonksiyonu olarak yazılabilirse, o parametre tanımlanmıştır; θ kümesindeki tüm parametreler tanımlanırsa model tanımlanmış olur (Bollen 1989: 89).

Şekil 2.14.'de bir örnek modelin denklemleri ve parametre matrisleri verilmiştir. Parametrelerin tanımlanması bu örnek model üzerinden açıklanmaya çalışılacaktır. Denklem (3.18)'e uygun olarak kovaryans matrisini oluşturabilmek için $(I - B)^{-1}$ matrisi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$(I - B)^{-1} = \frac{1}{(1 + \beta_{21})} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \beta_{21} & 1 \end{bmatrix}$$

Şekilde verilenler ve matris tersi denklem (3.18)'de yerine yazılırsa modelin tahmini kovaryans matrisi ve karşılığında örnek kovaryans matrisi aşağıdaki gibi oluşur.

$$\Sigma = \begin{bmatrix} Var(y_1) & sim. & sim. \\ Cov(y_1, y_2) & Var(y_2) & sim. \\ Cov(y_1, x_1) & Cov(y_2, x_1) & Var(x_1) \end{bmatrix}$$

$$\Sigma(\theta) = \begin{bmatrix} y_{11}^2 \phi_{11} + \psi_{11} & sim. & sim. \\ \beta_{21} (y_{11}^2 \phi_{11} + \psi_{11}) & \beta_{21}^2 (y_{11}^2 \phi_{11} + \psi_{11}) + \psi_{22} & sim. \\ \phi_{11} \gamma_{11} & \phi_{11} \gamma_{11} \beta_{21} & \phi_{11} \end{bmatrix}$$

Sağ taraftaki tahmini kovaryans matrisindeki her bir parametre, sol taraftaki varyans ve kovaryans elemanlarıyla yazılabilirse örnek model tanımlanmış olur. Örnek kovaryans matrisindeki elemanların bilindiği varsayılır. İki matrisin karşılıklı elemanları birbirlerine eşitlenir ve uygun işlemler yapılırsa aşağıdaki denklilikler elde edilir.

$$Var(x_1) = \phi_{11}$$

$$Cov(y_2, x_1) = \phi_{11} \gamma_{11} \beta_{21} \Rightarrow \frac{Cov(y_2, x_1)}{Cov(y_1, x_1)} = \beta_{21}$$

$$Cov(y_1, x_1) = \phi_{11} \gamma_{11} \Rightarrow \frac{Cov(y_1, x_1)}{Var(x_1)} = \gamma_{11}$$

$$Var(y_1) = y_{11}^2 \phi_{11} + \psi_{11} = \left(\frac{Cov(y_1, x_1)}{Var(x_1)} \right)^2 Var(x_1) + \psi_{11} \Rightarrow Var(y_1) - \frac{Cov(y_1, x_1)^2}{Var(x_1)} = \psi_{11}$$

$$\psi_{22} = Var(y_2) - \left(\frac{Cov(y_2, x_1)}{Cov(y_1, x_1)} \right)^2 \left[\left(\frac{Cov(y_1, x_1)}{Var(x_1)} \right)^2 Var(x_1) + Var(y_1) - \frac{Cov(y_1, x_1)^2}{Var(x_1)} \right]$$

Böylece tahmini kovaryans matrisindeki tüm parametreler örnek kovaryans matrisindeki varyans ve kovaryanslar cinsinden yazılabildiğinden tanımlanmış olur dolayısıyla örnek model tanımlıdır.

Modelin tanımlı olabilmesi için $\theta = (B, \Gamma, \Phi, \Psi)$ belirtilen tüm parametrelerin Σ deki elemanlar kullanılarak tanımlanabilmesi gerekir. Bu yaklaşım, tanımlama tanımına kovaryans yapısı yaklaşımı olarak bilinir (Kaplan 1990: 20).

Örnek modelde üç değişken bulunduğundan kovaryans matrisinde (3x4/2) 6 farklı denklem oluşmaktaydı. Parametrelerin tanımlanması tek tek denklemler üzerinde çalışılarak gerçekleştirilmiştir. Ancak daha fazla sayıda değişken içeren

modellerde bu işlemler zorlaşmakta ve hataya açık hale gelmektedir (Bollen 1989: 93). Daha kapsamlı modellerde tanımlanma için belli kurallar geliştirilmiştir.

2.1.4.4.1 Bazı Genel Tanımlama Kuralları

Sıfır-B Kuralı:

Tekrarlanan modellerin özel bir örneği de B matrisinin sıfır matris olduğu yani içsel değişkenlerin birbirlerinin nedeni olmadıkları ve Ψ matrisinin köşegen olduğu yani içsel değişkenlerinin etki terimlerinin korelasyonsuz olması durumudur (Hanneman 1999). Bu özel durum *Sıfır-B (Null B)* kuralı olarak isimlendirilmiştir ve böyle modeller her zaman tanımlıdır (Bollen 1989: 95).

İçsel değişkenlerin kendilerini ve birbirlerini etkilemediği durumda B matrisi sifıra eşit olur ve denklem (3.18), aşağıdaki hale dönüşür.

$$\begin{bmatrix} \Sigma_{yy} & \text{simetrik} \\ \Sigma_{xy} & \Sigma_{xx} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\Gamma\Phi\Gamma^T + \Psi) & \text{simetrik} \\ \Phi\Gamma^T & \Phi \end{bmatrix}$$

Matris elemanları birbirine eşitlenecek olursa $\Sigma_{xx} = \phi$, $\Sigma_{xy} = \Phi\Gamma^T$, $\Sigma_{yy} = (\Gamma\Phi\Gamma^T + \Psi)$ denklemleri elde edilir. Soldan sağa sırasıyla denklemler yerine yazılacak olursa her üç parametrenin de örnek varyans ve kovaryansları cinsinden yazılabileceği dolayısıyla tanımlı olduğu görülür.

Tanımlamanın modelin tümü üzerinden değerlendirildiği veya eşanlı denklemlerin her birisi için ayrı ayrı yapıldığı iki klasik tanımlama yaklaşımı bulunmaktadır (Kaplan 1990: 20). Modelin bütünü üzerinden tanımlamanın değerlendirilmesi yapısal eşitlik modelinin sosyal bilim uygulamalarında görülürken, tek tek denklemler üzerinden değerlendirilmesi ekonometri alanında özellikle eşanlı modellerde izlenir. Eşanlı modellerde içindeki tüm denklemlerin tanımlanması durumunda model bir bütün olarak tanımlanmıştır (Gujarati 1999: 664). Her iki yaklaşımın da ortak olduğu nokta, herhangi bir denklemin tanımlanmaması durumunda modelin de tanımlanmayacağıdır.

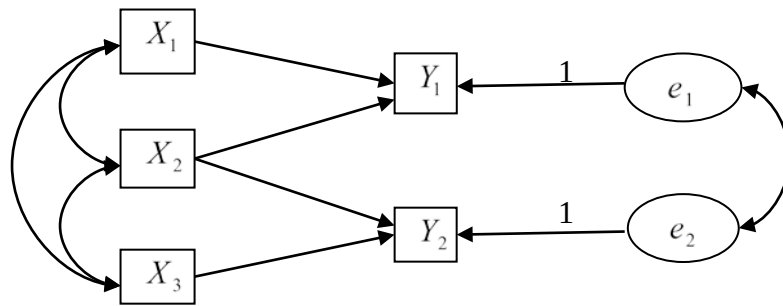
Hanneman (1999)'a göre Hayduk (1987) sadece indirgenmiş kalıp denklemlerin çözümünün modelin tanımlı olduğunu kanıtlayacağını söylemiştir. Modeldeki denklemlerin tanımlanması için indirgenmiş kalıp katsayılarına

başvurmanın zahmeti nedeniyle, düzenli bir yol sunan sayma kuralı ve mertebe koşuluna başvurulabilir (Gujarati 1999: 664).

Sayma Kuralı:

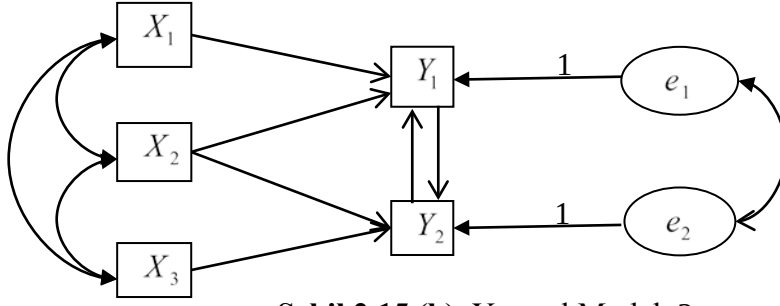
Model parametrelerinin tanımlanmasını ortaya koyan en basit yöntem *sayma kuralıdır*. Hanneman, bu kuralın *t-kuralı* olarak da bilindiğinden bahsetmiş ve kuralı çözüme ulaşmak için bildiklerimizin bilmediklerimizden fazla olması olarak açıklamıştır. İçsel ve dışsal değişkenlerin toplam sayısı $s = p + q$ olmak üzere Σ matrisinin gereksiz olmayan eleman sayısı $s(s+1)/2$ olur. Modelde tahmin edilmesi gereken serbest parametre sayısı t olmak üzere modelin tanımlı olabilmesi için $t \leq s(s+1)/2$ olmalıdır. Şayet eşitlik gerçekleşirse model *tam tanımlıdır* denir, $t < s(s+1)/2$ ise model *fazla tanımlıdır*. Eğer tahmin edilecek parametre sayısı popülasyon kovaryans matrisinin farklı eleman sayısından fazla olursa model tanımlı olmayabilir (Kaplan 1990: 21).

Sayma kuralına ilişkin basit bir örnek Hanneman (1999)'dan uyarlanarak Şekil 2.15.'te verilmiştir. B (Beta) içsel değişkenler arasındaki ilişki sayısını, Γ (Gamma) dışsal değişkenlerden içsel değişkenlere ilişki sayısını, ψ (Psi) etki terimleri kovaryans matrisindeki farklı eleman sayısını, ϕ (Phi) dışsal değişkenlere ilişkin varyans kovaryans sayısını göstermektedir.



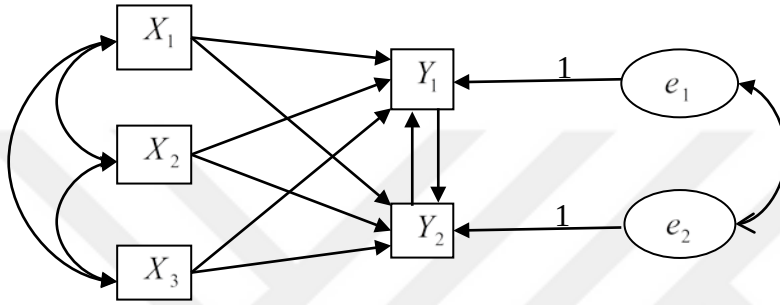
Şekil 2.15 (a). Yapısal Model–1

$$B = 0 \quad \Gamma = 4 \quad \psi = 3 \quad \phi = 6$$



Şekil 2.15 (b). Yapısal Model-2

$$B = 2 \quad \Gamma = 4 \quad \phi = 6 \quad \phi = 6$$



Şekil 2.15 (c). Yapısal Model-3

$$B = 2 \quad \Gamma = 6 \quad \psi = 3 \quad \phi = 6$$

Şekil 2.15. Yapısal Model Örnekleri

Değerleri bilinmeyen ve tahmin edilecek serbest parametrelerin sayıları şekillerin altında verilmiştir. Bu parametrelerin toplamı sayma kuralında kullanılacak t değerini vermektedir. Şekil 2.15'teki örneklerde 5 gözlenen değişken olduğundan $5 \cdot 6 / 2 = 15$ tane farklı varyans kovaryans değeri bilinmektedir. Her bir örnek modelde t değerleri sırasıyla 13, 15 ve 17'dir. Dolayısıyla ilk modelde bilinenler tahmin edilecek olanlardan fazla olduğu için model fazla tanımlıdır, ikinci model tam tanımlanmış iken üçüncü model, serbest parametrelerin sayısı bilinen varyans kovaryans değerlerinden fazla olduğundan eksik tanımlı bir modeldir.

Sayma kuralının basitliği avantaj olsa da gerekli bir kuraldır ancak yeterli değildir (Bollen 1989: 93). Bir başka deyişle, bir modelin tanımlı olmadığı sayma kuralını sağlamamasıyla anlaşılır ancak sayma kuralı bir modelin tanımlı olduğunu söylemek için yetersizdir.

Tekrarlanan (Recursive) Kuralı:

Model tanımı için yeterli olan bir kural ancak *Tekrarlanan modeller* için söylenebilir. Şayet B matrisi üçgensel matrisse yani içsel değişkenler arasında karşılıklı belirleme yoksa ve ψ vektörü köşegen ise yani etki terimleri arasında kovaryans yoksa modelin tanımlanması için sayma kuralı yeterlidir. Bollen (1989: 95), bu kuraldan tanımlamanın *tekrarlanan kuralı* olarak bahsetmiştir.

Tekrarlanan modellerde B ve ψ matrislerine ilişkin sınırlamalar olsa da, tekrarlanmayan modellerde bu sınırlamalar bulunmadığından model tanımlama için tekrarlanmayan modellere özgü kurallar gereklidir. (Kaplan 1990: 22). Bu kurallardan en çok bilinenleri sıra ve mertebe koşullarıdır ve diğer kurallardan farkları şunlardır (Bollen 1989: 98):

1. Her B matrisi için uygulanabilir.
2. Denklemlerin teker teker tanımlanmasına olanak verir.
3. Diğer tanımlama kurallarının aksine, hata terimlerin kovaryans matrisi Ψ (Ψ) için bir sınırlandırma söz konusu değildir. Yani hata terimleri arasında ilişki olan modellerde sıra ve mertebe koşulu tanımlanmanın incelenmesine olanak verir.

Sıra Koşulu Kuralı:

Sıra koşuluna göre her bir yapısal denklemde dışarıda bırakılan toplam değişken sayısı en az $p-1$ olmalıdır (Gujarati 1966: 665). Bir başka deyişle; p içsel değişkene sahip bir modelde her bir içsel değişken en azından $p-1$ tane değişken tarafından etkilenmiyorsa sıra koşulu sağlanmıştır (Hanneman 1999).

Daha kapsamlı modeller için I, B ve Γ matrisleri kullanılarak $C = [I - B] - \Gamma$ olacak şekilde yeni bir matris elde edilir ve bu matrisin her bir satırında en az $p-1$ tane sıfır varsa sıra koşulu sağlanmıştır denilir (Bollen 1989: 100).

Uygulama kolaylığına ve sıra koşulu modelin çözümü olduğunu garanti etmesine rağmen bu çözümün biricik çözüm olduğunu ispat etmez, biricik çözümün garantisi modelin *Mertebe Koşulunu* sağlamasına bağlıdır (Kaplan 1990: 23). Çünkü, denklemlerin doğrusal kombinasyonlarıyla oluşturulan yeni bir denklem önceki denklemle aynı bilinmeyenlere karşılık gelip parametreler için birden çok sonuç üretme potansiyeline sahiptir (Bollen 1989: 101). Sıra koşulu denklemlerin ve

modelin tanımlanabilmesi için gerekli bir koşul olsa da yeterli bir kural değildir, modelin tanımlanabilmesi için gerekli ve yeterli koşul mertbe koşuludur (Gujarati 1999: 667).

Mertebe Koşulu (Rank Condition)

Tanımlama yaklaşımı ekonometri kaynaklıdır ve gerçek bir yapısal eşitliği, hatalı veya doğrusal bağımlı olan yapısal eşitliklerden ayırmak gerekir. Bunun bir yolu olarak eldeki matrisin mertebesinin incelenmesini içeren kural geliştirilmiştir (Kaplan 1990: 22). Gujarati (1999: 657), bir modeldeki içsel değişken sayısını M ile simgelemek üzere mertbe koşulunu şu şekilde açıklamıştır:

“M tane içsel değişkeni olan M denklemleri bir modelde, bir denklem ancak ve ancak, modelin öteki denklemlerinde yer alan ama bu denklemden dışlanmış değişkenlerin katsayılarından oluşturulabilen (M–1) (M–1) boyutlu en az bir tane sıfır olmayan determinant varsa belirlenebilir”.

Mertebe koşulunun uygulanmasına yönelik daha açıklayıcı bir yöntem bütünü Hanneman (1999)’dan yararlanılarak şu şekilde izah edilebilir. Sıra koşulundaki gibi $C = [(I - B) | -\Gamma]$ matrisi oluşturulur. C matrisin her bir satırı bir içsel değişkene karşılık gelen denklemlerdir. C matrisinde sıfır bulunmayan sütunlar matristen çıkarılır. Her bir denklem (satır) için sıfır değeri bulunan sütunlar birleştirilerek C matrisin yeni alt matrisleri oluşturulur. Bu alt matrislerin mertebesi (p–1)’ e eşitse mertbe koşulu sağlanmıştır. Sıra ve mertbe koşulunun işleyişi Şekil 2.15 (b)’deki model kullanılarak aşağıdaki gibi gösterilebilir. Örnek modelde içsel değişken sayısı p=2, dışsal değişken sayısı q=3’tür. Modelin yapısal denklemleri şu şekilde oluşur.

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \beta_{12} \\ \beta_{21} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & 0 \\ 0 & 0 & \gamma_{23} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \zeta_1 \\ \zeta_2 \end{bmatrix}$$

$$C = [(I - B) | -\Gamma] \text{ ile yeni C matrisi } \begin{bmatrix} 1 & -\beta_{12} & -\gamma_{11} & -\gamma_{12} & 0 \\ -\beta_{21} & 1 & 0 & 0 & -\gamma_{23} \end{bmatrix} \text{ olur.}$$

Görüldüğü üzere her satırda en az p–1 sayıda yani örnekte en az 1 tane 0 bulunduğundan sıra koşulu sağlanmıştır. Mertbe koşulu için C matrisinden sıfır

içermeyen sütunlar silindiğinde sonra da her bir satırda 0 bulunan sütunlar birleştirilip yeni C_1 ve C_2 alt matrisleri elde edilir.

$$C_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ -\gamma_{23} \end{bmatrix} \text{ ve } C_2 = \begin{bmatrix} -\gamma_{11} & -\gamma_{12} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ Her iki matrisin de mertebesi 1 dir. Dolayısıyla}$$

her iki denklem için de mertebe koşulu sağlanmıştır. Bu durum, örnek modelin tanımlı olduğunu söylemek için yeter koşuldur.

Gujarati (1999: 669) sıra ve sayma koşullarından hareketle Eşanlı denklem sistemindeki bir yapısal denklemin tanımlanabilmesini genel ilkelerle özetlemiştir. M içsel değişken sayısı, K dışsal değişken sayısı ve bunların küçük gösterimi olan m ve k sırasıyla belli bir denklemdeki içsel ve dışsal değişken sayısı olmak üzere;

1. Eğer $K - k > m - 1$ ve A matrisinin mertebesi $M - 1$ ise, denklem aşırı tanımlanmıştır.
2. Eğer $K - k = m - 1$ ve A matrisinin mertebesi $M - 1$ ise, denklem tam tanımlanmıştır.
3. Eğer $K - k \geq m - 1$ ve A matrisinin mertebesi $M - 1$ 'den küçük ise, denklem eksik tanımlanmıştır.
4. Eğer $K - k < m - 1$ ise denklem eksik belirlenmiştir ve bu durumda A matrisinin mertebesi kaçınılmaz olarak $M - 1$ 'den küçüktür.

Tanımlanma kuralları Bollen (1989: 104) tarafından özetlendiği şekliyle Tablo 2.2.'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Yol Analizi için Tanımlanma Kuralları

KURAL	DEĞERLENDİRİLEN	KOŞUL	GEREKLİ	YETERLİ
Sayma Kuralı	Model	$t \leq s(s + 1)/2$	✓	×
Sıfır-B Kuralı	Model	$B = 0$	×	✓
Tekrarlanan Kuralı	Model	B üçgen, Ψ köşegen	×	✓
Sıra Koşulu	Denklem	$sınırlandırma \leq p - 1$	✓	×
Mertebe Koşulu	Denklem	$rank(C) = p - 1$	✓	✓

Bahsedilen tanımlama kurallarındaki kısıtlamalar, örneğin hatalar arası korelasyona izin verilmemesi, sıra ve mertebe koşulunda ise hata terimleri arasında

korelasyonun serbest bırakılması zorunluluğu ve kovaryans matrisinin oluşturulmasından sonra testin yapılabilmesi, modellerin tanımlanmasında yeni yöntem arayışlarına yol açmıştır.

Brito ve Pearl (2002: 459), tekrarlanan doğrusal modellerde hata terimleri arasında korelasyona imkân veren yeni bir tanımlama yöntemi önermişlerdir. Bu yöntemle, aralarında doğrudan etki bulunan neden-sonuç değişkenleri haricinde, hata terimleri arasında korelasyon bulunsa bile tekrarlanan modelin tanımlı olacağını söylemişlerdir. Rigdon (1995) ve Pearl (2000) farklı özellikteki modeller için bazı tanımlama alternatifleri sunmuşlardır.

Modelin tanımlı olduğu bulunmasına karşın yine de çözümünün bulunamayacağı durumlar da vardır. Kenny (1979), örnekte güçlü ortak doğrusallık bulunuyorsa, kovaryans veya etkilerin bir kısmı deneysel olarak sıfır ise veya sıfıra yakınsa, parametre tahminlerine karşılık gelen paydalar sıfıra yakınsa eksik tanımlamanın olabileceğini belirtmiş ve bu durumu *deneysel eksik tanımlama* olarak isimlendirmiştir (Kenny vd.,1998: 254).

Hayduk (1987)'a göre model çözüldüğünde sonuç alınamıyorsa veya matrisin tersi bulunamıyorsa veya model tahmin edildiğinde garip sonuçlar bulunuyorsa muhtemelen model eksik tanımlanmıştır. Jöreskog (1978: 445)'e göre elde edilen sonuçlar makul görülse de modelin tanımlı olduğu kesin olarak söylenemez, farklı başlangıç değerleriyle model tekrar tekrar tahmin edilmeli ve hep aynı sonuçlar elde ediliyorsa ancak model tanımlıdır denebilir. Hanneman (1999)'a göre sonuçları makul bulunan bir modelin tanımlı olduğuna emin olmak için denenebilecek diğer bir yol ise parametrelerden birini mantıksız bir değere sabitleyerek modeli çözmektir, sonuçta uyum iyiliğinde kayda değer bir azalma görülmezse modelde tanımlama sorunu olduğu düşünülür.

Hayduk (1987) tanımlama problemlerinden kaçınmak için bazı önerilerde bulunmuştur.

1. Her zaman bir faktör yükü sabitlenir.
2. Aksi bir kanaat yoksa hata terimleri arasında kovaryansa izin verilmez.
3. Kuramsal bir nedeni bulunmayan etkiler belirlenmez.

4. Karşılıklı etkileşen değişkenlerin bulunması sıkıntılıdır, bunlardan en az birinin diğerini etkilememesi sağlanmalıdır.

2.1.4.5. Model Parametrelerinin Tahmini

Üç tür parametre vardır. Bunlardan birincisi tahmin edilecek olan parametrelerdir ki bu parametrelere ‘Serbest Parametreler’ denir. İkinci tür parametre, önceden değerleri belirlenmiş ve tahmin edilmeyecek olan ‘Sabit Parametrelerdir’. Üçüncü parametre türü ise değeri başka bir parametreye eşitlenmiş olan ‘Kısıtlanmış parametrelerdir’ (Kaplan 1990: 15-16). Serbest parametreleri tahmin ederken, onları temsil etmek üzere bazı istatistikler kullanılır ve bunlara tahmin ediciler ve kestiriciler denir. Tahmin ediciler üç özellik bakımından değerlendirilir; Sapmasızlık, tutarlılık ve etkinlik. Eğer kullanılan istatistikin beklenen değeri parametre değerine eşit ise, bu istatistik parametrenin *sapmasız* tahmin edicisi; örnek hacmi büyüdükçe istatistik değeri parametre değerine yaklaşıyorsa *tutarlı* tahmin edicisi olarak nitelendirilir. Bir parametreyi tahmin etmek için kullanılan istatistiklerden düşük varyanslı olanı ise parametrenin *etkin* bir tahmin edicisi olarak kabul edilir.

Yapısal denklemlerin tahmininde temel iki yaklaşım vardır; Bunlardan birincisi sınırlı bilgi yöntemleri de denen tek denklem yöntemleri, diğeri tam bilgi yöntemleridir. Eşanlı denklem modelindeki her denklem tek başına değerlendiriliyorsa, o denkleme konan sınırlamalar dikkate alınarak ama modeldeki diğer denklemlere konan sınırlamalar göz ardı edilerek tek başına tahmin edildiği için sınırlı bilgi yöntemleri adını alır (Gujarati 1999: 678).

Eşanlı denklem modellerinin tüm denklemlerinin aynı anda tahmin edildiği tam bilgi yöntemleri modelinin özünü korumak için en iyi yöntem olarak gözüktse de; denklemlerin bir veya birkaçında yapılacak bir model hatasının tüm denklemlere yansıtacak olması, hesaplamanın güçlüğü ve katsayılara ilişkin tutarsız sonuçlar verebilmesi gibi nedenlerle uygulamada bu yöntem çoklukla tercih edilmez (Gujarati 1999: 679; Kaplan 1999: 97).

Dışsal değişkenlerin varyans-kovaryans matrisi ϕ , etki terimlerinin varyans-kovaryans matrisi ψ , B ve Γ matrislerinde bulunan regresyon katsayıları modelin

parametreleridir ve $\theta = \{B, \Gamma, \psi, \phi\}$ vektöründe topluca gösterilebilir. Tahminin amacı, uydurulmuş kovaryans matrisi $\hat{\Sigma} = \Sigma(\hat{\theta})$ olmak üzere $F(S, \hat{\Sigma})$ uzaklık fonksiyonunu minimize eden $\hat{\theta}$ parametre tahmini değerlerini elde etmektir (Kaplan 1990: 24). $F(S, \hat{\Sigma})$, örnek kovaryans matrisi S ile uydurulmuş kovaryans matrisi $\hat{\Sigma}$ arasındaki farklılığı ölçen bir uyum fonksiyondur (Kaplan 1990: 24). Bu fonksiyonun bazı özellikleri şu şekilde özetlenebilir (Jöreskog ve Sörbom 1982: 405; Bollen, 1989: 106):

- i) $F(S, \hat{\Sigma}) \geq 0$
- ii) Eğer $\hat{\Sigma} = S$ ise $F(S, \hat{\Sigma}) = 0$ (Tam uyum vardır.)
- iii) $F(S, \hat{\Sigma})$ fonksiyonu sürekli bir fonksiyondur ve skalardır.
- iv) $F(S, \hat{\Sigma})$ ikinci dereceden türevlenebilir bir fonksiyondur (Mulaik 2009: 165).

Yukarıda belirtilen koşulları sağlayan uyum fonksiyonları θ için tutarlı tahminler üretirler (Browne 1984: 66). Tahmin fonksiyonlarının seçiminde önemli kavramlardan ikisi *ölçek değişmezliği* (Scale invariance) ve *ölçek serbestliğidir* (scale freeness). Ölçek değişmezliği, uyum fonksiyonun değerinin ölçek değişikliğinden etkilenmemesidir. Örneğin kovaryans matrisiyle elde edilen uyum fonksiyonu değerleriyle korelasyon matrisi kullanılarak elde edilen değerler aynı ise ölçek değişmezliği vardır denilir.

D matrisi köşegen ve tersi bulunabilen bir matris olduğu varsayımıyla, $F(S, \Sigma)$ ile $F(DSD, D\Sigma D)$ uyum fonksiyonları aynı sonucu üretiyorsa ölçek değişmezliği vardır. D matrisi köşegen elemanları standart sapmaların tersi olacak şekilde düzenlenirse DSD korelasyon matrisine karşılık gelir böylece uyum fonksiyonunun kovaryans ve korelasyon matrisleriyle aynı sonuçları üretip üretmediği görülebilir.

Dönüştürülmemiş değerler ile dönüştürülmüş değer kullanılarak elde edilen parametre değerleri birbirlerinden elde edilebiliyorsa ölçek bağımsızlığı vardır denir (Bollen 1989: 110; Kline 2011: 158).

2.1.4.5.1. SEK ve AEK Tahmin edicileri

Tahmin yöntemlerinden en basit olanı sıradan en küçük kareler (SEK) yöntemidir. Bu yöntemin uyum fonksiyonu, $S - \Sigma$ matrisinin kalıntılarının çapraz çarpım toplamalarının iz fonksiyonu ile bulunur:

$$F_{SEK} = \frac{1}{2} [(S - \Sigma)(S - \Sigma)^T]$$

Formüldeki tr işlevi matrisin izidir, bir A matrisi için tr (A) olarak gösterilir ve köşegen elemanların toplanmasına karşılık gelir. Belli bir dağılım varsayımına ihtiyaç duymaması ve uygulama kolaylığı bu yöntemin avantajı olsa da uyum için yapılacak istatistiki çıkarımların normal dağılım varsayımına dayanması yöntemin kullanımını sınırlandırmıştır (Mulaik 2009: 156). SEK yöntemine benzer ve YEM modellerinde çokça tercih edilen tahmin yöntemlerinden birisi de ağırlıklandırılmamış en küçük kareler yöntemi (AEK)dir. Uygulama basitliği ve dağılım varsayımı gerektirmemesi bu yöntemin de olumlu yanıdır. Uyum fonksiyonu aşağıda verilen AEK tahmin edicisinin dezavantajları şöyle sıralanabilir (Bollen 1989: 112):

$$F_{AEK} = \frac{1}{2} tr[(S - \Sigma)^2]$$

1. Asimptotik olarak etkin bir tahmin edici değildir. Yani büyük ve kompleks modellerde parametre tahminleri elde edilemeyebilir.
2. Ölçek bağımsızlığı ve ölçek değişmezliği özelliklerine sahip değildir.
3. Fazla tanımlı modeller için bir test sunmaz.

2.1.4.5.2. En Yüksek Olabilirlik Tahmini (EYO)

İlk önce ekonometrik eşanlı modellerin tahmini için Tam-bilgi En Yüksek Olabilirlik (FIML) ismiyle Koopmans vd. (1950) tarafından önerilmiş olan EYO, Jöreskog (1973) tarafından yapısal eşitlik modeli için kullanılmaya başlanmıştır (Kaplan 1990: 25). En yüksek olabilirlik tahmini, gözlemlerin çok değişkenli normal dağıldığı bilinen bir popülasyondan elde edilmesi varsayımıyla geliştirilmiştir (Bollen 1989: 131). Gözlenen değerlerin ortalamalarından farklarının oluşturduğu vektöre z denecek olursa, tek gözlem için çok değişkenli normal dağılım olasılık yoğunluk fonksiyonu denklem (2.19) daki gibidir:

$$f(z) = (2\pi)^{-(p+q)/2} |\Sigma|^{-\frac{1}{2}} e^{\left[-\frac{1}{2} z^T \Sigma^{-1} z\right]} \quad (2.19)$$

$$L(\theta) = (2\pi)^{-N(p+q)/2} |\Sigma|^{-\frac{N}{2}} e^{\left[-\frac{1}{2} \sum_{i=1}^N z_i^T \Sigma^{-1} z_i\right]} \quad (2.20)$$

Denklem (2.20)'de tüm gözlemler için birleşik olasılık yoğunluk fonksiyonu olabilirlik fonksiyonu olarak düzenlenmiştir. Denklemin logaritması alınıp, son terim örnek kovaryans matrisi S, oluşturacak şekilde düzenlenince denklem (2.21) ve (2.22) deki gibi olur.

$$\log L(\theta) = \frac{-N(p+q)}{2} \log(2\pi) - \left(\frac{N}{2}\right) \log |\Sigma| - \left(\frac{1}{2}\right) \sum_{i=1}^N z_i^T \Sigma^{-1} z_i \quad (2.21)$$

$$\log L(\theta) = \frac{-N(p+q)}{2} \log(2\pi) - \left(\frac{N}{2}\right) \log |\Sigma| - \left(\frac{N}{2}\right) \text{tr}(\Sigma^{-1}) \quad (2.22)$$

Oluşturulacak fonksiyonun daha sonra türevi alınacağı için, türevde etkisi olmayacak elemanlar sadeleştirildiğinde olabilirlik fonksiyonu aşağıdaki biçimine dönüşür:

$$\log L(\theta) = -\left(\frac{N}{2}\right) [\log |\Sigma| - \text{tr}(\Sigma^{-1})] \quad (2.23)$$

Parametrelere ilişkin tahmin fonksiyonu bu şekilde ifade edilebilir ancak burada amaçlanan parametre tahminleriyle örnek kovaryansları arasındaki farkın (uzaklığın) en aza indirilmesidir. Fonksiyonu bir uzaklık fonksiyonuna dönüştürmek için model parametrelerine bağımlı olmayan ve türevlendirilmemiş terimler modelden çıkarılıp ve örneğe karşılık gelen kısımlar eklenince EYO tahmin fonksiyonu için son hal eşitlik denklem (2.24)'deki gibi elde edilir (Kaplan,1999: 27).

$$F_{EYO} = [\log |\Sigma| - \text{tr}(\Sigma^{-1})] - \log |S| - (p + q) \quad (2.24)$$

Burada p+q, toplam değişken sayısıdır. Modelde tam bir uyum söz konusu olursa birinci ile üçüncü terimlerin, ikinci ve dördüncü terimlerin sadeleştiği ve fonksiyonun sıfır değerini aldığı görülür. EYO tahmin edicisi Wishart dağılımı ile de elde edilebilir (Bollen 1989: 134).

En iyi model parametrelerini tahmin etmek için, örnek kovaryans matrisi ve modelin tahmini kovaryans matrisi denklemde yerine yazılarak parametrelerin her biri için türevler alınıp sıfıra eşitlenir. Böylece her parametre için en iyi uyumu sağlayan değerler örnek kovaryans matrisi elemanları cinsinden bulunur. EYO

tahmin edicisi denkleminin ikinci dereceden türevleriyle oluşturulan matris; determinantının sıfıra eşit olmamasıyla tahminin gerçekleştirilebileceğine ilişkin bilgi verirken, denklem (2.25)'de verilen asimptotik kovaryans matrisine dönüştürülünce köşegen elemanları tahminlerin standart hatalarını sunmaktadır.

$$ACOV(\theta) = \left(\frac{2}{(N-1)} \right) \left\{ E \left[\frac{\partial^2 F_{EYO}}{\partial \theta \partial \theta^T} \right] \right\}^{-1} \quad (2.25)$$

EYO tahmin edicisinin özellikleri şöyle özetlenebilir (Bollen,1989: 108):

1. Asimptotik özellik gösterirler yani büyük örneklerde sapmasızdırlar.
2. Tutarlıdırlar.
3. Tutarlı tahmin ediciler arasında düşük varyansa sahiptirler dolayısıyla etkindirler.
4. Örnek hacmi büyüdükçe tahmin edici normal dağılım gösterir.
5. Genellikle ölçek bağımsızlığı ve ölçek değişmezliği sağlar.
6. $(N - 1)F_{EYO}$ test fonksiyonu olmak üzere, bilinen kovaryans değerleri sayısından tahmin edilen parametre sayısı çıkarılmasıyla bulunan serbestlik dereceli χ^2 dağılımı, fazla tanımlı modeller için genel bir model uyum testine imkan verir.

2.1.4.5.3. Genelleştirilmiş En Küçük Kareler (GEK)

Genelleştirilmiş en küçük kareler tahmin edicisi (GEK), Ağırlıklandırılmış en küçük kareler tahmin edicisi (AEEK) ailesinin bir üyesi olarak kabul edilir. GEK tahmin edicisi Aitken (1934) tarafından geliştirilmiş, Jöreskog ve Goldberger (1972) yol analizine uygulamasını gerçekleştirmişlerdir (Kaplan 1990: 28). GEK, sıradan en küçük kareler yönteminin bir uyarlamasıdır. Nasıl regresyon analizinde değişen varyans ve otokorelasyonun varlığında SEK tahmin edicisinin yerini GEK yöntemi alıyorsa, varyans kovaryans matris elemanlarının sabit ağırlıklı olarak ele alındığı F_{AEK} tahmin fonksiyonunun yerini GEK tahmin edicisi almaktadır (Bollen 1989: 113). EYO tahminindeki gibi katı olmasa da, GEK için de verilerin çok değişkenli normal dağılım gösterdiği varsayılır (Long 1983a: 45). GEK genel fonksiyonu şu şekildedir:

$$F_{GEK} = \left(\frac{1}{2} \right) tr(\{[S - \Sigma]W^{-1}\}^2) \quad (2.26)$$

Denklem (2.26)'da W^{-1} , diğer elemanlarla olan varyans ve kovaryanslar cinsinden $(S - \Sigma)$ sapmalarını ölçen ağırlık matrisidir. W matrisi, asimptotik kovaryans matrisinin tutarlı bir tahmin edicisidir. Uzaklık fonksiyonun tahmin edilebilmesi için W matrisinin tekil olmaması gerekir (Kaplan 1999: 81).

Ağırlık matrisinin seçimi önemlidir. Birim matris (I) ağırlık matrisi olarak belirlenirse tahmin fonksiyonu ağırlıklandırılmış en küçük kareler (AEK) fonksiyonuna dönüşür. Ağırlık matrisinin S^{-1} olarak belirlenmesi en yaygın olandır (Bollen 1989: 114). Çok değişkenli normallik varsayımı altında S^{-1} in ağırlık olarak belirlendiği GEK tahmin fonksiyonu EYO tahmin fonksiyonu ile aynı asimptotik özelliklere sahiptir ve denklem (2.26) düzenlenirse GEK tahmin edici fonksiyonu aşağıdaki şeklini alır (Kaplan 1990: 30).

$$F_{GEK} = \left(\frac{1}{2}\right) tr(\{I - \Sigma S^{-1}\}^2) \quad (2.27)$$

Denklem (2.27), Aitken (1934)'in çalışmalarından yararlanarak Jöreskog ve Goldberger (1972) tarafından gözlemlerin çok değişkenli normal dağılım gösterdiği varsayımıyla oluşturulmuştur. Ağırlıklandırılmamış tahmin edicilerin aksine hem GEK hem de EYO tahmin edicileri ölçeğe duyarsız ve ölçekten bağımsızdırlar (Long 1983a: 45). Ancak parametre değerleri sıfırdan başka bir değere sabitlenirse tahmin ediciler bu özellikleri kaybederler (Kaplan 1990: 31). Browne (1974), GEK ve EYO tahmin edicilerinin kalıntıların sıfıra yaklaştığı durumda birbirlerine denk olduğunu göstermiştir. Jöreskog ve Van Thillo (1971: 2), normal dağılım varsayıldığında hem EYO hem de GEK tahmin edicilerinin asimptotik olarak etkin olduklarını belirtmişlerdir. Bentler ve Bonnet (1980: 590), GEK ve EYO tahmin edicilerinin şu asimptotik özelliklere sahip olduğunu söylemişlerdir:

1. Tutarlıdırlar.
2. En düşük Cramer-Rao örnek varyansına sahiptirler.
3. Asimptotik olarak eşittirler.
4. Ortalaması 0, kovaryans matrisi Fisher bilgi matrisinin tersi olan çok değişkenli normal dağılıma uyarlar.

5. Model uyumu için EYO tahmin edicisinde bahsedilen χ^2 testi GEK için de oluşturulabilir.

Jöreskog ve Goldberger (1971) çalışmalarında, GEK ve EYO yöntemlerinde tekil matrisin varlığında karşılaşılan Heywood durumuna ilişkin çözümler ve bu iki tahmin edicinin asimptotik özellikleriyle ölçek bağımsızlığına ilişkin değerlendirmeler sunmuşlardır.

AEEK, GEK ve EYO tahmin edicileri gözlenen değişkenlerin ortak dağılım fonksiyonlarını normal veya normale yakın dağılmış kabul ederler (Mulaik 2009: 162). Ancak verilerin kategorik olduğu ve normal dağılmadığı durumlar için bu tahmin edicilerin ötesinde farklı tahmin yöntemleri önerilmiştir.

2.1.4.5.4. ADF Tahmin Edicisi

Browne (1984), çok değişkenli normallik varsayımının sağlanamadığı durumlara ilişkin bu varsayıma ihtiyaç duymayacak bir tahmin yöntemi geliştirmiştir (Lee 2007: 44). GEK tahmin yöntemini kovaryans yapılarının analizine dolayısıyla yapısal eşitlik modellemesine genişletebilmek için parametre tahmin problemini regresyon olarak ele almıştır (Mulaik 2009: 163). Asimptotik dağılımdan bağımsız (ADF) tahmin edici olarak isimlendiren bu yöntem AEEK tahmin edicisindeki ağırlık matrisi yerine denklem (2.28) de verilen ifadeyi kullanmaktadır (Muthen ve Kaplan 1985: 174).

$$(N-1)\text{cov}(s_{ij}s_{kl}) = \sigma_{ik}\sigma_{jl} + \sigma_{il}\sigma_{jk} + \frac{N-1}{N}\kappa_{ijkl} \quad (2.28)$$

Denklemde κ_{ijkl} dördüncü dereceden logaritmik momente karşılık gelir ve formülü (2.29)'daki gibidir (Mulaik,2009: 164;Lee,2007: 45).

$$\begin{aligned} \kappa_{ij,kl} &= \sigma_{ij,kl} - \sigma_{ij}\sigma_{kl} - \sigma_{ik}\sigma_{jl} - \sigma_{il}\sigma_{jk} \\ \sigma_{ij,kl} &= E[(Y_i - \mu_i)(Y_j - \mu_j)(Y_k - \mu_k)(Y_l - \mu_l)] \end{aligned} \quad (2.29)$$

GEK bu momenti sıfır kabul ettiğinden ağırlık matrisi aşağıdaki şekle dönüşür ve hesaplanması daha kolay hale gelir (Muthen ve Kaplan 1985: 174).

$$(N-1)\text{cov}(s_{ij}s_{kl}) = \sigma_{ik}\sigma_{jl} + \sigma_{il}\sigma_{jk}$$

ADF tahmin edicisinin normal dağılmayan veriler için genel bir tahmin yöntemi olma umudu birçok açıdan hayal kırıklığıyla sonuçlanmıştır (Mulaik,2009: 166).

1. Çok sayıda değişken içeren modellerde yöntem karmaşılaşmaktadır.
2. Sık kullanılan araştırma hacimlerinde (250-500) doğru tahmin sonucu vermekten uzaktır, 5000 ve daha büyük sayıda örnek hacimlerinde etkindir.

AEK, GEK ve EYO tahmin yöntemlerinin kovaryans matrilerini veri olarak kullanmasının aksine, ham veri üzerinden tahmin yaklaşımları da bulunmaktadır. Markov Zinciri Monte Carlo (MCMC) simülasyon yöntemi ve Bayesyen Tahmin (BT) yöntemleri, YEM çalışmalarında gelişmektedir (Lee 2007: 69).

SEK, iki aşamalı en küçük kareler (2AEK), üç aşamalı en küçük kareler (3AEK) ve tam bilgi en yüksek olabilirlik (FIML) tahmin yöntemleri gözlenen değişkenler için yapısal eşitliklerde yaygın olarak kullanılan diğer tahmin yöntemleridir (Bollen 1989: 115).

2.1.4.5.5. Tahmin Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Muthen ve Kaplan (1985) normal dağılım göstermeyen kategorik veriler için yaptıkları çalışmada EYO ve GEK temelli tahminciler görece sağlam olmasına karşın, çarpıklık ve basıklık içeren değişkenler için büyük değerler elde etmişlerdir, oysa ADF de aynı problemle karşılaşılmamıştır. Ayrıca EYO ve GEK tahmin edicileriyle elde edilen parametre tahminleri sapmalıyken ADF tahminleri sapmasız bulunmuştur (Muthen ve Kaplan 1985: 171).

Normal olmayan sürekli veriler için ADF ki-kare değerleri EYO ki-kare değerlerinden daha iyi bulunmaktadır ancak kategorik veriler için örnek hacmi büyüdükçe ADF hassasiyeti artmaktadır. ADF tahmin edicisinin kullanımını kısıtlayan diğer etmenler değişken sayısı arttıkça ağırlık matrisindeki eleman sayısının aşırı artışı ve bunun getirdiği hesaplama güçlüğüdür (Kaplan 1990: 82).

Satorra (1992: 265), AEK tahmin edicisinde Γ matrisinin aşırı büyümesi ve tahminin güçleşmesi nedeniyle, tersinin bulunmasını gerektirmeyecek dayanıklı (robust) bir tahmin edici ve bununla bağlantılı uyarlanmış Ki-kare istatistiği önermiştir. Normal dağılmayan veriler için alternatif tahmin ediciler üzerine yapılan çalışmalardan sürekli olup normal dağılmayan veriler için Browne (1982,1984) ve kategorik veriler için Muthen (1984)'in çalışmaları dikkate değerdir (Kaplan 1990:

81). Her iki yaklaşımda da GEK tahmin edici fonksiyonu kullanılarak uzaklık fonksiyonu oluşturulmuştur.

Araştırmacılar sosyal ve davranışsal özellikleri ölçmek için genellikle Likert tipi sıralı ölçek kullanırlar ancak verilerin aralık ölçeğinde elde edildiğini varsayarlar. Bu şekilde elde edilen veriler tanım gereği normal değildir ve basıktırlar, bu durum normallik varsayımına ihtiyaç duyan EYO ve GEK gibi tahmin edicilerle elde edilen parametre tahminlerini, standart hataları ve modeli bütün olarak etkilemektedir (Kaplan 1990).

Muthen ve Kaplan (1985: 187), kategorik değişkenli modeller için bir tahmin edici geliştirmiş ve Kategorik Değişkenli Modeller (KDM) tahmin edicisi olarak isimlendirdikleri bu tahmin edicinin, normallik varsayan diğer tahmin edicilere göre özellikle parametre tahminlerinde daha iyi sonuç verdiklerini göstermişlerdir.

2.1.4.5.6. Etki Ayrıştırılması (Effect Decomposition)

B ve Γ elemanları modelde doğrudan etkilere karşılık gelir, yani iki değişken arasındaki etki başka bir değişken aracılığıyla gerçekleşmemektedir. Bundan dolayı regresyon katsayılarındaki biçimiyle yorumlanır. Örneğin B matrisinin bir elemanı, bir içsel değişkendeki bir birim artışın diğer içsel değişkende ne kadar bir artışa yol açtığını gösterir. Değişkenlerin ölçü birimleri mantıklı ise bu artış da o derecede anlamlı okunur (Kaplan 1990: 35). İki değişken arasında doğrudan etkinin yanında üçüncü bir değişken üzerinden birbirlerine etki edip etmedikleri de önem taşır. Dolaylı etki denen böyle durumların varlığında değişkenler arasındaki ilişkiyi sağlayan değişkenlere aracı değişken ismi verilir ve iki değişken arasında üçüncü bir değişken tarafından sağlanan bir aracılık etkisinin varlığından bahsedilir (Şimşek 2007: 22).

Doğrudan ve dolaylı etkilerin toplamı toplam etkiyi oluşturur. İndirgenmiş kalıp denklemi $y = (I - B)^{-1}\alpha + (I - B)^{-1}\Gamma x + (I - B)^{-1}\xi$ olmak üzere denklemi indirgenmiş kalıp katsayılarıyla $y = \Pi_0 + \Pi_1 x + \xi^*$ şeklinde gösterebiliriz. $\Pi_1 = (I - B)^{-1}\Gamma$ katsayı matrisi dışsal değişkenlerin içsel değişkenler üzerindeki toplam etkisine karşılık gelir. Dolaylı etkiyi bulabilmek için, doğrudan etkinin toplam etkiden çıkarılması gerekir ki dışsal değişkenlerin içsel değişkenler

üzerindeki doğrudan etkisi Γ dir. Bu durumda dolaylı etkilere karşılık gelen matris $\Pi_1 = (I - B)^{-1}\Gamma - T$ şeklinde bulunabilir (Kaplan 1990: 36). Değişkenler arasındaki etkilerin toplam, doğrudan ve dolaylı olarak ayrıştırılmasına ilişkin Tablo 2.3., Jöreskog ve Goldberger (1982) tarafından şu şekilde oluşturulmuştur:

Tablo 2.3. Etkilerin Ayrıştırılması (Jöreskog ve Sörbom 1982: 409)

Etkilerin Ayrıştırılması		
	ξ nin Etkisi	Etkisi
η Üzerinde Etkisi		
Doğrudan Etki	Γ	B
Dolaylı Etki	$(I - B)^{-1}\Gamma - \Gamma$	$(I - B)^{-1} - I - B$
Toplam Etki	$(I - B)^{-1}\Gamma$	$(I - B)^{-1} - I$
y Üzerinde Etkisi		
Doğrudan Etki	$\Lambda_y \Gamma$	Λ_y
Dolaylı Etki	$\Lambda_y (I - B)^{-1}\Gamma - \Lambda_y \Gamma$	$\Lambda_y (I - B)^{-1} - \Lambda_y$
Toplam Etki	$\Lambda_y (I - B)^{-1}\Gamma$	$\Lambda_y (I - B)^{-1}$

2.1.5. Faktör Analizi

Araştırmaya konu olan bazı değişkenler, ki bunlar örtük değişkenler veya faktörler olabilir, doğrudan gözlenemezler ve ancak gözlenen değişkenler üzerindeki etkileriyle haklarında bilgi edinilebilir. Faktör analizi, gözlenen değişkenler arasındaki kovaryanstan yararlanarak daha az sayıda örtük değişken keşfetmeye yarayan istatistiksel bir yöntemdir (Long 1983b: 11). Gözlenen değişkenler veya faktör analizi bağlamındaki ifadesiyle göstergeler arasında bir ilişkiden (kovaryansdan) bahsedilebilmesi için bu değişkenlerin ortak bir nedeni paylaşıyor olmaları gerekir (Brown 2006: 13). Gösterge değişkenlerin birlikte değişimine yol açan ortak neden arayışı faktör analizinin temel hareket noktasını oluşturmaktadır. Yapısal eşitlik modellemesinde örtük ve gizli değişkenlerin oluşturduğu yapılar arasındaki ilişkilerin incelenmesinde, gözlenen değişkenlerle örtük değişkenlerin ilişkilendirilmesi yani faktör yapılarının belirlenmesi gerekmektedir. Dolayısıyla

faktör analizi, özellikle de doğrulayıcı faktör analizi (DFA) yapısal eşitlik modellemesinin bir parçası veya ön aşaması olarak kabul edilebilir (Harrington 2009: 12).

Açımlayıcı ve doğrulayıcı faktör analizi, faktör analizinin iki temel yaklaşımıdır. Sırasıyla bunlara sınırlandırılmamış faktör analizi ve sınırlandırılmış faktör analizi de denmektedir. Açımlayıcı faktör analizine (AFA), sınırlandırılmamış denmesinin nedeni; faktör sayısının önceden belirlenmemiş olması ve gözlenen değişkenlerin herhangi bir faktörle irtibatının kesinleştirilmemiş olmasındandır. Araştırmacılar, kullanılacak faktörler hakkında net bir fikre sahip değillerse, veriden yararlanarak kullanılacak faktör sayısını ve bu faktörlerin açıkladığı gözlenen değişkenleri belirlemek için açıklayıcı faktör analizinin kullanımı değerlidir (Bollen 1989: 228). AFA ve DFA kavramsal olarak doğrusal faktör analizi modeli diğer bir isimlendirmeye de ortak faktör modeline dayanır ve her bir gözlenen değişkeni birkaç ortak faktörün ve bir tane biricik faktörün doğrusal fonksiyonu olarak kabul eder (Brown 2006: 14). Ortak faktör modelinde her bir gözlenen değişken faktörlerle ilişkilendirilerek denklem (2.30)'daki şekliyle ifade edilir.

(2.30)

Denklem, gözlenen değişkenleri, ortak faktörlerin ağırlıklandırılmış kümesi ve etki (hata) değişkenlerin vektörü cinsinden ifade etmektedir (Kaplan 1990: 42). x , gözlenen değişkenlere ait $q \times 1$ boyutlu vektördür. Λ_x $q \times k$ boyutlu faktörlerle gözlenen değişkenler arasındaki regresyon ağırlıkları veya faktör yükleri vektörüdür. ξ ise $k \times 1$ boyutlu ortak faktörleri temsil eden vektördür. δ , $q \times 1$ boyutlu her bir gözlenen değişkene karşılık gelen hata terimi vektörüdür ve biricik değişken (unique variable) olarak da adlandırılmaktadır. Denklemi; gözlenen değişkendeki varyansın, ortak varyans ve biricik varyans olarak iki parçaya ayrılması olarak okumak da mümkündür (Brown 2006: 14). Ortak varyans, gözlenen değişkenin diğer gözlenen değişkenlerle paylaştığı ve ortak faktör tarafından açıklanan varyansa karşılık gelirken; biricik varyans diğer değişkenlerinden etkisinde olmayan ve o değişkene özgü değişkenlikle ölçüm hatasından kaynaklanan varyansı içerir (Reyment ve Jvreskog 1996: 76). Biricik varyans yerine literatürde “biricik hata” veya “göstergenin güvenilemezliği” ifadeleri de kullanılmaktadır (Brown 2006: 53).

δ vektörü, x değişkeninde faktör yapısıyla açıklanamayan hataya karşılık gelmektedir. Bu değişken ölçüm hatasıyla belirleme (specific error) hatasının toplamına eşittir (Kaplan 1990: 43). Klasik test kuramında gerçek skorların barındırdığı hata terimine karşılık gelen belirleme hatası (s) ile gösterilir ve ölçüm hatası (e) ile birlikte biricik faktörü oluştururlar (Bollen 1989: 223 ve Reymont ve Jvreskog 1996: 75).

$$\delta = e + s$$

Faktör analizinde çalışılacak faktör sayısının belirlenmesi önemli bir konudur. Her ne kadar araştırmacı hangi değişkenlerle neyi ölçeceğini tasarlasa da, faktörlerin açıklayabildiği varyans oranını, Kaiser'in özdeğer yaklaşımı ve Cattell'in yamaç eğrisi yaklaşımı faktör sayısının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Jöreskog 2007: 49). Faktör yapılarının daha basit gösterimini elde etmek ve her bir gözlenen değişkenin faktör yükü bire eşit olacak şekilde sadece bir faktöre atanmasını sağlamak için faktör döndürme adı verilen işlem yapılır (Kaplan 1990: 46). Bir başka deyişle, iki veya daha fazla faktörlü modellerde faktör matrisinde sıfıra ve bire yakın değerler elde ederek daha anlaşılır ve basit bir yapı elde etmek için faktör döndürülmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Kurulan modelde faktörler arasında bir ilişki olduğu düşünülüyorsa oblik, ilişkisiz oldukları varsayılıyorsa ortogonal döndürme yapılır (Jöreskog 2007: 55). Faktörlerin döndürülmesi ile faktörlere ait varyans, spesifik varyans, kovaryans ve korelasyon matrisleri değişmez, yapılan şey sadece işlemlerin basitleştirilmesidir (Özdamar 2004: 255). Modelin kovaryans matrisi denklem (2.30)' dan yararlanarak oluşturulur. Faktör analizi modelinin tanımlanması ve parametre tahminleri denklem (2.31) da verilen model kovaryans matrisi yardımıyla gerçekleştirilir.

$$\Sigma = E(xx^T) = E[(\Lambda_x \xi + \delta)(\Lambda_x \xi + \delta)^T] = \Lambda_x \Phi \Lambda_x^T + \Theta_\delta \quad (2.31)$$

Biricik (hata) terimlerin kovaryans matrisi Θ_δ ile ifade edilmiştir. Hatalar arası etkileşime izin verilmemesi nedeniyle Θ_δ matrisi köşegen matris olarak Ψ sembolüyle de gösterilmektedir. Tahmin edilecek parametrelerin oluşturduğu küme $\theta = \{\Lambda_x, \Phi, \Theta_\delta\}$ olarak gösterilebilir. Değişken sayısı p ve faktör sayısı k olmak üzere; tahmin edilecek parametre sayısı bilinen değer sayısından çıkarıldığında

modelin serbestlik derecesi $df = \frac{1}{2}[(p - k)^2 - (p - k)]$ olarak bulunur (Brown 2006: 67). Tıpkı yol analizlerinin tanımlanmasında olduğu gibi modelin tanımlı olabilmesi dolayısıyla parametrelerin tahmin edilebilmesi için serbestlik derecesinin sıfırdan büyük olması gerekir.

Faktör yüklerinin belirlenmesi ve parametrelerin tahmini için ihtiyaç duyulan istatistiksel formülasyonlar faktör analizi çalışmalarında oldukça geniş yer tutmaktadır.

Faktör analizinin tahmininde en önemli aşama Lawley (1940,1941) tarafından önerilen EYO tahmin edicisi olmuştur. Tanımlama probleminin olmaması için EYO tahmin edicisinde $\Lambda^T \Theta^{-1} \Lambda$ köşegen matris olmalıdır (Kaplan 1990: 46).

AFA ve DFA, gözlenen değişkenler arasındaki ilişkiyi daha az sayıda faktörle açıklamak konusunda benzeşse de, AFA veri kaynaklı bir yöntemdir ve çalışmaların başlangıç safhasında kullanılacak faktör sayısının ve gözlenen değişkenlerin hangi faktörlerle ilişkilendirileceğinin belirlenmesinde betimsel katkı sağlar (Brown 2006: 14). Oysa DFA, kuramsal bir altyapıdan hareketle değişkenler ve faktörler arasında ve faktörlerin arasında tanımlanan ilişkilerin oluşturduğu yapının eldeki veriyle sınanmasına olanak sağlar. Modelin kuramsal temeli gerektirmesine rağmen, parametreler üzerine herhangi bir sınırlama getirilememesi ve bu nedenle tanımlama problemleriyle karşılaşılması nedeniyle AFA'nın yarattığı problemlerin çoğu doğrulayıcı faktör analizinin (DFA) geliştirilmesiyle aşılmıştır (Long 1983b: 12).

Yapı hakkında ön bir varsayıma karşılık olarak sınırlamalar Λ matrisinin elemanları üzerinden yapılır. Sınırlamaları bozacağından dolayı sınırlandırılmış modellerde döndürme yapılmaz (Kaplan 1990: 49). Göstergelerin atanacağı faktörler önceden belirlendiği için döndürme işlemine gerek duyulmamaktadır (Brown 2006: 43). AFA ve DFA arasındaki benzerlik ve farklılıklardan bir kısmı şu şekilde özetlenebilir (Brown 2006):

- Her iki yöntemde de EYO gibi tahmin yöntemleri kullanılır.
- AFA korelasyon ve standart değerler kullanırken DFA, standart çözümler sunmasının yanında kovaryans matrisini girdi olarak kullanarak

değişkenlerin orijinal birimlerinde yani standardize edilmemiş çözümler de sunmaktadır.

- DFA da AFA nin aksine gösterge hataları arasında etkileşim tanımlanabilir.
- DFA nın diğer önemli bir avantajı çoklu model ve çoklu grup karşılaştırmalarına izin vermesidir.

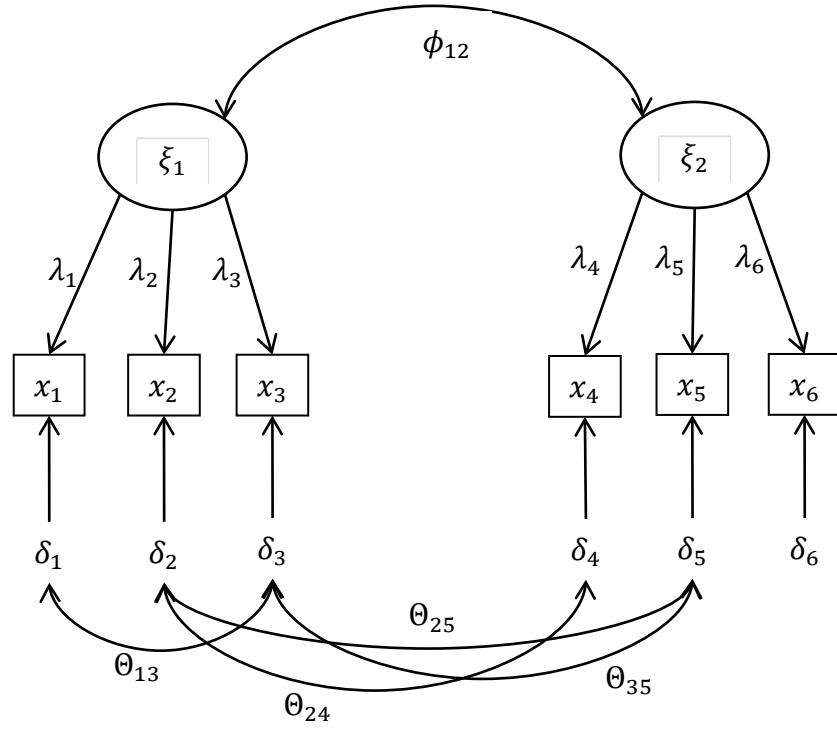
Doğrulamalı Faktör analizinin bahsedilen önemli avantajlarının yanında YEM analiziyle üstesinden gelinen eksikliğinden de bahsedilebilir. DFA, faktörler arasında yapısal ilişkilere imkan vermemesine rağmen aşağıda belirtilen uygulama biçimleriyle önemli bir yöntem olmayı sürdürmektedir (Long 1983b: 17):

- Ölçmeden kaynaklanan hataların bertaraf edilmesi için örtük değişkenlerin tahmin edildiği ölçme modelleri,
- Çok göstergeli faktör modellerinde, birbiriyle ilişkili olduğu düşünülen faktörler arası korelasyonların belirlenmesinde,
- Bir faktörün farklı yöntemlerle ölçüldüğü çok yöntemli modellerde, ölçüm yöntemlerinden kaynaklanan etkilerin belirlenmesinde kullanılır.

2.1.5.1. Doğrulamalı Faktör Analizinde Modelin Belirlenmesi

Kurulan modelde öncelikle bazı varsayım veya önermelerin açıkça belirtilmesi gerekir. Modelde kaç tane faktör olduğu, gözlenen değişken sayısı, faktörler arasında varyans veya kovaryans bulunup bulunmadığı, gözlenen değişkenlerle faktörler arasındaki ilişki, gözlenen değişkenlerle biricik faktörler (hata terimleri) arasındaki ilişki, hata terimleri arasında korelasyonun bulunup bulunmaması, modelin doğru bir biçimde belirlenmesi için gereklidir (Long 1983b: 18).

Doğrulamalı faktör analizine ilişkin iki faktörlü bir örnek model Şekil 2.16.'da verilmiştir.



Şekil 2. 16. İki faktörlü DFA örnek modeli

Gözlenen değişken x ler dikdörtgenler içerisinde, faktörler oval çerçevelerde gösterilir. Gözlenen değişkenlerle faktörleri birbirine bağlayan oklar λ (*Lambda*) faktör yüklerine karşılık gelir. Gözlenen değişkenlerdeki ölçüm hataları δ (*Delta*), hataların varyans ve kovaryansları ise Θ (*Teta*) matrisinin elemanları olarak simgelenir. Faktörlerin varyans kovaryans matrisi ise ϕ (*Phi*) matrisi ile temsil edilir.

Şekil 2.16'daki örnek modelde hangi gözlenen değişkenleri hangi faktörlerle ilişkili olduğu, hangi hata terimleri arasında etkileşim (kovaryans) bulunduğu araştırmacı tarafından ortaya konur ve bu aşamalar modelin belirlenmesi olarak isimlendirilir. Örnek modelde x_1, x_2, x_3 gözlenen değişkenleri birinci faktöre (ξ_1) yüklenmiştir. Hata terimlerinin hangileri arasında etkileşim bulunduğu Θ (*Teta*) elemanlarını temsilen çift yönlü oklarla gösterilmiştir. Her bir gözlenen değişkene ilişkin eşitlikler ve bu denklemlerin toplu gösterimi denklem (2.32)'deki gibidir ve bunlara faktör denklemleri denir.

$$\begin{aligned} x_1 &= \lambda_1 \xi_1 + \delta_1 \\ &\vdots \\ x_6 &= \lambda_6 \xi_2 + \delta_6 \end{aligned} \quad X = \Lambda_x \xi + \delta \quad (2.32)$$

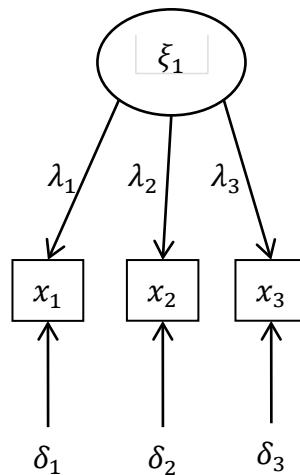
Yol analizinde olduğu gibi DFA modelleri de benzer varsayımlara ihtiyaç duyar. Bunlar; $E(\xi) = 0, E(x) = 0, E(\delta) = 0, E(\delta\xi^T) = 0, E(\delta^T\xi) = 0$ olarak ifade edilir. Ham verilerle, verilerin ortalamalarından farkları kullanılarak elde edilen kovaryanslar birbirlerine eşit olduğundan, ortalamadan fark değerlerinin kullanılması daha yaygındır. DFA analizinde gösterge değişkenlerin ortalamadan farklarının kullanılması kovaryans analizine dayanmaktadır (Brown,2006: 54).

Modelin belirlenmesinde diğer bir aşama kovaryans matrisinin oluşturulmasıdır. Model parametreleri kullanılarak oluşturulan model kovaryans matrisi, gözlenen değişkenlerin kovaryans matrisi ile karşılaştırılarak, modelin tanımlanması ve tahmininde kullanılmaktadır. Modelin kovaryans matrisinin türetilmesi daha önce denklem (2.31)'de verilmiştir. $E(\xi\xi^T) = \Phi, E(\delta\delta^T) = \Theta$ olmak üzere kovaryans matrisi aşağıdaki gibi olur.

$$\Sigma = E(xx^T) = E[(\Lambda_x\xi + \delta)(\Lambda_x\xi + \delta)^T] = \Lambda_x\Phi\Lambda_x^T + \Theta$$

2.1.5.2. Doğrulayıcı Faktör Analizinde Modelin Tanımlanması

Model parametrelerinin tahmin edilmesi ve tahmini parametre değerlerinin doğru biçimde yorumlanabilir olması için kurulan modelin tanımlanabilir olması gerekir (Brown 2006: 62). Modelin tanımlanması, bilinen veriye dayanarak model parametreleri için biricik tahminler türetilmesidir (Bollen 1989: 239). DFA modellerinin tanımlanması Şekil 2.17.'deki örnek model üzerinden açıklanacaktır.



Şekil 2. 17. Tek faktörlü DFA örnek modeli

Şekildeki örnek model için faktör denklemleri ve model kovaryans matrisi aşağıdaki gibi oluşur.

$$\begin{aligned} x_1 &= \lambda_{11}\xi_1 + \delta_1 \\ x_2 &= \lambda_{21}\xi_1 + \delta_2 \\ x_3 &= \lambda_{31}\xi_1 + \delta_3 \end{aligned} \quad x = \Lambda_x \xi + \delta \quad x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \quad \Lambda_x = \begin{bmatrix} \lambda_{11} \\ \lambda_{21} \\ \lambda_{31} \end{bmatrix} \quad \xi = [\xi_1] \quad \delta = \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3 \end{bmatrix}$$

$$E(\xi\xi^T) = \Phi, E(\delta\delta^T) = \Theta \text{ olmak üzere } \Phi = [\phi_{11}] \quad \Theta = \begin{bmatrix} \Theta_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \Theta_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \Theta_{33} \end{bmatrix} \text{ olur.}$$

Örneğe ilişkin matrisler denklem (2.31)'de yerine yazılırsa örnek modelin kovaryans matrisi şu şekilde oluşur.

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \lambda_{11}^2\phi_{11} + \Theta_{11} & \text{sim.} & \text{sim.} \\ \lambda_{21}\lambda_{11}\phi_{11} & \lambda_{21}^2\phi_{11} + \Theta_{22} & \text{sim.} \\ \lambda_{31}\lambda_{11}\phi_{11} & \lambda_{31}\lambda_{21}\phi_{11} & \lambda_{31}^2\phi_{11} + \Theta_{33} \end{bmatrix}$$

Gözlenen değişkenlerin kovaryans matrisi S in elemanları, modelin kovaryans matrisi elemanları ile eşitlenerek her bir parametre için biricik bir çözümün varlığı araştırılır. Şayet böyle bir çözüm bulunabilirse model tanımlanmış olur. Örnek model için gözlenen değişkenlerin kovaryans matrisi

$$S = \begin{bmatrix} \text{var}(x_1) & \text{sim.} & \text{sim.} \\ \text{cov}(x_2, x_1) & \text{var}(x_2) & \text{sim.} \\ \text{cov}(x_3, x_1) & \text{cov}(x_3, x_2) & \text{var}(x_3) \end{bmatrix} \text{ olur. } \Sigma \text{ ve } S \text{ matrislerinin elemanları}$$

birbirlerine eşitlenecek olursa 6 farklı eşitlik elde edilir.

$$\lambda_{11}^2\phi_{11} + \Theta_{11} = \text{var}(x_1) \quad \lambda_{31}\lambda_{11}\phi_{11} = \text{cov}(x_3, x_1) \quad \lambda_{31}\lambda_{21}\phi_{11} = \text{cov}(x_3, x_2)$$

$$\lambda_{21}\lambda_{11}\phi_{11} = \text{cov}(x_2, x_1) \quad \lambda_{31}^2\phi_{11} + \Theta_{33} = \text{var}(x_3) \quad \lambda_{21}^2\phi_{11} + \Theta_{22} = \text{var}(x_2)$$

Eşitliklerin çözülmesiyle parametreler için tek bir çözüm setinin olası olmadığı görülmektedir. Bir başka deyişle parametreler sadece gözlenen değişkenlerin varyans ve kovaryansları cinsinden yazılamamaktadır. Bir modelin tanımlanabilir olduğunu göstermenin en etkili yolu modelin kovaryans denklemlerinin gözlenen değişkenlerin varyans ve kovaryansları cinsinden cebirsel olarak türetilmesidir (Long 1983b: 45).

Daha kapsamlı ve karmaşık modelde her bir parametre için cebirsel çözümün güçlüğü ve uzun süreli çaba gerektirmesi nedeniyle bazı tanımlama koşulları veya kuralları sunulmaktadır (Bollen 1989: 242). Bu koşullar 3 kategoride incelenebilir.

Bunlar; gerekli koşullar, yeterli koşullar, hem gerek hem yeter koşullarıdır. Bir modelin tanımlama için *gerekli* koşulları sağlaması gerekir ancak bu koşulu sağlaması tanımlandığı anlamına gelmez. Bir modelin *yeterli* koşulları sağlaması modelin tanımlı olduğunu gösterir ancak bu koşulu sağlamayan bir model tanımlı değildir denemez (Long 1983b: 42). Hem gerek hem yeter koşulları sağlayan bir model için tanımlıdır, sağlamayan bir model için tanımlanmamıştır denebilir. Cebirsel işlemlerle parametre denklemlerinin örnek kovaryans matrisi elemanlarıyla yazılabilmesi, modelin tanımlı olduğunu söylemek için hem gerek hem de yeter koşuldur. Gerek koşula ise yol analizinde de kullanılan sayma kuralı örnek verilebilir. Sayma kuralına göre örnek kovaryans matrisinde bilinen elemanlar sayısı tahmin edilecek parametre sayısından fazla veya eşit olmalıdır. Şekil 2.17.'deki örnek modelde, 3 gözlenen değişkene ilişkin 6 tane varyans kovaryans değeri elde edilir. Değeri tahmin edilecek parametre sayısı ise, üç tane varyans, 3 tane yük katsayısı ve faktör varyansı olmak üzere 7 tanedir. Dolayısıyla model tanımlı değildir.

Modelde varolan tüm parametrelerin biricik şekilde tahmin edilmesinin olası olmadığı bu tür durumlarda bazı sınırlandırılmalar getirilir. Genellikle gözlenen değişkenlerden en az birinin faktörle ilişkili yükü bire eşitlenerek tahmin edilecek parametre sayısı azaltılır böylece modelin tanımlanması sağlanır. Yapılan bu işleme *ölçeklendirme* denir (Bollen 1989: 240). Tanımlama problemini aşmanın diğer bir yolu da faktörlere ilişkin varyansların bir değere sabitlenmesidir (Long 1983b: 52). Faktörlerin ölçeklendirilmesi için kullanılan bu iki yöntemden ilki yani faktör biriminin bu faktöre ait değişkenlerden birinin birimiyle eşitlenmesi, gruplar arası ölçek değişmezliği ve ölçek güvenilirliği araştırmalarında standardize olmayan çözümler sunması bakımından daha çok tercih edilmektedir (Brown 2006: 63).

Şekil 2.17'deki örnek modelde λ_{11} faktör yükü bire eşitlenecek olursa tahmin edilecek parametre sayısı altıya düşer dolayısıyla modelin tanımlanması için gerekli koşullardan biri olan sayma kuralı sağlanmış olur. Örnek model için yazılan 6 eşitlik taraf tarafa bölünerek her bir parametrenin gözlenen değişkenlerin varyans ve kovaryansları cinsinden yazılabildiği görülür. İki parametrenin cebirsel olarak tanımlanması aşağıda verilmiştir.

$$\frac{\lambda_{31}\lambda_{21}\phi_{11}}{\lambda_{31}\lambda_{11}\phi_{11}} = \frac{cov(x_3, x_2)}{cov(x_3, x_1)} = \lambda_{21}$$

$$\lambda_{21}\lambda_{11}\phi_{11} = cov(x_2, x_1) \Rightarrow \frac{cov(x_3, x_2)}{cov(x_3, x_1)}\phi_{11} = cov(x_2, x_1) \Rightarrow$$

$$\phi_{11} = cov(x_2, x_1) \frac{cov(x_3, x_1)}{cov(x_3, x_2)}$$

Diğer parametrelerin de benzer şekilde tanımlanmasıyla örnek model tanımlanmış olur. Örnek model için bulunan sonuç DFA için *Üç-gösterge* kuralı olarak bilinir. Hataların ilişkisiz olması şartıyla üç ve daha fazla gösterge (gözlenen) değişkene sahip tek faktörlü modeller tanımlıdır. Üç-gösterge kuralı tek faktör için varolan şartlara ilave olarak her gözlenen değişkenin sadece bir faktöre yüklenmesi şartıyla çok-faktörlü modeller için de geçerlidir (Kline 2011: 138).

DFA modelleri için diğer bir tanımlama kuralı *İki-gösterge* kuralıdır. Bu kurala göre iki veya daha fazla faktörlü modeller için her faktörün iki veya daha fazla gösterge (gözlenen) değişkeni varsa bu modeller tanımlıdır. Her bir gözlenen değişkenin sadece bir faktöre yüklenmesi, hatalar arasında korelasyon bulunmaması koşuluna ek olarak ϕ_{ij} elemanlarından en az birinin sıfırdan farklı olması gerekir (Bollen 1989: 247).

Sayma kuralı bir modelin tanımlı olduğunu söylemek için gerekli bir kuraldır ancak yeterli değildir. İki-gösterge ve üç-gösterge kuralları ise modellerin tanımlı olduğunu söylemek için yeterlidir ancak bu kuralları sağlamayan modellerin tanımlı olmadığı söylenemez.

Bir modelin tanımlı olmasının ötesinde fazla tanımlı olması model kovaryans matrisinin daha sağlıklı türetilmesi için tercih edilir bir durumdur çünkü tam tanımlı modeller tek bir parametre seti türetirler ve mükemmel uyum sunarlar (Brown 2006: 70). Bunun sağlanabilmesi için tek faktörlü modeller için en az dört gösterge değişkenin kullanılması gerekmektedir (Kline 2011: 138).

Serbestlik derecesinin sıfırdan büyük olduğu durumlarda bir başka ifadeyle bilinenlerin sayısı bilinmeyenlerden fazla olsa da *deneysel eksik tanımlama* nedeniyle model tanımlanamayabilir. İstatistiksel olarak bir model tanımlı olsa bile, eldeki veri matrisinin yapısı yüzünden biricik parametre tahminleri bulunamıyorsa deneysel

eksik tanımlamadan bahsedilir (Brown 2006: 70). Bu tarz eksik tanımlamaya gösterge değişkenler arasında kovaryans bulunmaması veya faktör yükü biri eşitlenen gösterge değişkenle faktör arasında ilişki bulunmaması neden olabilir.

Jöreskog (1978: 445), tanımlama için ilave bir yöntem olarak bilgi matrisinin kullanımını önermektedir. Bilgi matrisi uyum fonksiyonunun ikinci dereceden türevleri matrisinin beklenen değerinin eksilisidir. Bilgi matrisi tekil ise model tanımlanmamıştır ve matrisin mertebesi hangi parametrelerin tanımlanmadığına işaret eder. Bilgi matrisinin tekil oluşuna, veri setinde çoklu tam doğrusallık bulunması, değişkenler arasında doğrusal bağımlılık bulunması ve küçük hacimli örneklerle çalışılması neden olabilir (Brown 2006: 188). Tanımlı modellerde bilgi matrisi *pozitif tanımlıdır*. Bir M matrisinin pozitif tanımlı olması; elemanları pozitif olan z vektörü yardımıyla elde edilen zMz^T değerinin pozitif olması demektir. Bilgi matrisinin tekil olmaması ise modelin tanımlı olduğunu göstermez yani bu yöntem gerek ve yeter kuralı değildir (Long 1983b: 45).

Bir modelde bir veya daha fazla parametre tahmini öngörülen aralığın dışında bulunmuşsa modelde bir tanımlama probleminin bulunduğu kabul edilir ki buna literatürde *Heywood durumu* denmektedir (Brown 2006: 187). Standart çözüm için faktör yüklerinin birden büyük bulunması ve hata varyanslarının negatif olması heywood durumuna örnek verilebilir.

Gözlenen değişkenlere ilişkin kovaryans değerleri sıfıra yakınsa parametre tahminlerinin standart hataları çok büyür ve bu araştırmacılara modelin tanımlanmaması konusunda ipucu verir (Bollen 1989: 250). Tavsiye edilen diğer bir tanımlama yöntemi ise farklı başlangıç değerleri kullanılarak parametre tahminlerinin tekrarlanmasıdır. Parametre tahminlerinde yakınlık varsa modelin tanımlı olduğu söylenebilir, tahminler birbirlerinden farklı bulunması ise modelin tanımsız olduğuna işaret eder (Bollen 1989: 251).

Bazı DFA modelleri ise standart olarak nitelendirilebilecek şu aşamaya kadar olan modellerden farklılık arz eder. İki-gösterge ve üç-gösterge kurallarının varsayımları olan her bir gözlenen değişkenin sadece bir faktöre yüklenmesi ve hata terimlerinin etkileşimsiz olması birçok modelin kuramsal gerekliliği nedeniyle sağlanamamaktadır. Gösterge değişkenlerin hataları arasında korelasyon

tanımlanması, çok maddeli çalışmalarda maddelerin benzer olması nedeniyledir (Brown 2006: 181).

Birden çok faktöre yüklenen gösterge değişkenin bulunduğu veya göstergelerin hata terimlerinin korelasyonlu olduğu modeller standart olmayan DFA modelleri olarak isimlendirilir. Kline (2011: 140) birden çok faktöre yüklenen göstergeleri *karmaşık-göstergeler* olarak isimlendirmiş ve bu tür standart olmayan modellerin tanımlanması için Kenny vd. (1998) tarafından önerilen kuralları Tablo 2.4.'deki şekliyle özetlemiştir.

Tablo 2.4. Karmaşık Göstergeli DFA Modelleri için Tanımlama Kuralları (Kline 2011: 140)

Hatalar Arası Etkileşimin Bulunduğu DFA Modelleri İçin Tanımlama Kuralları	
Her faktör aşağıdakilerden en az birini sağlamalıdır.	
1.Hataları birbirleriyle korelasyonsuz en az üç tane göstergeye sahip olmalıdır.	
2.Hataları birbirleriyle korelasyonsuz en az iki göstergeye ilaveten;	Kural-1
a)Ya; Bu iki göstergenin hataları farklı bir faktörün göstergelerinin hatasıyla ilişkisiz olmalı,	
b)Ya da; bu iki göstergenin yükleri birbirine eşitlenmelidir.	
Farklı faktörlerin göstergeleri olmak üzere en az iki gösterge hatası ilişkisiz olmalıdır.	Kural-2
Her gösterge için en az bir tane, hatasıyla ilişkisiz olduğu başka bir gösterge olmalıdır.	Kural-3
Birden Çok Faktöre Yükleminin Bulunduğu DFA Modellerinde Tanımlama Kuralları	
Çoklu yüklemenin yapıldığı her faktör Kural-1'i sağlamalıdır.	Kural-4
Bu yüklemenin yapıldığı faktör çiftleri Kural-2'yi sağlamalıdır.	
Karmaşık göstergenin yüklendiği her faktör için, karmaşık göstergenin hatasıyla ilişkisiz olan ve tek bir faktöre atnmış bir gösterge bulunmalıdır.	Kural-5

Birden çok faktöre atanan gösterge değişkenin ve hatalar arası korelasyonun bulunduğu modeller tanımla problemi riskini artırmaktadır (Brown 2006: 203).

2.1.5.3. Doğrulayıcı Faktör Analizinde Model Parametrelerinin Tahmini

DFA'da tahmin süreci, örnek veri kullanılarak model parametrelerinin tahmin edilmesini içerir (Long 1983b: 35). Yapılan işlem, girdi matrisini (S) en iyi şekilde türetecek tahmini kovaryans matrisi (Σ) elde etmek için parametre değerleri bulmaktır (Brown 2006: 72). S matrisi gözlenen değişkenlerin kovaryanslarını içerir, şayet standardize edilmiş veriler kullanılıyor ise bu matrisin elemanları gözlenen değişkenlerin korelasyonlarından oluşur. Anakütle kovaryans matrisi ise denklem

(2.31) daki şekliyle anakütle parametrelerini içerir ($\Sigma = \Lambda_x \Phi \Lambda_x^T + \Theta$). Tahmin aşaması, S gözlenen değişkenler kovaryans matrisine mümkün olduğunca yakın anakütle kovaryans matrisi (Σ) tahmini bulma sürecidir. S matrisine yeterince yakın bir Σ matrisi bulunmuşsa, bu matrisin parametreleri (Λ, Φ, Θ) anakütle parametrelerinin makul tahmin edicileri olarak kabul edilir. Bulunan tahmini anakütle matrisin ne ölçüde örnek kovaryans matrisine “yakın” olduğunu ölçen fonksiyona uyum veya uzaklık fonksiyonu adı verilir ve $F(\Sigma, S)$ şeklinde gösterilir. Bu fonksiyon için literatürde karşılaşılan diğer bir isimlendirme de kayıp fonksiyonudur (Bentler ve Bonnet 1980: 590).

Doğrulamalı faktör analizinde en çok kullanılan tahmin fonksiyonları; Ağırlıklandırılmamış en küçük kareler yöntemi (AEK), En yüksek olasılık (EYO) ve Genelleştirilmiş en küçük kareler (GEK) yöntemleridir (Long 1983b: 57). EYO, GEK ve AEK tahmin yöntemleri, gözlenen değişkenler için yapısal eşitlik modellemesi diğer bir ifadeyle yol analizi bahsinde izah edildiği şekliyle DFA da da kullanılmaktadır; (Bollen 1989: 254).

Açıklayıcı faktör analizindeki temel bileşenler yönteminin doğrulamalı faktör analizi karşılığı olarak düşünülebilecek AEK tahmin edicisi, tutarlı bir tahmin edicidir ve büyük örneklerde kullanıldığında yansızdır. Herhangi bir dağılıma uygunluk koşulu gerektirmemesi avantajına sahip olsa da, tahminin doğruluğuna ilişkin bir test bulunmaması ve tahminin ölçekten bağımsız olmaması bu yöntemin dezavantajlarıdır (Long 1983b: 57). GEK ve EYO tahmin edicileri ise ölçekten bağımsız olmaları ve asimptotik özellik göstermeleri bakımından doğrulamalı faktör analizinde tahmin edici olarak kullanılırlar. Şayet x gözlenen değişkenleri normal dağılıyorsa örnek hacmi büyüdükçe parametre tahminleri anakütle parametrelerine yaklaşır, tahmin edicinin örnek dağılımı varyansı azalır ve normal dağılıma yaklaşır (Long 1983b: 59). Örnek hacminin büyümesiyle gözlenen bu özelliklere asimptotik özellik denir. EYO tahmin edicisi büyük hacimli örneklerle ihtiyaç duyar, göstergeler çok değişkenli normal dağılım göstermeli ve en az aralık ölçeğinden elde edilmiş olmalıdırlar. EYO tahmincisinin DFA tahmininde yaygın kullanımının nedenlerinden birisi de, birçok uyum indeksinde kullanılabilmesi ve parametre tahminlerinin testi için ihtiyaç duyulan tahmin hatalarını vermesi gibi istatistiksel üstünlükleridir (Brown 2006: 75).

AEK, GEK ve EYO yönteminin uzaklık fonksiyonları denklem (2.33)'de verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 F_{AEK} &= \frac{1}{2} \text{tr}[(S - \Sigma)^2] \\
 F_{GEK} &= \frac{1}{2} \text{tr}[(S - \Sigma)^2 S^{-1}] \\
 F_{EYO} &= [\log|\Sigma| - \text{tr}(S\Sigma^{-1})] - \log|S| - (p + q)
 \end{aligned} \tag{2.33}$$

AEK ve GEK tahmin edici fonksiyonları arasındaki tek fark, kareler toplamının örnek kovaryans matrisi ile ağırlıklandırılmasıdır. Her üç fonksiyon için de; kovaryans matrisleri arasında mutlak bir uyum var ise yani S matrisine çok yakın bir Σ matrisi bulunmuşsa fonksiyon değeri sıfır olur. Denklemden verilen fonksiyonların minimize edilebilmesi için örnek kovaryans matrisi S'e yakın model kovaryans matrisi (Σ) elde edilmeye çalışılır. Böylelikle Σ matrisinin elemanları yani parametreler tahmin edilmiş olunur. Doğrulayıcı faktör analizinde EYO tahmin edicisinin yaptığı şey “Aynı popülasyondan verinin tekrar elde edilebilmesi olasılığını maksimize eden model parametre tahminlerini bulmaktır” (Brown 2006: 73).

Tahmin aşamasında fonksiyonu minimize eden tahmini parametre değerlerinin mantıkdışı bulunması (negatif varyanslar, birden büyük korelasyonlar vb.), yetersiz örnek hacmi büyüklüklerine veya model belirleme hatalarına işaret eder (Long 1983b: 60).

Cudeck (2000,276), değişkenler için normallik varsayımı sağlanıyorsa ve 50 den az değişken var ise EYO tahmin edicisinin kullanılması önerilmektedir; çok sayıda değişken bulunması durumunda ise iteratif olmayan yöntemlerin varlığından bahsetmektedir. EYO tahmin edicisi Heywood durumuna daha duyarlıdır ve model belirleme hatası içeren modellerde hatalı sonuçlar türetmeye daha yatkındır. (Brown 2006: 75).

Sürekli dağılmış ama normal olmayan gösterge değişkenli büyük hacimli modellerde EYO tahmin edicisi yerine uyarlanmış EYO yöntemi, kategorik gösterge içeren modellerde ise dağılımdan bağımsız tahmin edicisi (ADF) yöntemleri geliştirilmiştir (Brown 2006: 76).

Model parametrelerinin tahmini için kullanılan fonksiyonlar iteratif (yinelemeli) özellik gösterir. Yani tahmini model kovaryans matrisi için başlangıç değerleriyle işleme başlanır ve kovaryans matrisleri arasındaki uzaklık her bir yenilemede azaltılmaya çalışılır. Yinelemeli bu işlemin güçlüğü nedeniyle bilgisayar yardımına ihtiyaç duyulur ve parametre tahminleri için uygun başlangıç değerleri alınması sonuca ulaşmayı çabuklaştırır. Ardışık iki işlemle bulunan parametre tahminleri arasında fark çok azsa en iyi tahmine ulaşılmış olunur. Ardışık parametre tahminlerinin bir noktada yakınsamaması ise aşağıda belirtilen durumlardan kaynaklanabilir (Bollen 1989: 255; Brown 2006: 74):

- Ardışık tahminler arasındaki kabul edilebilir ve yeterli farkın belirlenmemesi.
- İterasyon sayısının düşük tutulması.
- Başlangıç değerlerinin parametre tahminleriyle tutarsız belirlenmesi. Örneğin tahmin edilecek faktör varyanslarına ilişkin başlangıç değerlerinin, o faktöre eşitlenen gösterge değişkenin varyansından büyük belirlenmesi.
- Model belirleme hatalarının ve kovaryans matrisinde örnekleme hatalarının bulunması.
- Örnek hacminin düşüklüğü.

2.1.5.4. DFA’da Model Uyumunun Değerlendirilmesi ve Uyum İndeksleri

İlk geliştirilen uyum indeksi olan χ^2 , aşağıda belirtilen eksiklikleri nedeniyle model uyumunda tek başına bir kriter olarak uygulamalarda nadiren kullanılmaktadır (Brown 2006: 81):

- Küçük hacimli normal dağılmayan veriler χ^2 dağılımı göstermez.
- Model kovaryans matrisi ile örnek kovaryans matrisinin göz ardı edilebilecek farklılıklarında bile, örnek hacmi büyüdükçe hipotezin reddine neden olur.
- Kovaryans matrisleri arasında makul bir farklılığı gözetmeyecek derecede iki matrisin mutlak eşitliğine dair bir hipotez kullanır.

Model uyumunun değerlendirilmesindeki iki geleneksel yaklaşım; Ki kare uyum istatistikleri ve uyum indeksleridir (Hu ve Bentler 1999: 2).

2.1.5.4.1. Ki-kare Testi

S ile uydurulmuş kovaryans matrisi $\hat{\Sigma}$ arasındaki uzaklık, daha iyi parametre tahminleri yapmanın yanında model geçerliliğine ilişkin bir indeks de oluşturmaktadır (Bentler ve Bonnet 1980: 590).

$nF(S, \hat{\Sigma})$, serbest değişkenlerin sayısından, tahmin edilecek parametrelerin çıkarılmasıyla $[p(p+1)/2] - q$ bulunan serbestlik dereceli asimptotik ki-kare dağılımına sahiptir. Ki-kare dağılımı doğrudan örnek sayısı n ile ilişkili olduğundan büyük hacimli örnekler için büyük ki-kare değerleri sunar ve model doğru olsa bile reddedilmesiyle sonuçlanır (Bentler ve Bonett 1980: 591). Uyum indeksleri $\Sigma = \Sigma(\theta)$ hipotezini sınamaktan çok tıpkı çok değişkenli regresyondaki R^2 gibi modelin verideki varyans ve kovaryansları ne ölçüde açıkladığını belirtir (Hu ve Bentler 1998: 426).

Hu ve Bentler (1998), uyum indekslerinin temel olarak karşılaştırmalı ve mutlak uyum indeksleri olarak iki sınıfta ele alındığını belirtip karşılaştırmalı uyum indeksleri için 3 farklı tür sınıflandırmış ve sınırlandırılmış parametreler için farklı uyum indekslerinin duyarlılık analizini yapmıştır. Mutlak uyum indeksleri modelin bir bütün olarak eldeki veriye uygunluğunu bir başka deyişle modelin eldeki veriyle doğrulanıp doğrulanamayacağını sınamasını yapar. Karşılaştırmalı uyum indeksleri ise bağımsız modelle eldeki sınırlandırılmış modeli kıyaslar. Karşılaştırmalı uyum indeksleri için Hu ve Bentler (1998) üç farklı tür tanımlamıştır. İlk tür, dağılımın önemli olmadığı sadece χ^2 değerleri kullanan indislerdir. İkinci tür olarak merkezi χ^2 dağılımı varsayan indeksler ve üçüncü tür olarak da merkezi olmayan χ^2 dağılımı temelli indekslerdir. Literatürde bulunan uyum indeksleri, özellikleri, formülleri ve geliştiricileriyle beraber Tablo 2.5.'te verilmiştir.

Tablo 2.5. Bazı Uyum İndeksleri (Hu ve Bentler,1998'den uyarlanmıştır.)

FORMÜL	TÜR	ÖZELLİK	GELİŞTİRİCİ
Karşılaştırmalı İndeksler			
$NFI = \chi_0^2 - \chi_m^2 / \chi_0^2$	1	(0,1)	Bentler ve Bonett (1980)
$BL86 = [(\chi_0^2 / df_0) - (\chi_m^2 / df_m)] / (\chi_0^2 / df_0)$	1	(0,1)	Bollen (1986)
$TLI = [(\chi_0^2 / df_0) - (\chi_m^2 / df_m)] / [(\chi_0^2 / df_0) - 1]$	2	Normsuz	Tucker ve Lewis (1973)
$BL89 = (\chi_0^2 - \chi_m^2) / (\chi_0^2 - df_m)$	2	Normsuz	Bollen (1989)
$RNI = [(\chi_0^2 - df_0) - (\chi_m^2 - df_m)] / (\chi_0^2 - df_0)$	3	Normsuz, Merkezi olmayan	McDonald ve Marsh (1990)
$CFI = 1 - \max[(\chi_m^2 - df_m, 0)] / \max[(\chi_m^2 - df_m), (\chi_0^2 - df_0), 0]$	3	(0,1), Merkezi olmayan	Bentler (1989,1990)
Mutlak İndeksler			
$GFI_{ML} = 1 - [tr(\Sigma^{-1}S - I)^2 / tr(\Sigma^{-1}S)^2]$		(-,1)	Jöreskog ve Sörbom (1984)
$AGFI_{ML} = 1 - [p(p+1)/2df_0](1 - GFI_{ML})$		(-,1)	Jöreskog ve Sörbom (1984)
$\hat{\Gamma} = p / \{p + 2[(\chi_m^2 - df_m) / (N - 1)]\}$		Dağılım biliniyor, merkezi olmayan	Steiger (1989)
$CAK = [\chi_m^2 / (N - 1)] + [2q / (N - 1)]$			Cudeck ve Browne (1983)
$CK = [\chi_m^2 / (N - 1)] + [2q / (N - p - 2)]$			Browne ve Cudeck (1989)
$Mc = \exp\{-1/2[(\chi_m^2 - df_m) / (N - 1)]\}$		merkezî olmayan, (0,1)	McDonald (1989)
$CN = \{z_{kd} + \sqrt{2df - 1}\}^2 / [2\chi_m^2 / (N - 1)] + 1$		CN>200 iyi uyum	Hoelter (1983)
$SRMR = \sqrt{\left\{2 \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^i [(s_{ij} - \hat{\sigma}_{ij}) / (s_{ii} s_{jj})]^2\right\} / p(p+1)}$			Jöreskog ve Sörbom (1984) Bentler (1995)
$\hat{F}_0 = \max[\chi_m^2 - df_m / (N - 1), 0]$ ise $RMSEA = \sqrt{\hat{F}_0 / df_m}$		Dağılım biliniyor, merkezi olmayan	Steiger (1989) Steiger ve Lind (1980)

Farklı uyum indekslerinin gelişimini motive eden temel etmenler şunlardır (Kaplan 1990: 107).

1. Olabilirlik Oranı Ki-kare değerinin büyük örneklem hacimlerine karşı duyarlı oluşu
2. Model için tam bir uyum arayışı
3. Modelin çapraz geçerlilik yeterliliği üzerine odaklanma

Model uyumunu değerlendirirken kullanılan indislerinin farklı sonuç vermeleri ve hangi indisin hangi durumlarda kullanımının daha iyi sonuç vereceğine ilişkin çalışmada Hu ve Bentler (1998), model belirleme hatalarına, örnek hacmine, tahmin yöntemine, değişkenlerin normallik ve bağımsızlık varsayımlarını sağlamalarına göre uyum indislerinin hassasiyetini değerlendirmiştir.

Model Belirleme hatası iki şekilde oluşur: Aslında etkisi olmayan yani değeri sıfır olan bir veya daha çok parametre tahmin ediliyorsa ki buna fazla belirlenme, parametre değeri tahmin edilmesi gerekirken sıfıra eşitlenen parametrelerin bulunması ki bu duruma da eksik belirlenme denir (Hu ve Bentler 1998: 427).

2.1.5.4.2. Karşılaştırmalı Uyum İndeksleri

Temel bir modele göre uyum karşılaştırması yapan ve modelin karmaşıklığına ceza öneren uyum indeksleridir. Tüm parametrelerin tahmin edileceği ve tam bağımsız modeli temel model olarak kabul edip, eldeki modelin temel modele göre ne kadar iyileştirme sunduğunu ölçen bu indisler sıfır ile bir arasında değer alacak şekilde ölçeklendirmişlerdir. Temel modele göre yapılan bu uyum karşılaştırmalarında genel eğilim 0,95 değerini iyi bir uyum için alt sınır kabul eder ve bu değer 1 olması mutlak bir uyumu belirtir (Kaplan 1999: 107). Eldeki sınırlandırılmış modelin karşılaştırılacağı başlangıç veya sıfır modelinin bağımsızlık kriterini sağlaması yani değişkenlerin bağımsız olması ve sabit varyanslı olmaları karşılaştırmalı uyum indeksleri için hayati önemdedir (Bentler ve Bonett 1980: 604).

NFI (Normlandırılmış Uyum İndeksi):

Bentler ve Bonnet (1980) tarafından önerilen bu indekste χ_0^2 tam bağımsız modelin ki kare değeri, χ_m^2 alternatif modelin ki kare değeri olmak üzere:

$$NFI = \frac{\chi_0^2 - \chi_m^2}{\chi_0^2}$$

0,95 üzeri uyum iyi kabul edilir. Örneklem hacmi büyük olmadığı durumlarda model doğru olsa bile NFI değeri 1'e yaklaşmamaktadır (Bayram 2010: 74).

TLI (Tucker Lewis İndeksi):

Tucker ve Lewis (1973) faktör analizi için geliştirdikleri TLI' yı sonra YEM için genişletmişlerdir (Schumacker ve Lomax 2010: 88). Bu indeks, Normlandırılmamış Uyum İndeksi (NNFI) olarak da bilinmektedir. NFI'nın, küçük hacimli örnekler için uyum değerini yakalayamamasına karşın TLI indeksinde serbestlik dereceleri dahil edilerek bu problem aşılmaya çalışılmıştır.

$$TLI = \frac{(\chi_0^2 / df_0 - \chi_m^2 / df_m)}{\chi_0^2 / df_0}$$

İndeks değeri genelde 0 ile 1 değeri arasında olmasına rağmen bu sınırlar dışında da bulunabilir (Kaplan 1990: 108).

RNI (Görelî Merkezi Olmama İndeksi):

NFI ve TLI indeksleri sıfır başlangıç hipotezinin doğruluğundan hareket ederek merkezi ki-kare dağılımı varsayarlar. Test istatistiğinin merkezi olmayan ki-kare dağılımıyla ve merkezi olmama parametresi λ ile hesaplandığı, görelî merkezi olmama indeksi (RNI) McDonald ve Marsh (1990) tarafından önerilmiştir.

$$RNI = \frac{(\chi_0^2 - df_0) - (\chi_m^2 - df_m)}{(\chi_0^2 - df_0)}$$

RNI değerinin 0–1 aralığı dışında bulunmasına ilişkin bir düzeltme Bentler ve Bonett (1990) tarafından yapılmış ve Karşılaştırmalı uyum indeksi (CFI) oluşturulmuştur (Kaplan 1990: 109).

CFI (Karşılaştırmalı Uyum İndeksi):

$$CFI = 1 - \frac{(\chi_m^2 - df_m)}{(\chi_0^2 - df_0)}$$

Parsimony Temelli Uyum İndeksleri:

Tahmin edilecek parametre sayısını hesaba katacak şekilde bahsedilen uyum indeksleri uyarlanmış ve yeni uyum indeksleri elde edilmiştir. Parsimony temelli uyum indekslerinde birisi Mulaik vd. (1989) tarafından önerilen Parsimony NFI dir.

$$PNF = \frac{df_m}{df_0} NFI$$

2.1.5.4.3. Uyum İndeksleri Değerlendirme

Hu ve Bentler (1998: 446)'e göre iyi bir uyum indeksi, örnek hacmi, dağılım ve tahmin yönteminden önce modelin hatalı belirlenmesinden etkilenen uyum indeksidir.

CAK, CK ve CN indeksleri sadece örnek hacmine duyarlı oldukları; NFI ve BL86 ise, EYO ve GEK tahmin edicileriyle beraber yine sadece örnek hacmine duyarlı oldukları için kullanılmaları tavsiye edilmez. Aynı şekilde GFI ve AGFI, tahmin yöntemlerinin bazılarında örnek hacmine bazılarında dağılıma duyarlı olduklarından uyum indeksi olarak sağlıklı sonuç vermeyeceği ifade edilmiştir. (Hu ve Bentler 1998: 446).

TLI, BL89 ve CFI indeksleri model belirleme hatalarına ve tahmin yöntemlerine duyarlı olduklarından, özellikle örnek hacminin 250 den küçük olduğu durumlarda EYO tahmin edicisiyle kullanılması tavsiye edilmektedir (Hu ve Bentler 1998: 446). $\hat{\Gamma}$, Mc, RMSEA indeksleri EYO ve GEK tahmin edicileriyle beraber model belirleme hatalarına duyarlılığından dolayı kullanılabilirler (Hu ve Bentler 1998: 447). Model belirleme hatalarına en duyarlı bulunan SRMR indeksi tahmin edicilerin tümünde tavsiye edilmekle beraber özellikle küçük örnek hacimlerinde (N<250) EYO tahmin edicisiyle en iyi sonuçları vermektedir.

Küçük örnek hacimlerinde RMSEA indeksinin doğru modeli de reddetmesi olasıdır. İndekslerin çoğu için EYO tahmin edicisi GEK ve ADF tahmin edicilerine göre daha iyi sonuç vermektedir (Hu ve Bentler 1999: 4). Örnek hacminin büyük olduğu modellerde tahmin edici olarak ADF kullanılıyorsa, SRMR indeksinin yanında TLI, BL89, RNI veya CFI indekslerinden biri de destekleyici olarak kullanılmalıdır. İkinci ve üçüncü tür karşılaştırmalı uyum indeksleri birinci türe göre tahmin yöntemleri açısından, büyük örnek hacimlerinde ve belirlenme hatalarının olmadığı durumlarda daha benzer sonuçlar üretirler. GFI, AGFI, CAK ve CK indekslerinde tahmin yöntemlerinin etkisi yoktur. Model belirleme hatasının artması merkezi olmayan dağılım varsayan indeksleri diğer karşılaştırmalı uyum indekslerine

göre daha fazla etkilemektedir. SRMR özellikle hatalı belirlenen faktör kovaryans matrislerine veya hatalı faktör yapılarına karşı hassasiyet gösterir. TLI, BL89, RNI, CFI, $\hat{\Gamma}$, Mc, RMSEA indeksleri ise hatalı belirlenen faktör yüklemelerine karşı hassastır dolayısıyla Hu ve Bentler (1998: 447) araştırmacılara iki indeksli bir strateji önermektedirler. SRMR nin mutlaka bulunması kaydıyla, örnek hacimlerine duyarlılıkları göz önünde bulundurularak EYO temelli TLI, BL89, RNI, CFI, $\hat{\Gamma}$, Mc, RMSEA indekslerinden birisi de değerlendirmeye alınmalıdır (Hu ve Bentler1999: 5).

Hu ve Bentler (1999: 27) indeksler için en uygun kritik değerleri bulmak için yaptıkları çalışmada; EYO temelli TLI, BL89, RNI, CFI, $\hat{\Gamma}$ için 0,95, Mc indeksi için 0,90, RMSEA için 0,06 ve SRMR için 0,08 değerlerini en uygun kritik değerler olarak bulmuşlardır. Bu değerler, birinci tip hatayı katlanılabilir bir düzeyde tutarak ikinci tip hatayı en aza indiren sonuçlar üretmişlerdir.

2.1.6 Yapısal Model

Yapısal eşitlik modeli, faktör analizi ve yol analizin kapsamlı bir metodoloji içinde ilişkilendirilmesidir ki bunun mantığı yansızlık ve örnek değişkenliği açısından daha iyi parametre tahminleri elde ederek ölçüm hatalarından kaynaklanan problemlerin hafifletilmesidir (Kaplan 1990: 54). Ölçüm modelinin yol analizine eklenmesi model uyumunun testi için serbestlik derecesinde artışa yol açarak, gerçekte iyi tanımlanmış bir yapısal modelin ölçüm modelindeki bir hata nedeniyle kabul edilemez bulunmasıyla sonuçlanabilir (Kaplan 1990: 54).

2.1.6.1. Genel Yapısal Eşitlik Modelinin Belirlenmesi

Yapısal eşitlik modelindeki her denklem, deneysel anlamından öte değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisine karşılık gelir (Jöreskog,Sörbom 1982: 404).

$\eta = (\eta_1, \mu_2, \dots, \eta_m)$ ve $\xi = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$ vektörleri sırasıyla bağımlı ve bağımsız örtük değişkenlere ilişkin vektörler olmak üzere yapısal eşitlik modelinin genel denklemi şu şekildedir.

$$\eta = B\eta + \Gamma\xi + \zeta$$

Denklemde η (Eta) $m \times 1$ içsel örtük değişkenler vektörü, ξ (Ksi) $n \times 1$ dışsal örtük değişkenler vektörü, B (Beta) içsel örtük değişkenlerin birbiriyle ilişkisini gösteren $m \times m$ boyutlu regresyon matrisi, Γ (Gamma) $m \times n$ boyutlu ξ dışsal değişkenin η içsel değişkenler üzerindeki doğrudan nedensel etkilerine karşılık gelen regresyon matrisi, ζ (Zeta) ise kalıntılara, denklemdeki hatalara karşılık gelen $m \times 1$ boyutlu etki terimleri vektörüdür.

ζ ve ξ 'nin ilişkisiz olduğu ve $(I-B)$ matrisinin tekil olmadığı yani tersinin bulunabileceği varsayılır. ξ ve η gözlenen değişken değişimlerdir ve gözlenen değişkenlerden yani $y = (y_1, y_2, \dots, y_p)$ $x = (x_1, x_2, \dots, x_q)$ yararlanılarak bulunurlar. Örtük değişkenler gözlenen değişkenlere ölçme modeli aracılığıyla aşağıdaki denklemlere bağlanırlar.

$$y = \Lambda_y \eta + \varepsilon \quad \text{ve} \quad x = \Lambda_x \xi + \delta$$

Λ_y ve Λ_x sırasıyla $p \times m$ ve $q \times n$ boyutlu faktör yükü veya gözlenen değişkenlerin örtük değişkenler üzerindeki regresyon matrisleridir. ε ve δ sırasıyla $p \times 1$ ve $q \times 1$ boyutlu y ve x de yapılan ölçme hatalarını veren vektörleridir.

Yapısal model için yazılan genel denklem ve ölçme modeli için yazılan denklemler, modelin türüne göre yapısal eşitlik modelleri dışında diğer istatistiksel modeller için de kullanılabilir. Örneğin içsel değişkenin bulunmadığı bir modelde y değişkenleri ve dolayısıyla η bulunmayacaktır. Denklemler buna göre düzenlenildiğinde $x = \Lambda_x \xi + \delta$ eşitliğine ulaşır, bu; klasik faktör analizi modelidir (Jöreskog ve Sörbom 1982: 405).

Aynı şekilde x in yani ξ lerin bulunmadığı durumlarda ise

$$\eta = B\eta + \zeta$$

$$y = \Lambda_y \eta + \varepsilon$$

Denklem sistemine ulaşılır. Bu model ise faktörler arasında yapısal ilişkilerin bulunduğu faktör analizi modelidir.

Modelde x değişkenlerinin ve B matrisinin bulunmadığı durumlar ikinci dereceden faktör analizi modeline denktir ve yapısal denklem şu şekilde oluşur:

$$y = \Lambda_y(\Gamma \xi + \zeta) + \varepsilon$$

2.1.6.2. Kovaryans Matrisi nin (Σ) Oluşturulması

Φ ve Ψ sırasıyla $n \times n$ ve $m \times m$ boyutlu ξ ve ζ nin kovaryans matrisleri, Θ_ε ve Θ_δ sırasıyla $p \times p$ ve $q \times q$ boyutlu ε ve δ nin kovaryans matrisleri, $\Theta_{\delta\varepsilon}$, ε ve δ arasındaki kovaryans matrisi ve $A = (I - B)^{-1}$ olmak üzere modelin kovaryans matrisi Σ formülü aşağıdaki gibi oluşur (Jöreskog,1994: 299).

Kaplan (1990: 56)'ya göre yapısal eşitlik modeli, genel kovaryans yapı modellerinin özel bir durumu olarak kabul edilebilir.

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \Sigma_{yy} & \Sigma_{yx} \\ \Sigma_{xy} & \Sigma_{xx} \end{bmatrix}$$

$$\Sigma = \begin{pmatrix} \Lambda_y A(\Gamma \Phi T^T + \Psi) A^T \Lambda_y^T + \Theta_\varepsilon & \Lambda_y A \Gamma \Phi \Lambda_x^T + \Theta_{\delta\varepsilon}^T \\ \Lambda_x \Phi \Gamma^T A^T \Lambda_y^T + \Theta_{\delta\varepsilon} & \Lambda_x \Phi \Lambda_x^T + \Theta_\delta \end{pmatrix}$$

Modele ilişkin kovaryans matrisinin yukarıdaki formülle bulunabilmesi için bazı varsayımlara ihtiyaç duyulur. (Jöreskog,1994: 299)'a göre bu varsayımlar şöyle sıralanabilir:

1. ζ ile ξ ilişkisizdir.
2. ε ile η ilişkisizdir.
3. δ ile ξ ilişkisizdir.
4. ζ hem ε hem de δ ile ilişkisizdir.
5. $(I - B)$ matrisi tekil değildir.

İki farklı şekilde standartlaştırma yapılabilir. Modelin sadece yapısal bölümüne standartlaştırma yapılırsa yapısal katsayıların kıyaslanmasına olanak sağlar. Modelin tüm değişkenlerine standartlaştırma yapılırsa modeldeki tüm parametrelerin karşılaştırılması mümkün olur.

Jöreskog ve Sörbom (1989: 38-39) ölçek faktörlerini aşağıdaki gibi göstermiştir.

$$D_{\eta} = \left\{ \text{diag} \left[(I - B)^{-1} (\Gamma \Phi \Gamma^T + \Psi) (I - B)^{-1T} \right] \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$D_{\xi} = (\text{diag} \Phi)^{\frac{1}{2}}$$

$$D_y = \left\{ \text{diag} \left[\Lambda_y (I - B)^{-1} (\Gamma \Phi \Gamma^T + \Psi) (I - B)^{-1T} \Lambda_y^T + \Theta_{\varepsilon} \right] \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$D_x = \left\{ \text{diag} \left[\Lambda_x \Phi \Lambda_x^T + \Theta_{\delta} \right] \right\}^{\frac{1}{2}}$$

Denklemlerdeki (diag) işlevi belirtilen matrislerin köşegen elemanına karşılık gelmektedir. Sadece örtük değişkenler standardize edilirse bu değişkenlerin varyansları 1'e eşitlenir gözlenen değişkenler orijinal metrik değerlerinde kalırlar. Tam bir standardizasyonda ise tüm değişkenlerin varyansları 1 olacak şekilde ölçeklendirilir (Kaplan 1990: 59).

2.1.6.3. Yapısal Eşitlik Modeli için Bazı Varsayımlar

Yapısal eşitlik modellerinde de doğru çıkarsamalar yapabilmek için diğer istatistiksel yöntemler gibi bazı varsayımların sağlanması beklenir. Çok değişkenli normallik, eksik veri, örnek hacmi, model belirleme, dışsallık bunlarda bazılarıdır (Kaplan 1990: 79).

Örnekleme Varsayımları:

Doğru çıkarımlarda bulunabilmek ve parametre tahminleri yapabilmek için örneklemenin nasıl yapıldığı önemlidir. Özellikle EYO tahmin edicisi verinin rasgele örnekleme ile elde edildiğini varsaydığından gözlemlerin bağımsız olması ve rasgele örnekleme yapılmış olması sonuçların yansızlığı açısından gereklidir (Kaplan 1999: 80).

Normallik Varsayımı:

Yapısal eşitlik modelinin standart uygulamaları, gözlemlerin sürekli ve çok değişkenli normal dağılım gösteren bir ana kütleden elde edilmiş olduğu temel varsayımına dayanır. EYO tahmin edicisi doğrudan normal dağılımdan

türetildiğinden verilerin normal dağılmış olması ve sürekli olmasına duyarlıdır (Kaplan 1990: 80, Jöreskog ve Sörbom 1982: 405). Veriler normal dağılıma uymuyorsa ve örtük değişkenler arasında bağımlılık söz konusu ise Normal dağılım temelli tahmin yöntemleri güvenilir sonuç vermektedir ve böyle durumlarda tahmin edici fonksiyonu olarak ADF nin kullanılması uygundur (Hu vd., 1992: 358).

Belirleme hataları:

Modelde ihmal edilen değişkenler, dışsal değişkenler ile hata terimleri arasında korelasyona yol açarak, parametre tahminlerinin yanlı bulunmasına neden olurlar (Kaplan 1990: 96). Modelin bir bölümünde yapılan hatanın modelin diğer bölümlerine yayılmasına *yayılım hatası* denir. Modelin belirlenmesinde yayılım hatası, asimptotik bağımsızlık ve ayrılabilir hipotezler kavramlarıyla yakından ilişkilidir (Kaplan 1990: 97). Kaplan ve Wenger (1993), Wald testini kullanarak iki parametrenin kısıtlandığı modelde parametreler için bağımsızlık incelemesi yapmışlardır. ω_1 ve ω_2 sınırlandırılan parametrelere, V_1 ve V_2 parametrelerin varyanslarına, C_{21} kovaryanslarına karşılık gelmek üzere W_{21} test istatistiği aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$W_{21} = n \begin{bmatrix} \omega_1 & \omega_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{var}(\omega_1) & \text{cov}(\omega_2, \omega_1) \\ \text{cov}(\omega_1, \omega_2) & \text{var}(\omega_2) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \end{bmatrix} \quad (V_1 V_2 - C_{21}^2 = D \text{ olmak üzere})$$

$$W_{21} = \frac{n}{D} [\omega_1^2 V_2 - \omega_1 \omega_2 C_{21} - \omega_1^2 C_{21} + \omega_2^2 V_1]$$

Denklemden parametreler arası kovaryans (C_{21}) sıfır olursa, denklem iki tane tek parametrenin Wald testinin toplamına dönüşür ki bu durumda parametrelerin asimptotik bağımsız olduğu ve bu hipotezin ayrılabilir olduğu söylenebilir (Kaplan 1990: 98). İki parametrenin birbirinden bağımsız olması bazen üçüncü bir parametrenin varlığında hipotezin ayrılabilir olması için yeterli olmamaktadır. İki parametrenin birbirleriyle kovaryansı sıfıra eit ancak üçüncü bir parametre ile ilişkiliyseler hipotezler ayrılamaz çünkü bir parametre üzerine konan bir sınırlama diğer parametrelere etki etmektedir (Kaplan 1990: 98).

Dışsallık:

Dışsal değişkenlerin gerçekten dışsal olup olmadığı önemlidir. Kaplan (1990: 99)'a göre bir değişkenin ortogonal (dik) olması ve etki terimine sahip olması dışsal olduğunu söylemek için yeterli değildir. Dışsallığı test etmenin basit bir yöntemi, y ve x in ortak normalliği varsayımının örneğin Mardia basıklık ve çarpıklık katsayısıyla ölçülmesidir (Kaplan 1990: 102). Modelin indirgenmiş kalıp denklemlerinde bağımlı ve bağımsız değişkenler eşitliğin farklı taraflarında bulunduğundan dışsallık sınaması için kullanılabilir (Kaplan 1990: 103).

2.1.6.4. Model Parametrelerinin Testi

Modelin genel uyumuna bakılmasının yanında bireysel parametrelerin serbest ve sınırlandırılmış olarak test edilmesi de önemlidir. Kaplan (1990: 32) üç farklı yöntemden bahsetmektedir. Birincisi; modelde bir parametreyi serbest bıraktığımız zaman yani sıfır hipotezinde aralarında etki bulunmadığını varsaydığımız ($w_j = 0$) ile iki değişken arasında bu sınırlamanın kaldırılması sonucu elde edilen yeni modelin karşılaştırılması ve olabilirlik oranı ki-kare değerindeki değişimle parametrenin anlamlılığı test edilmesidir.

$$\Delta\chi^2 = n(F_{ML1} - F_{ML2})$$

Modelin unsurlarını test etmenin diğer bir yolu model üzerindeki sınırlamaların model için geçerli olup olmadığını Lagrange Çarpanı (LÇ) ile değerlendirmektir. Ω modeldeki tahmin edilecek parametreleri göstermek üzere,

$s(\Omega) = \frac{\partial \log L(\Omega)}{\partial \Omega}$ tahmin edilen parametreler için 0 değerini alır. Oysa sınırlandırılmış parametreler için (Ω_r) kısmi türev değeri 0 değerini gerçekte sınırlama geçerliyse alacaktır. Modeldeki sınırlamaların geçerliliğini araştırmak üzere LÇ testi aşağıdaki gibi oluşturulur (Kaplan 1990: 33).

$$LM = [s(\Omega_r)]^T I(\Omega_r)^{-1} [s(\Omega_r)]$$

Burada $I(\Omega_r)$ bilgi matrisidir. Asimptotik kovaryans matrisi formülünde köşeli parantezle belirtilen kısım Fisher'in bilgi matrisidir (Kaplan 1990: 27).

$$a \text{ cov}(\Omega) = \left\{ -E \left[\frac{\partial^2 \log L(\Omega)}{\partial \Omega \partial \Omega^T} \right] \right\}^{-1}$$

LM testi asimptotik ki kare dağılımı gösterir ve kıyaslanan modellerin serbestlik dereceleri farkı kadar serbestlik derecesi ile dağılır. Bu teste Modifikasyon İndeksi (MI) de denir (Kaplan 1990: 33).

Üçüncü bir yol olarak bağımsız modele koyulan sınırlandırmaların yani sıfır olarak belirlenmiş yolların geçerliliği Wald testiyle yapılabilir. $r(\Omega)$ değerleri sıfıra eşitlenmiş yolları gösteriyor olsun, şayet modelde belirlenen sınırlamalar gerçek ise $r(\Omega)$ sıfırdan farklı çıkmayacaktır. Modelde belirlenen sınırlama sayısı serbestlik derecesi olmak üzere Wald testi asimptotik ki kare dağılımı gösterir ve test istatistiği aşağıdaki formülle hesaplanır (Kaplan 1990: 33).

$$W = [r(\Omega)]^T \left\{ \left[\frac{\partial r(\Omega)}{\partial \Omega} \right] \left[(\Omega)^{-1} \left[\frac{\partial r(\Omega)}{\partial \Omega} \right] \right] \right\}^{-1} [r(\Omega)]$$

Sadece bir sınırlama değerlendirilecek ise $w_j = 0$ olmak üzere test $W_j = \frac{w_j}{\sigma^2(w_j)}$ şekline dönüşür (Kaplan 1990: 34). $\sigma^2(w_j)$, tahminlerin kovaryans matrisinin j inci köşegen elemanıdır.

Heywood durumuna yol açan etmenleri Kline (2011: 158) dört grupta toplamıştır:

1. Belirleme ve tanımlama hataları
2. Sapan değerlerin varlığı
3. Küçük örnek hacmi ve faktörler için iki tane gösterge değişken kullanılması.
4. Deneysel eksik tanımlamaya neden olan çok düşük veya çok yüksek korelasyonlar.

Jöreskog ve Sörbom (1982: 404), değişkenler arasındaki ilişki tanımlanırken regresyonun neden yerterli olmadığını şu şekilde ifade etmiştir: Modeldeki her denklem, bir ilişkinin ötesinde nedensel ilgiye karşılık gelir, yapısal parametreler regresyon katsayılarıyla örtüşmez. Goldberger (1972), regresyonun eksik kaldığı ve YEM in önem kazandığı 3 noktayı şu şekilde özetlemiştir:

1. Gözlenen değişkenlerin ölçüm hatası içermesi,
2. Gözlenen sonuç değişkenleri arasında bağımlılık veya eş anlđ bir ilişkinin varlığı,
3. Önemli bir açıklayıcı değişkenin model dışı kalması.

2.2. Bulanık Analitik Hiyerarşı Süreci Yöntemi

Uygulamanın gerçekleştirileceği bulanık analitik hiyerarşı süreci yöntemi, bulanık küme kuramının klasik analitik hiyerarşı süreci (AHS) yöntemine eklenmesiyle oluşmuş bütünleşik bir yaklaşımdır. Bulanık Analitik Hiyerarşı Süreci (BAHS) yönteminin temelleri ve hesaplamaları klasik AHS'ye dayandığı için, metodolojik olarak ilk aşamadan başlanmıştır.

2.2.1. Analitik Hiyerarşı Süreci Yöntemi

Analitik hiyerarşı süreci (AHS); bir dizi seçenekle beraber çok kriterli, çok amaçlı, çok karar vericili karar vermede sezgisel, rasyonel ve irrasyonel ile başa çıkmak üzere tasarlanmış bir iskelet yapısıdır ve problemin unsurlarını temsil etmek üzere oran ölçeği türeten bir yöntemdir. Problemi daha küçük bölmelere ayırıp basit ikili karşılaştırmalar yardımıyla hiyerarşik düzeyde öncelikler geliştirilmesini sağlar (Harker ve Vargas 1987: 1383).

Yine Saaty (1987: 161)'ye göre AHS, “İster doğrudan ölçümlerden elde edilsin isterse duyguların ve tercihlerin birbirlerine görece üstünlüğünü yansıtan bir ölçekten bulunsun, kesikli veya sürekli karşılaştırmalardan oransal bir ölçek türetmede kullanılan bir ölçme kuramıdır”.

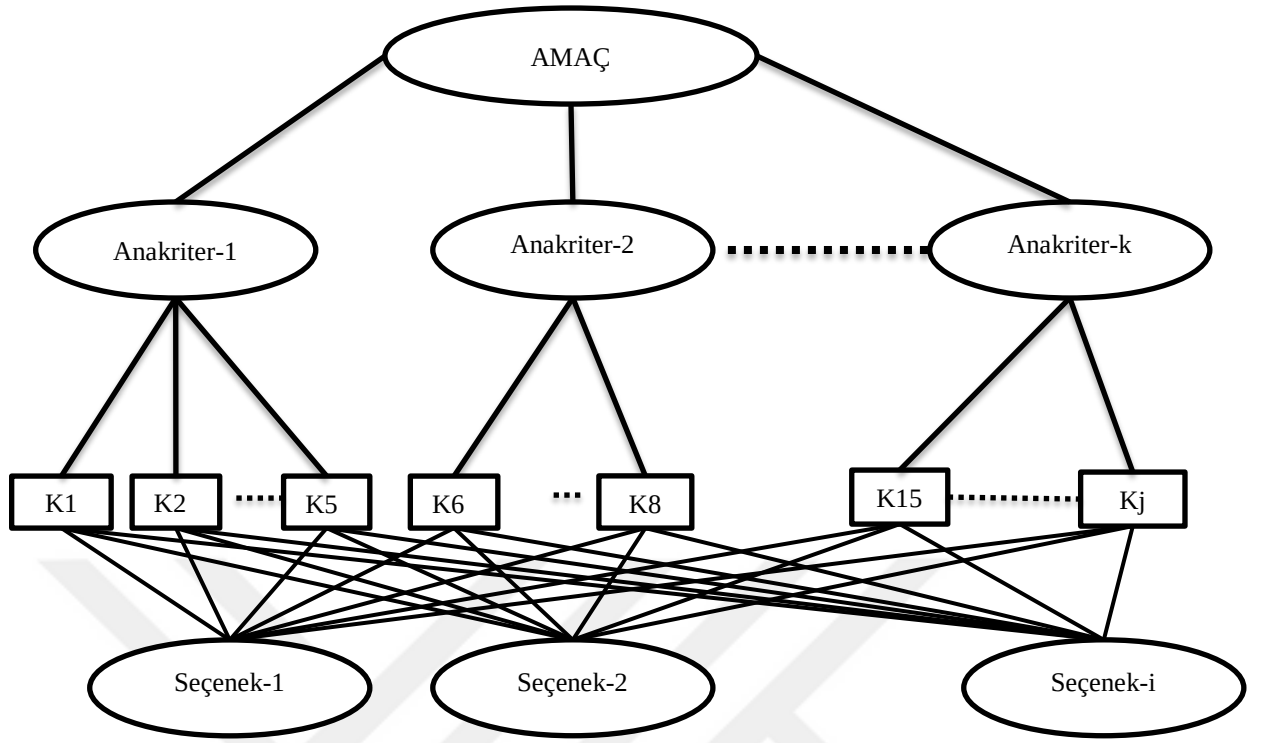
AHS yöntemi en genel tabiriyle bir nispi ölçüm metodolojisi ve kuramıdır. Göreli ölçümde, ölçümün kesin değeri yerine ilgilenilen şey, iki miktarın birbirine oranıdır (Brunelli 2014: 6). AHS yöntemi bir karar verme yöntemidir. Yine Brunelli (2014: 7)'ye göre bu yönüyle, karmaşık yapılı problemlerin analizine ve çalışılmasına bilimsel ve özellikle matematiksel yöntemlerin uygulanması olarak tanımlanan yöneylem araştırmasıyla da yakından ilişkilidir.

AHS yöntemi problem çözümünde üç ana aşamada tanımlanabilir (Saaty 1986): Problemin temel unsurlarının daha iyi kavranabilmesi ve analizi için hiyerarşik yapının kurulmasını ifade eden bölümlendirme (Decomposition), aynı

düzeydeki maddelerin bir üst düzeydeki maddeye göre nispi önemlerinin karşılaştırıldığı mukayese (Comparative Judgement) ve hiyerarşinin en alt düzeyinden başlanarak alternatifler için genel (birleşik) ağırlıkların türetildiği öncelik sentezlenmesidir (Synthesis Priorities). Son aşama ağırlıkların türetilmesi olarak da isimlendirilir. Farklı düzeyler için bulunan yerel ağırlıkların çarpımıyla da karar vermede kullanılacak olan birleşik (genel) ağırlıklara (önceliklere) ulaşılır.

2.2.1.1. Hiyerarşinin Kurulması

Çok kriterli karar verme problemlerinde, karar vericinin birçok kriteri eş zamanlı olarak değerlendirmesi gerekmektedir. Var olan problemin kolay algılanabilmesi ve çözülebilmesi için basitleştirilmesi aynı zamanda da gerçek niteliklerinin kaybolmaması için karmaşıklığının korunması gerekir. Bu ikileme değinen Saaty (1986: 841) önerdiği AHS yönteminin bu ihtiyaca cevap veren bir yaklaşım olduğunu belirtmiştir. Karar probleminin tüm unsurlarıyla serildiği bu gösterim biçimi hiyerarşik yapı şeklindedir. Hiyerarşinin en üst seviyesinde problemin amacı yer alır. Bir alt seviyede bu problemin ana unsurları veya ana kriterler bulunur. Bu kriterlerle bağlantılı alt kriterler hiyerarşinin sonraki seviyesinde yer alır. En alt seviyede ise bu problemin alternatifleri sıralanır. Bu şekilde problemin tüm unsurları; farklı düzeylerde ancak birbirleriyle irtibatlı olarak daha anlaşılır biçimde sunulmuş olur. AHS yaklaşımına göre problemin amacının en tepede bulunduğu, i adet seçeneğin, j adet alt kriterin ve k adet ana kriterin bulunduğu bir hiyerarşik karar modeli örneği Şekil 2.18.'de verilmiştir.



Şekil 2. 18. Hiyerarşik gösterim

2.2.1.2. İkili Karşılaştırmalar

Hiyerarşik model kurulduktan sonra alt düzeydeki maddelerin bir üst seviyedeki maddelere görece önemlerinin tayin edildiği karşılaştırmalar yapılır. Maddelerin birbirlerine göre önemlerinin kıyaslandığı, Saaty (1980)'nin oluşturduğu; sözel değerlendirmelerin, tercihin şiddetini belirtir biçimde birden dokuza kadar sayısal değerlere dönüştürüldüğü ölçek Tablo 2.6.'da verilmiştir.

Tablo 2.6. Saaty'nin Tercih Ölçeği

Tercihin Sözel İfadesi	Rakamsal Değer
Eşit Önemde	1
Diğerine göre biraz önemli	3
Orta derecede önemli	5
Güçlü derecede önemli	7
Mutlak derecede önemli	9
İki değer arasında önemli	2,4,6,8
Kriterler yer değiştirdiğinde önem derecesi ilk önem derecesinin tersi	Yukarıdaki Değerlerin Tersi

Franek ve Kresta (2014)'nın çalışmalarına göre çoklukla bu değerlendirme karşılaştırma matrislerine birebir aktarılsa da; değerlendirme sonuçlarının kökü veya üssü alınarak (Harker ve Vargas 1987), geometrik (Lootsma 1989), asimptotik (Dodd vd.,1995), logaritmik (Ishizaka vd., 2010) ve ters (Ma ve Zheng 1991) dağılımlarıyla alınması da mümkündür. Bahsedilen çalışmada farklı değerlendirme ölçekleri kullanımının daha doğru sonuçlar türetilip türetmediği irdelenmiş; araştırmacının tutarlılık ve ağırlıktaki sapmadan hangisine daha fazla önem atfediyorsa buna uygun ölçek seçmesi gerektiği ancak klasik Saaty ölçeğinin her durum için kabul edilir olduğu belirtilmiştir. Ölçek seçiminin ağırlıklarının büyüklüğüne etki ettiği ifade edilse de, alternatiflerin sıralamasını değiştirmediği savunulmuştur.

Bir üst düzeydeki kritere göre aynı düzeydeki maddeler arasında yapılan sözel mukayeseler ölçekteki sayısal değerlere dönüştürülerek, ikili karşılaştırma matrisinin elemanlarını oluştururlar.

Gerçekleştirilen karşılaştırmaların tutarlı karşılaştırmalar olması önemlidir. A bir karşılaştırma matrisi, a_{ij} bu matrisin elemanları olmak üzere; iki özelliğin varlığında bu matrisin tam tutarlı bir karşılaştırma matrisi olduğu söylenebilir (Ishizaka ve Lusti 2006: 388):

- $a_{ij} \times a_{ji} = 1$ (Karşılıklılık özelliği)
- $a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik}$ (Geçişkenlik Özelliği)

Birinci maddenin ikinci maddeye göre tercih oranı, ikinci maddenin birinci maddeye göre tercih oranının tersi olmalıdır. Biri diğerine göre ne oranda daha fazla tercih ediliyorsa, diğerinin o oranda daha az tercih edilir olması mantığın gereğidir. Benzer biçimde i maddesinin j maddesine göre tercih edilirlilik oranı a_{ij} , j maddesinin k maddesine tercih oranı a_{jk} ise, i maddesi k maddesine göre bu iki oranın çarpımı nispetinde tercih edilmesi gerekir.

Wind ve Saaty (1980: 645), AHS yöntemini temellendirirken karşılaştırma matrisinin elemanlarını iki maddenin tercih edilirliliklerinin oranı olarak belirlemiştir. Yöntemin ana denkleminin türetilmesi şu şekildedir: n tane maddenin karşılaştırılmasını içeren n boyutlu A matrisi, bu matrisin elemanları i maddesinin j

maddesine göre tercih oranının ifadesiyle a_{ij} , i maddesinin ağırlığı (önemi) w_i olmak üzere;

$$A = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_{n-1}} & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_{n-1}} & \frac{w_2}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_{n-1}} & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix}_{n \times n} \quad a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

Ağırlık matrisi $w = [w_1 \ w_2 \ \dots \ w_{n-1} \ w_n]^T$, A matrisiyle sağdan çarpıldığında

$$\begin{bmatrix} w_1 + w_1 + w_1 + \dots + w_1 \\ w_2 + w_2 + w_2 + \dots + w_2 \\ \vdots \\ w_n + w_n + w_n + \dots + w_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{elde edilir}} Axw = nxw$$

Bulunan denklem en büyük özdeğeri (λ_{max}) olan bir özdeğer problemidir ve en büyük özdeğer matris boyutuna eşit kabul edilir. Çünkü matrisin köşegen eleman toplamı yani izi matris boyutuna eşittir ve n tane özdeğerin toplamı da buna eşit olmalıdır. Bunun bir sonucu olarak (λ_{max}) dışındaki tüm özdeğerler sıfıra eşittir. Doğrusal cebirde birinci denklemdeki w sağ özvektör, n değeri ise özdeğer olarak adlandırılır (Zahedi 1986: 99).

Karar vericinin maddelerin nihai ağırlıklarını bilmeden karşılaştırma yapması A matrisinin aslında gerçek göreceli ikili karşılaştırma ağırlıklarından oluşmadığını bir miktar tutarsızlık içerdiğini ve A matrisinin elemanları olan gözlenen değişkenler üzerinden gerçek ağırlıklarının tahminlemesinin yapılmasını gerektirir. Tahmin denklemi şu şekilde ifade edilir:

$$\hat{A}x\hat{w} = \lambda_{max}x\hat{w}$$

$\hat{w}$ ağırlık matrisi w'nin, (λ_{max}) ise n'nin bir tahmin edicisidir. Dolayısıyla ağırlıkların bulunması diğer söylenişle önceliklerin sentezlenmesi aslında karşılaştırma matrisinin özdeğer ve özvektörü için tahminlemeden ibarettir.

2.2.1.3. Ağırlıkların Bulunması

Karşılaştırma matrislerinden ağırlıkların türetilmesi için çok sayıda yöntem önerilmiştir. AHS'nin başlangıçtan itibaren yaygın kabul gören ağırlıklandırma

yöntemi özvektör yöntemidir. Bu yöntemde bir yaklaşım olarak kısaca toplama yöntemi olarak anlandırılan; satırların normalize edilmesinden sonra satır ortalamaları alınarak ağırlıkların bulunduğu bir yöntemin kullanımı da yaygındır. Diğer bir ağırlıklandırma yöntemi geometrik ortalama yöntemidir. Bu yöntemde satır elemanları çarpılarak matris boyutundan kökü alınır ve normalize edilerek ağırlıklar bulunur. Bu yöntemde denklem logaritmik olarak düzenlenip minimizasyon yapıldığı için logaritmik en küçük kareler (LEKK) yöntemi olarak da isimlendirilir. Yaygın olan diğer bir yöntemde ise karşılaştırma matrisinin elemanları, iki maddenin ağırlıkları oranı olduğu için, tahmin edilecek ağırlık ile matris elemanı arasındaki farkların kareleri toplamını minimize ederek (EKK) ağırlıklar bulunur. Bahsedilen son iki yöntem doğrusal olmayan denklemler içerdiğinden Gao vd. (2010) bu iki denklemi doğrusal hale getirerek yeni bir ağırlıklandırma yöntemi önermiştir.

Bahsedilen ağırlıklandırma yöntemleri, özvektör yöntemi ve karşılaştırma matrisiyle en yakın tutarlı matris arasındaki mesafeyi minimize etmeye çalışan diğer yöntemler olarak genel iki bölüme ayrılabilir (Golany ve Kress 1993). AHS yönteminde kullanılan farklı ağırlıklandırma yöntemleri ve formülasyonları aşağıda özetlenmiştir.

2.2.1.3.1 Özvektör Yöntemi

Karşılaştırma matrisinin tahmin edilmeye çalışılan ağırlık vektörüyle sağdan çarpılması nedeniyle sağ özvektör yöntemi olarak da isimlendirilen bu yöntem, aşağıda verilen denklem yardımıyla en büyük özdeğeri ve ağırlıklara karşılık gelen özvektörü verir.

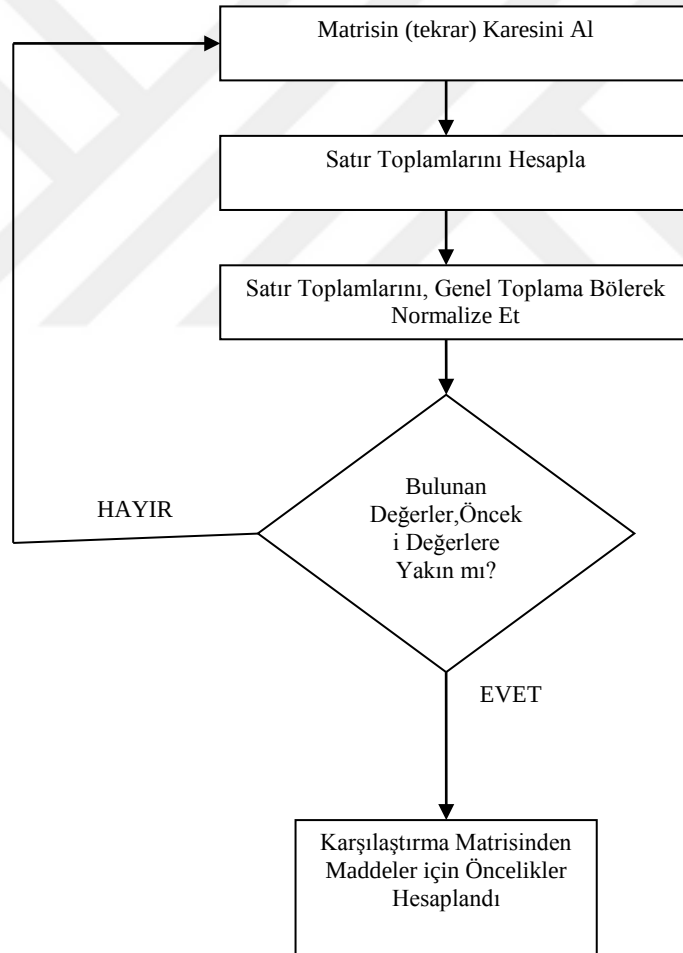
$$\hat{A}x\hat{w} = \lambda_{max}x\hat{w}$$

Karşılaştırma matrisi A için özdeğerler ve ağırlık vektörü aşağıdaki denklemlere göre hesaplanır. Saaty ve Vargas (1984), bulunan tek karmaşık olmayan özdeğerin en büyük özdeğer (λ_{max}) olduğunu ve bu özdeğerden yararlanarak öz vektörün yani ağırlıkların bulunacağını Perron-Frobenius teoremine dayandırmışlardır. Tam tutarlı bir karşılaştırma matrisinin ve alt matrislerinin determinantı sıfıra eşittir, dolayısıyla matrisin mertebesi birdir. Bu nedenle matris tek gerçekte bir özdeğerle ifade edilir. Bir A matrisi için özdeğer ve özvektör aşağıda verilen denklemler yardımıyla hesaplanır.

$$|A - \lambda I| = 0 \quad (A - \lambda_{max})x\hat{w} = 0$$

Kumar ve Ganesh (1996)'e göre gerçek özvektörün hesaplanmasında $\hat{w}$ ağırlık vektörü başlangıçta keyfi olarak alınır ve iterasyonlarla gerçek $\hat{w}$ özvektörüne yakınsayana kadar bulunan yeni özvektörle işleme devam edilir.

Özdeğer ve özvektörlerin bulunması için farklı hesaplamalardan birisi de karşılaştırma matrisinin kareleri alınarak elde edilen matrisin değerlerinin normalize edilip ortalamasının alınmasıyla özvektörün hesaplanmasıdır (Lusti 2002). Bu yaklaşım Şekil 2.19.' da özetlenmiştir. Kumar ve Ganesh (1996: 658), özvektörün yaklaşık olarak hesaplanmasında bir diğer yaklaşım olarak özvektörün satırlarının geometrik ortalamasının normalize edilmesiyle tahmininden bahsetmişlerdir.



Şekil 2.19. Özvektör (Ağırlık) bulunması için bir yaklaşım algoritması

Johnson vd. (1979) sağ özvektör yöntemine karşılık sol özvektör yönteminin de aynı sonucu verdiğini iddia etmişlerse de literatürde bu kabul görmemiştir. Her iki yöntemin de tutarsızlıklarını aşmak için Dodd vd. (1995) tarafından asimptotik bir ölçeklendirme üzerine kurulu uyarlanmış AHS ağırlıklandırma yönteminin ise özdeğer yönteminden pek farklı bir sonuç üretmediği gösterilmiştir (Tung ve Tang 1998).

2.2.1.3.2 Toplama Yöntemi (Normalize edilmiş değerlerin ortalaması)

Özvektör yönteminin hesaplama güçlükleri nedeniyle ağırlıkların yaklaşık olarak bulunduğu bu yöntemin kullanımı çok yaygındır. İlk örneğini Saaty (1980) göstermiştir. Satırdaki her elemanın sütun toplamlarıyla normalize edildikten sonra ortalamasının alınmasıyla özvektör elemanları bulunur. Bu yöntemin matematiksel gösterimi şu şekildedir (Gao vd., 2010: 304):

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

2.2.1.3.3 Geometrik Ortalama (Logaritmik En Küçük Kareler Yöntemi)

Ağırlıklandırma için yaygın kullanılan yöntemlerden birisi de geometrik ortalama yöntemidir. Bu yöntem Barzilai vd. (1987) ve Crawford (1987) tarafından karşılaştırma matrislerinden ağırlıkların hesaplanması için önerilmiştir. Satırdaki elemanlar çarpılarak elde edilen çarpım karşılaştırma matrisinin derecesinden köke alınır. Her satır için bulunan bu değerler daha sonra toplamlarına bölünür ve ağırlık vektörü hesaplanmış olur. Bu yöntem için formülasyonlar aşağıda verilmiştir (Saaty ve Vargas 1984: 311).

$$w_i = \frac{(\prod_{j=1}^n a_{ij})^{\frac{1}{n}}}{\sum_{k=1}^n (\prod_{j=1}^n a_{kj})^{\frac{1}{n}}} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Ağırlık toplamları bire eşit olacak şekilde kısıt eklenip denklem logaritmik olarak düzenlenerek ağırlıklar için çözüm optimizasyon problemi olarak düzenlenir.

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left[\ln a_{ij} - \ln \left(\frac{w_i}{w_j} \right) \right]^2$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1, \quad w_i > 0, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Barzilai (1997: 1232) bu yöntemin, problemin güçlü cebirsel temelini muhafaza eden tek yöntem olduğunu belirtmiştir. Yine Dijkstra (2013: 122) bu ölçüde kesin bir yargıda bulunmasa da, geometrik ortalama yönteminin diğer yöntemlere göre tercih edilirliliğini savunmuştur.

2.2.1.3.4 En Küçük Kareler Yöntemi

Karşılaştırma matrisinin gözlenen değişkenleri tahmin edilmeye çalışılan w ağırlıklarının oranına eşit olarak $\left(a_{ij} = \frac{w_i}{w_j}\right)$ kabul edilir. Eşitliğin iki tarafı arasındaki fark tahmindeki sapmayı gösterir. Bu sapma değerlerinin kareleri toplamını minimize etmeye çalışan bu yöntem en küçük kareler (EKK) yöntemidir ve matematiksel ifadesi aşağıda verilmiştir (Saaty ve Vargas 1984: 311).

$$\min \sum_{i,j=1}^n \left[a_{ij} - \frac{w_i}{w_j} \right]^2$$

Minimize edilmeye çalışılan bu fonksiyon doğrusal olmadığı için hesaplanışı güçtür.

Saaty ve Vargas (1984: 312) tutarlı karşılaştırma matrisleri söz konusu olduğunda tüm ağırlıklandırma yöntemlerinin aynı ağırlıkları verdiğini söylemiştir. Hatta Lin (2019: 4), sunulan örnekten hareketle kısmi olarak tutarsızlık barındıran karşılaştırma matrislerinde bile logaritmik en küçük kareler, en küçük kareler ve özvektör yöntemlerinin eşit sonuçlar türetebildiğini matematiksel olarak ispat etmiştir.

2.2.1.3.5 Yeni Ağırlıklandırma Yöntemleri

Gao vd. (2010) yaptıkları çalışmada en küçük kareler yönteminin minimize edilmesinde denklemin doğrusal olmaması nedeniyle yaşanan güçlüğü aşmak için karşılaştırma matrisini ağırlıkla çarptıktan sonra doğrusal hale getirerek yeni bir yaklaşım yolu önermişlerdir. Denklemin doğrusal hale getirilmesi için $(a_{ij} - w_i/w_j)$ ifadesi paydada bulunan ağırlıkla çarpılarak $(a_{ij}w_j - w_i)$ şekline dönüştürülür. Bu

dönüşüm sonucunda üç farklı düzenlemeyle ağırlık matrisinin bulunabileceği ileri sürülmüştür.

Bunlardan ilki ifadenin karesinin bir diğer deyişle hata kareler toplamının amaç fonksiyonunda yer aldığı ve ağırlık toplamının bir olacak şekilde kısıta eklenmesiyle oluşturulan minimizasyon modelidir. Modelin gösterimi aşağıda verilmiştir. Problem lagrange çarpanı şeklinde düzenlenip, elde edilen doğrusal denklemlerin çözümüyle ağırlıklar bulunur.

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [a_{ij}w_j - w_i]^2$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1, \quad w_i > 0$$

Gao vd. (2010: 306) dönüştürdükleri hata ifadesini; maximum mutlak hatanın minimize edilmesi ($\min \max |a_{ij}w_j - w_i|$) ve mutlak hatanın minimize edilmesi ($\min |a_{ij}w_j - w_i|$) olarak amaç fonksiyonunda düzenleyip doğrusal programlama modeli kullanarak ağırlıkların bulunduğu iki farklı yöntem daha önermişlerdir. Yine aynı çalışmada, önerilen bu yöntemlerin eksik bilgi içeren karşılaştırma matrisleri için de seçenek sunduğu ancak gerçek verilerle sınanması gerektiğinden bahsedilmiştir.

Her düzey için bulunan ağırlıkların çarpımıyla literatürdeki ifadesiyle sentezlenmesiyle alternatifler için genel ağırlıklara ulaşılmış olur. Bu ağırlıkların sıralanmasıyla da alternatiflerden en iyi olanının seçimi gerçekleştirilir.

2.2.1.4. AHS Yönteminde Tutarlılık

Çok kriterli karar verme problemlerinde verilecek kararın doğruluğu açısından, karar modelinin kendi içerisinde tutarlı olması beklenir. AHS yönteminde de yapılan ikili karşılaştırmalar sonucu elde edilen matrislerin bu tutarlılığa ne ölçüde sahip olduğu sınıdır. Mükemmel bir tutarlılık ulaşılması zor bir durumdur ve her ikili karşılaştırma matrisinde bir miktar tutarsızlık bulunmaktadır (Anderson vd. 1997). Bir matris için tam tutarlılık, en büyük özdeğerin matris boyutuna eşit olduğu durumda gerçekleşir (Davvodi 2009: 345). Dolayısıyla bu iki değer arasındaki fark tutarsızlığın bir ölçüsü olarak ele alınabilir. Eğer tutarlılık derecesi kabul edilebilir

sınırlardaysa, matrisin tutarlı olduğu varsayıp işleme devam edilir. Aksi takdirde karşılaştırmalarla elde edilen yargılar tekrar gözden geçirilmeli ya da değiştirilmelidir (Göksu ve Güngör 2008: 8). Tutarlılığın yüksek olması, karşılaştırma değerlerinin rasgele belirlenmiş olmaları yerine mantıklı ağırlıklandırma süreçlerinden geçerek oluşturulduğuna işaret etmektedir.

AHS yöntemi tutarlılık ölçüsü olarak tutarlılık oranını kullanmaktadır. Bu oran için, 3x3 matrislerde 0,05, 4x4 matrislerde 0,08, 5x5 ve daha büyük boyutlu matrislerde 0,10 sınır olarak belirlenmiştir. Genel olarak tutarlılık oranı 0,10'dan küçük bulunan bir ikili karşılaştırma matrisi yeterince tutarlı kabul edilmektedir. Kabaca bu sınır, karşılaştırma yargılarının tamamen rassal bir şekilde yapılmış olma olasılığının %10'dan az olması gerektiğini ifade etmektedir (Partovi, 1994).

Tutarlılık Oranını (TO) aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$Tutarlılık\ Oranı = \frac{Tutarlılık\ Göstergesi}{Tesadüfilik\ Göstergesi} \quad (2.34)$$

Tutarlılık göstergesi Matris özvektörünün alternatif sayısından ne kadar sapma gösterdiğini hesaplamaktadır ve aşağıdaki şekilde bulunmaktadır:

$$Tutarlılık\ Göstergesi = \frac{(\lambda_{max}) - n}{(n-1)} \quad (2.35)$$

λ_{max} bir matrise ait en büyük özdeğer n ise matris boyutudur. Denklem kullanılarak tutarlılık göstergesi bulunur.

Tutarlılık oranının hesaplanması için kullanılan tesadüfilik göstergesi ilk olarak Saaty (1980) tarafından oluşturulmuştur. İlgili boyuttaki matrisin üst köşegen elemanlarına ölçeği oluşturan birden dokuz kadar sayısal değerler ve bunların terslerinin rassal olarak atanmasıyla elde edilen mükerrer sayıda matrisler için tutarlılık göstergelerinin ortalamaları alınmış ve bu şekilde farklı matris boyutları için Tesadüfilik Göstergeleri oluşturulmuştur. Saaty (1980)'nin bu işlemi 500 defa tekrar ederek elde ettiği değerler Tablo 2.7.'de sunulmuştur.

Tablo 2.7. Farklı Matris Boyutlarına göre Tesadüfilik Göstergesi (Saaty 1980)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
TG	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Alonso ve Lamata (2004) tesadüfilik göstergesi hesaplamasında yapılan çalışmaları incelemiş; simüle edilen matris sayısı arttıkça Saaty'nin bulduğu değerlere yakın ama biraz daha düşük tesadüfilik değerlerine ulaşıldığını göstermiştir. Bir diğer çalışmalarında, daha büyük boyutlu matrislerde tutarlılığın daha kolay değerlendirileceği ve hesaplama kolaylığı sunduğunu iddia ettikleri bir yöntem öne sürmüşlerdir (Alonso ve Lamata 2006). Benzer şekilde Dijkstra (2013) tesadüfilik göstergesinin rassal karşılaştırma matrislerden hesap edilmesi yerine hata dağılımları kullanılarak hesaplanmasını savunmuştur. Lin ve Wang (2012) ise tutarsızlık ölçütü hesaplanması için belirsiz değişken yöntemi (uncertain variable method) adını verdikleri bir yöntem önermişlerdir. AHS için önerilen diğer bir tutarlılık hesaplama yöntemi de Stein ve Mizzi (2007) tarafından harmonik tutarlılık göstergesi ismiyle önerilmiştir.

2.2.2. BAHS için Literatür İncelemesi

2.2.2.1. Bulanık Mantık

Günlük hayatta net, belirli, kesin olduğu varsayılan yargılar, değerlendirmeler gerçekte değişkenlik ihtiva etmektedir. Bu durum, kesinlikten uzaklık, belirsizlik, bulanıklık gibi sebeplerden kaynaklanmaktadır. İnsan zihninde bazı olguların, problemlerin net olarak anlaşılamaması, bu olguların ve problemlerin olası tüm sonuçlarıyla düşünüldüğünde belirsizlik sorununu ortaya çıkarmaktadır. Bu noktadan hareketle, bulanık mantığın kaynağının belirsizlik fikri üzerine geliştirildiği söylenebilir (Şentürk 2006; Arslan ve Zırlıoğlu 2019). Bulanık mantık, kriterlerin bilinmeyenlerini açıklama kapasitesi ile öne çıkmıştır (Akman ve Alkan 2006). Gerçek olaylar hakkında bulanık değişkenlere dayalı verinin, kesin sayılara dayalı veriden daha doğru fikir verebiliyor olması ilgi çekici bir ikilemdir (Klir ve Yuan 1995: 15).

Gerçek hayatta karar verme problemlerinin karmaşıklığı ve insan doğasının yargılamalarındaki öznellik sebebiyle oluşan belirsizliğin üstesinden gelme amacı; karşılaştırma matrislerinin bir aralıkta ifadesini yani bulanıklaştırılmasını literatüre taşımıştır. İnsanın tam doğruluğu olmayan bilgiyi anlama ve çözümleme yeteneğinin sınırlılığından hareket eden Zadeh, kesinliği olmayan sorunları analiz etmek gayesiyle ve insan yargılarının temel unsurunun sayılar değil dilsel anlatımlar olduğu

düşüncesine dayanarak bulanık küme teorisini geliştirmiştir (Mao 1999: 7; Chou ve Liang 2001: 378; Chen 2001: 66; Ecer 2007). Lofti A.Zadeh ihtimal dağılımları ile açıklanamayan, bilinmeyen durumlar için farklı bir hesaplama ihtiyacı duymuştur. (Wang 1997; Akıllı vd., 2014). Zadeh (1965)'in bulanık kümeler ismiyle yayınladığı ilk çalışması bulanık mantık için başlangıç kabul edilmektedir. Bu çalışmada, insanların fikir yapısında genellikle belirsiz bulanık açıklamaların bulunduğunu ileri sürmüş, klasik mantıktaki “0” ve “1” sonuçlu durumların yanında, ara değerlendirmelerin de bulunduğu dikkat çekmiş ve olguların [0,1] aralığında belirtilen seviyeler ile karşılanabileceğini açıklamıştır (Zadeh 1965).

2.2.2.2. Bulanık Kümeler ve Bulanık Sayı

Klasik küme kavramı, tanımlanmış belirli bir niteliğe sahip elemanları içeren, bu niteliğe sahip olmayanları dışarda bırakan bir çerçeve çizmektedir. Bir diğer deyişle kümenin tanımına göre bir nesnenin bu kümeye dahil olup olmayacağı net olarak bilinir. Kümenin üyeleri için muğlak olmayan kesin bir ait olma veya olmama şeklinde dikotomik (ikili) ayırım mevcuttur (Klir ve Yuan,1995: 4). Bu kümenin bir elemanı olmak için sağlanması gereken koşul, üyelik fonksiyonu; bu koşulu karşılama oranı ise üyelik derecesi ifadesi ile karşılanır. Klasik mantık yaklaşımında X evrensel kümesinin bir elemanının, ilgilenilen A kümesinin bir üyesi olma derecesi ($\mu_A(X)$) matematiksel fonksiyon olarak aşağıdaki gibi ifade edilir ve 0 veya 1 değerini alır.

$$\mu_A(X) = \begin{cases} 1 & x \in A \\ 0 & x \notin A \end{cases} \quad (2.36)$$

Bulanık küme yaklaşımında ise X evrensel kümesinin bazı elemanlarının tanımlanan bir A bulanık kümesine ait olup olmadığı kati değildir ve üyelik derecesi 0 ile 1 arasında bir değer olarak ifade edilir.

$$\mu_A(X) = \begin{cases} 1 & x \in A \\ (0,1) & \text{Diğer} \\ 0 & x \notin A \end{cases} \quad (2.37)$$

Bulanık kümelerin bir alt kümesi olarak bulanık sayılar, bulanık küme teorisinde işlem kolaylığı sağlamaktadır (Özçakar ve Demir 2011: 29; Yürüyen ve Ulutaş 2020). Bir sayının bulanık olarak kabul edilebilmesi için ilgili bulanık kümenin üç şartı sağlaması beklenir (Klir ve Yuan 1995: 97):

- A kümesi, normal bulanık kümedir.
- A kümesi, $(0,1]$ aralığındaki her α kesim değeri için kapalı aralıktadır.
- A kümesinin desteği sınırlanmıştır.

Bulanık kümeyi temsil eden ve üyelik derecesi 1 olan bir elemanın bulunması halinde bulanık küme, normal bulanık küme kabul edilir. Bulanık ortamda anlamlı aritmetik işlemlerin yürütülebilmesi için hem kesim değerlerinin hem de desteğin sınırlandırılması gereklidir (Klir ve Yuan 1995: 97). Bulanık kümeler için, üyelik derecesi sıfırdan farklı olan elemanların bulunduğu bölge destek bölgesi, derecesi 1 e eşit olanlar öz bölgesi, bu iki dışında kalan bölge ise sınır olarak adlandırılır (Kayhan 2010: 29).

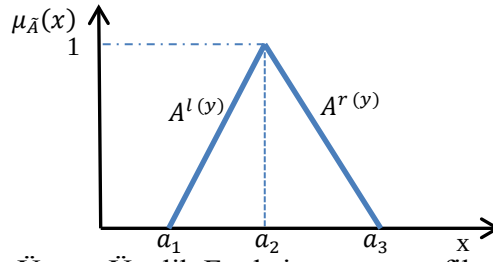
Mitaim ve Kosko (1996) farklı bulanık küme üyelik fonksiyonlarını karşılaştırmış; yaygın kullanılan üçgen, yamuk ve gauss çan eğrisi fonksiyonları yanında cauchy, sinc, laplace, hiperbolik, lojistik küme fonksiyonlarını da değerlendirmişlerdir. Uygulamalarda genellikle üçgen ve yamuk bulanık sayılar kullanılmaktadır (Seçme ve Özdemir 2008: 178).

2.2.2.2.1 Üçgen Bulanık Sayılar

Üçgen bulanık sayılar (ÜBS), üç tane gerçek sayıyla tanımlanmış bulanık sayıların özel bir çeşididir ve (l,m,u) şeklinde ifade edilir. Bu parametreler sırasıyla olası en küçük değeri, en çok beklenen değeri ve en büyük olası değeri göstermektedir. Üçgen bulanık sayı bulanıklığa işaret olmak üzere küme adının üzerinde yaklaşık işareti kullanılır (Kahraman vd., 2004: 174; Seçme ve Özdemir 2008: 178) .

Örnek olarak $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ üçgen bulanık sayısı için üyelik fonksiyonu, grafiksel gösterimi ve sağladığı varsayılan koşullar Şekil 2.20.'de verilmiştir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0 & x < a_1 \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1} & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3-x}{a_3-a_2} & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0 & a_3 < x \end{cases}$$



Şekil 2. 20. Bulanık Üçgen Üyelik Fonksiyonu ve grafiksel gösterimi

Üyelik fonksiyonu (a_1, a_2) aralığında artan, (a_2, a_3) aralığında azalandır ve $a_1 \leq a_2 \leq a_3$ koşulunu sağlamaktadır (Gani ve Assaruddeen, 2012: 527). Bir bulanık sayı aynı zamanda her üyelik derecesi için sağ ve sol bulanık gösterimi olarak ifade edilebilir (Kahraman vd., 2004: 174).

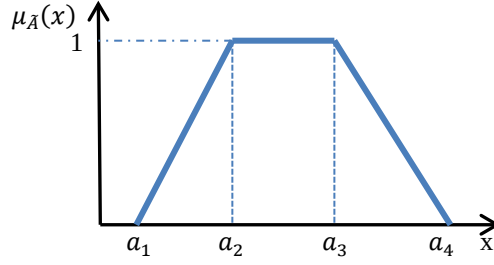
$$\tilde{A} = (A^l(y), A^r(y)) = (a_1 + (a_2 - a_1)y, a_3 + (a_2 - a_3)y) \quad y \in [0,1]$$

Üçgen bulanık sayılar, bulanık ortamda karar verme problemlerinde en çok tercih edilen üyelik fonksiyonudur. Bir diğer tercih edilme avantajı da yetersiz veri durumunda da basit bir şekilde düzenlenebilmesidir (Karakaşoğlu, 2008: 86; Çelik, 2016).

2.2.2.2.2 Yamuk Bulanık Sayılar

A (a_1, a_2, a_3, a_4) elemanları gerçel sayı olan bir yamuk bulanık sayı (YBS) olmak üzere, yamuk bulanık sayılar için üyelik fonksiyonunun tanımı ve grafik gösterimi şekil 2.21.'de verilmiştir. YBS'lar üçgen bulanık sayıların genelleştirilmiş olduğu düşünülebilir gibi, ÜBS'lar, $a_2 = a_3$ olduğu yamuk bulanık sayılarının özel bir türü olarak düşünülebilir (Voskoglou 2015: 3).

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0 & x < a_1 \text{ veya } a_4 < x \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1} & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1 & a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{a_4 - x}{a_4 - a_3} & a_3 \leq x \leq a_4 \end{cases}$$



Şekil 2.21. Bulanık Yamuk Üyelik Fonksiyonu ve grafiksel gösterimi

Üyelik fonksiyonun $[a_1, a_2]$ aralığına karşılık gelen kısmı sol üyelik fonksiyonu, $[a_3, a_4]$ aralığına karşılık geleni ise sağ üyelik fonksiyonu olarak tanımlanır (Zhü 2014: 211).

2.2.2.3 BAHS

AHS yöntemi, çok sayıda karar verme probleminin çözümünde etkili bir şekilde uygulanmasına rağmen, ikili kıyaslamalar yapılırken mutlak sayılar kullanılması nedeniyle eleştirilmiştir. (Dağdeviren 2007: 272; Yıldırım ve Önay 2013). Ayrıca AHS yöntemi, belirsizlik ve kesin olmama durumlarını ele almada eksik kaldığı için eleştirilmiştir. (Deng 1999: 216; Yıldırım ve Önay 2013). Belirsizlik durumlarında etkili karar vermede yetersiz kalmasından dolayı AHS yöntemi bulanık mantık ile birlikte Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHS) yöntemi olarak uygulanmaya başlanmıştır. (Yıldırım ve Önay 2013).

BAHS yönteminde karar verici değerlendirme yaparken bulanık sayıları ya da sözel değişkenleri kullanarak daha kolay değerlendirme yapabilirken, AHS yönteminde gerçek değerleri kullanmaktadır. (Özgörmüş vd., 2005: 112; Yıldırım ve Önay 2013). Yönetim bilimleri, sosyal bilimler ve iktisat gibi çeşitli alanlarda ortaya çıkan sorunları modellemede kullanılan Saaty'in AHS yönteminden geliştirilen Bulanık AHS yöntemi ileri bir analitik teknik olarak düşünülebilir. (Yu 2002; Sheu 2004; Özdağoğlu 2008).

Gerçek hayatta sayısız karar verme probleminin çözümünde etkili bir yöntem olarak kullanılan AHS modeli, ikili tanımlamalar sürecinde kesin sayılar üzerinden uygulanmaktadır. Nitel ve soyut faktörlerin karşılaştırılması yapılırken kesin sayıların kullanılması karar verici için bir hayli zordur. Birçok farklı çalışmada bu

sorunun üstesinden gelmek için bulanık sayıların uygulanması önerilmiştir (Karsak 2001; Ding ve Liang 2005; Dağdeviren 2007).

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan AHS, ikili karşılaştırmalara dayanmaktadır. Karşılaştırmalar kriterlerin tanımına bağlı olarak öznel ya da nesnel olarak yapılabilmektedir. Karşılaştırma dereceleri, ölçüm imkanının bulunduğu kriterler için bir alternatife diğer alternatife ne ölçüde daha anlamlı olduğu dikkate alınarak nesnel olarak yapılabilir. Uzman görüşleri ile kişisel yorumların ön plana çıktığı, önemlilik, uygunluk, tercih edilebilirlik gibi kriterlere göre karşılaştırma yapıldığında ise öznel sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Uzman görüşlerinin öznelliği AHS yönteminin avantajı olarak görünse de (Anderson vd., 1997: 746-756), sayısal olarak ölçülebilen kriterlerin dışındaki yargılar ve değerlendirmeler için bu öznellik, sonuçları gerçeklikten uzaklaştırabilmektedir. Bu sebeple çoğu AHS uygulamasında bulanıklaştırma gerçekçi bir sonuç için tercih edilmektedir (Aydın 2009).

İlk BAHS çalışması, üçgen üyelik fonksiyonlarıyla tanımlanmış bulanık oranları karşılaştıran Van Laarhoven ve Pedrycz (1983) tarafından yapılmıştır. Bu çalışma, klasik AHS yönteminin kesin sayılarla yapılan karşılaştırma işlemine bulanık sayılarla bir açılım getirmiştir. Buckley (1985) ise karşılaştırma oranlarının bulanık önceliklerini yamuk üyelik fonksiyonu ile belirlemiş, ağırlıkların hesaplanmasında geometrik ortalama yöntemini kullanmıştır. Literatürde BAHS yönteminin geniş bir uygulama sahası bulmasında Chang (1996)'ın yeni bir yaklaşım olarak öne sürdüğü genişletilmiş analiz yönteminin payı büyüktür. İkili karşılaştırmalarda üçgen bulanık sayıları kullanan Chang (1996), ağırlıkların hesaplanmasında ve alternatiflerin sıralanmasında bütüncül bir analiz yöntemi sunmuştur. Deng (1999) çok kriterli nitel analiz problemlerini ele almak için bulanık bir yaklaşım sunmuştur. İleri sürülen yaklaşım, bulanık küme teorisi, AHS, bulanık genişletilmiş analiz, α kesim kavramı, ideal çözüm kavramlarının sentezine dayanmaktadır. Zhu vd. (1999) üçgen bulanık sayıların temel teorisini kanıtlamışlar ve üçgen bulanık sayıların büyüklük kıyaslamalarının formülasyonunu geliştirmişlerdir. Bu bağlamda bir petrol araştırma örneği ele almışlardır. Korvin ve Kleyle (1999), karar verme süreci için bulanık kümelerin kullanıldığı AHS yöntemini önermişlerdir. Leung ve Cao (2000) alternatiflerin tolerans sapmalarından hareketle bir bulanık tutarlılık tanımı önermişlerdir (Büyüközkan vd., 2004).

Klasik AHS yönteminin sınırlılıklarından hareketle daha doğru bir ölçüm için bulanıklaştırmayı öneren çalışmaların aksine klasik yöntemin daha geçerli bir yaklaşım olduğu, bulanıklaştırmının mantıklı bir gerekçesinin bulunmadığı da öne sürülmüştür. Bu çalışmalardan biri olan Zhü (2014: 216)'nın bulanıklaştırmaya getirdiği bazı temel eleştiriler şu şekilde sıralanabilir:

1. BAHS yöntemi hem tanımlanması hem de aritmetik işlemlerde kullanılan üyelik fonksiyonu itibarıyla bulanık küme teorisinin temel mantığını ihlal etmektedir.
2. BAHS yöntemin aritmetik işlemlerinde, AHS'nin temel aksiyomlarından olan süreklilik ve ters özelliği ile tutarlılık kuralları ihlal edilmektedir.
3. BAHS için kullanılan 1-9 karşılaştırma ölçeği, AHS'de kullanılabilecek olan daha etkisizdir.
4. BAHS, sonuçları değerlendirmek için bulanık sayıların kıyaslanabileceği genel kabul görmüş bir sıralama yöntemi sunamamaktadır.

Klasik AHS yöntemini literatüre kazandıran Saaty de AHS yönteminde bulanıklaştırmının anlamsızlığını işaret etmiştir. Saaty ve Tran (2007: 962), klasik AHS'de olduğu biçimiyle, değerlendirmelerin belli bir ölçek üzerindeki değerler arasından tercih değişimine izin verecek şekilde yapılmasının halihazırda bulanık değerlendirme olduğunu; ilave bir bulanıklaştırma sonucu tutarlılık sağlansa bile, sonuçların gerçeklikten uzaklaştığını ifade etmişlerdir.

2.2.2.4 BAHS uygulama adımları

Bulanık yaklaşımın AHS yöntemine dahil edilmesi ile birlikte uygulama adımlarında farklılaşmalar ve hesaplamalarda değişik yaklaşımlar sebebiyle tek bir BAHS yönteminden bahsedilemez. Süreç içerisinde gelişimi ile birlikte farklı BAHS yöntemleri diğer bir ifadeyle uygulanış biçimleri Büyüközkan vd. (2004) çalışması temel alınarak Tablo 2.8.'de sunulmuştur.

Tablo 2. 8. Farklı BAHS yöntemlerin Karşılaştırılması (Büyüközkan vd., 2004'ten uyarlanmıştır)

Kaynak	Yöntemin Temel Özelliği	Avantajları	Dezavantajları
Van Laarhoven ve Pedrycz (1983)	- Saaty'nin AHS yönteminin üçgen bulanık sayılarla uygulanması - Bulanık Ağırlık ve skorların Lootsma'nın Logaritmik EKK ile bulunması	Birden çok karar vericinin değerlendirmesinin ters matris olarak modele katılabilmesi	- Doğrusal denklemlere bazen sonuç üretememesi - İşlem Yoğunluğu - Sadece üçgen bulanık sayılarla çalışması
Buckley (1985)	- Saaty'nin AHS yönteminin üçgen bulanık sayılarla uygulanması - Bulanık Ağırlık ve skorların Geometrik ortalama ile bulunması	- Bulanıklaştırma kolaylığı - Ters karşılaştırma matrisine sonuç üretebilme	İşlem yoğunluğu
Boender vd. (1989)	- Van Laarhoven ve Pedrycz'in ağırlık bulma hesaplamasına alternatif - Yerel ağırlıkların normalizasyonunda daha sağlam bir yaklaşım	Birden çok karar vericinin değerlendirmesinin ters matris olarak modele katılabilmesi	İşlem yoğunluğu
Chang (1996)	- Sentetik değerler - Basit sıralama - Toplam Sıralama	- Hesaplama Kolaylığı - Klasik AHS hesaplamalarına ilave işlem gerektirmemesi	- Sadece üçgen bulanık sayı kullanılabilmesi - Ağırlıkların sıfır bulunabilmesi
Cheng (1997)	- Her kriter için bulanık standartlar oluşturma - Üyelik fonksiyonu ile performans skoru - Toplam ağırlıklar için entropi kavramları kullanımı	Nispeten hesaplama kolaylığı	Entropi kavramlarının sadece olasılık dağılımı bilindiğinde kullanılabilmesi
Wang vd. (2008)	Yeni normalizasyon formülü	Kriter ağırlıklarının sıfır çıkmasının önlenmesi	Normalizasyon işlem yoğunluğu

BAHS yönteminin işletilmesinde özellikle ağırlıkların türetilmesi ve normalizasyon işlemlerinde köklü hesaplama farklılıkları bulunmakla birlikte, ikili karşılaştırmaların bulanıklaştırarak yönteme başlanması ortak adımdır. Bu adımda

genellikle üçgen bulanık sayılara dönüşüm yapılırken, diğer bir yaygın usul yamuk bulanık sayıların kullanılmasıdır.

Klasik AHS’de olduğu gibi hiyerarşik yapı oluşturulduktan sonra, aynı düzeydeki kriterlerin birbirleriyle kıyaslanmaları için karar vericiler tarafından ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Karar vericinin karşılaştırma matrislerindeki değerlendirmeleri Tablo 2.9.’da belirtilen bulanık ağırlıklar kullanılarak üçgen bulanık sayılara dönüştürülür.

Tablo 2. 9. Bulanık Karşılaştırma Ölçeği

Sözel Yargılar	Kesin Sayı	Bulanık Sayı	Bulanık Üyelik Fonsiyonu
Aşırı Önemli (İyi)	9	$\tilde{9}$	(8,9,10)
Çok daha Önemli	7	$\tilde{7}$	(6,7,8)
Daha Önemli (İyi)	5	$\tilde{5}$	(4,5,6)
Biraz Önemli (İyi)	3	$\tilde{3}$	(2,3,4)
Eşit Derecede Önemli	1	$\tilde{1}$	(1,1,2)

Bu şekilde kriterler için her bir ikili değerlendirme düzeyi, üç sayıyla ifade edilen bulanık karşılaştırma matrisinin elemanlarına dönüştürülür. Bu üç sayı sırasıyla en küçük olası değere, en çok beklenen değere ve en büyük olası değere karşılık gelmektedir. Bulanık karşılaştırma matrisi $\tilde{A}$, matris elemanları a_{ij} ’ler ve karşılaştırma tersleri aşağıda sunulmuştur.

$$\tilde{a}_{ij} = (l(\tilde{a}_{ij}), m(\tilde{a}_{ij}), u(\tilde{a}_{ij})) \text{ ve } \tilde{a}_{ij}^{-1} = \left(\frac{1}{u(\tilde{a}_{ij})}, \frac{1}{m(\tilde{a}_{ij})}, \frac{1}{l(\tilde{a}_{ij})} \right), \quad i, j = 1, \dots, n; i \neq j$$

$$\tilde{A} = (\tilde{a}_{ij})_{n \times n} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & (l_{12}, m_{12}, u_{12}) & \dots & (l_{1n}, m_{1n}, u_{1n}) \\ \vdots & \ddots & & \vdots \\ (l_{n1}, m_{n1}, u_{n1}) & (l_{n2}, m_{n2}, u_{n2}) & \dots & (1,1,1) \end{bmatrix}_{n \times n}$$

Bulanık karşılaştırma matrisi $\tilde{A}$, simetrik kare matristir (Calabrese vd., 2013: 3749).

Elde edilen karşılaştırma matrisinin tutarlılığı hesaplamaları klasik AHS yöntemindeki gibi gerçekleştirilir. Ancak bunun için bulanık değerlerin bulanık olmayan değerlere çevrilmesi gerekmektedir. Aşağıdaki formülle bulanık sayılar bulanık olmayan sayılara çevrilir (Wang ve Elhag 2007: 144):

$$a_{ij} = \frac{l(\tilde{a}_{ij}) + m(\tilde{a}_{ij}) + u(\tilde{a}_{ij})}{3}, \quad i, j = 1, \dots, n \quad (2.38)$$

Bu işlemden sonra tutarlılık göstergesi (TG) ardından da tutarlılık oranı (TO) bulunur (Kwong ve Bai 2003: 622). $\lambda_{\max}$ karşılaştırma matrisine ait en büyük özdeğer, n ise matris boyutudur (Wang 2015: 171). Eşitlik (2.39) kullanılarak tutarlılık göstergesi bulunur.

$$Tutarlılık\ Göstergesi = \frac{(\lambda_{\max}) - n}{(n-1)} \quad (2.39)$$

$$Tutarlılık\ Oranı = \frac{Tutarlılık\ Göstergesi}{Tesadüfilik\ Göstergesi} \quad (2.40)$$

Eşitlik 2.40'daki tesadüfilik göstergesi tutarlılık oranının hesaplanması için kullanılan ve rasgele oluşturulmuş matrislerden elde edilen bir ortalama değerdir. Tablo 2.7'de Saaty'nin yaptığı çalışmaya dayanan farklı matris boyutlarında elde edilmiş tesadüfi gösterge değerleri sunulmuştur. Bahsedilen eşitlik yardımıyla ulaşılan tutarlılık oranının büyük boyutlu karşılaştırma matrisleri için 0,10 değerinden küçük olması ilgili karşılaştırma matrisinin tutarlı kabul edilmesi için gereklidir. Tutarlılık oranının bu değerden büyük bulunması, tutarlı bir karşılaştırma matrisi elde edene ikili karşılaştırmaların tekrarlanmasını gerektirir.

Tutarlı bir karşılaştırma matrisinin elde edilmesinden itibaren BAHS yönteminin uygulanışında farklar görülmektedir. İşlem adımlarında akışı kesmeden, en çok kullanılan yöntem olan Chang (2006)'ın mertebe analizi yöntemi, kendi ifadesiyle de genişletilmiş analiz yöntemi adımları aşağıda verilmiştir. Bu yönteme getirilen düzeltmeler ve farklı uygulanış yöntemlerine sonrasında değinilecektir.

Bulanık karşılaştırma matrisi $\tilde{A}$ 'nın her bir satırı üç değer için ayrı ayrı toplanır.

$$\widetilde{RS}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} = (\sum_{j=1}^n l(\tilde{a}_{ij}), \sum_{j=1}^n m(\tilde{a}_{ij}), \sum_{j=1}^n u(\tilde{a}_{ij})) \quad i = 1, \dots, n \quad (2.41)$$

Satır toplamaları normalize edilir ve her satır için yine Chang (1996)'ın tanımıyla sentetik değerler diğer bir ifadeyle bulanık ağırlıklar bulunur (Wang vd., 2008: 735).

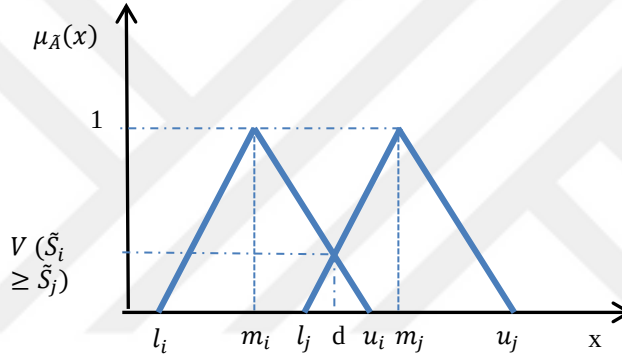
$$\tilde{S}_i = \frac{\widetilde{RS}_i}{\sum_{j=1}^n \widetilde{RS}_j} = \left(\frac{\sum_{j=1}^n l(\tilde{a}_{ij})}{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n u(\tilde{a}_{kj})}, \frac{\sum_{j=1}^n m(\tilde{a}_{ij})}{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n m(\tilde{a}_{kj})}, \frac{\sum_{j=1}^n u(\tilde{a}_{ij})}{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n l(\tilde{a}_{kj})} \right) \quad i, j = 1, \dots, n \quad (2.42)$$

$$\tilde{S}_i = (l(\tilde{w}_i), m(\tilde{w}_i), u(\tilde{w}_i))$$

Her bir satır için sentetik değerler bulunduktan sonra, bu değerlerin birbirlerine göre büyüklüğü incelenir. $V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j)$ olasılıkları veya literatürdeki yaygın çevirisiyle olabilirlikleri eşitlik (2.43)'te verilen fonksiyon ile hesaplanır.

$$V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j) = \begin{cases} 1 & m_i \geq m_j \\ \frac{u_i - l_j}{(u_i - m_i) + (m_j - l_j)} & l_j \leq u_i \quad i, j = 1, \dots, n \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases} \quad (2.43)$$

Chang (1996: 651) tanıttığı $V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j)$ olasılığı için grafiksel gösterim Şekil 2.23'de sunulmuştur. Grafikte en büyük olabilirlik değeri, absisi d ile işaretlenen iki bulanık sayının üyelik fonksiyonundaki en yüksek kesişim noktasıdır.



Şekil 2.23. Chang (1996)'ın merteye analizinde en büyük olabilirlik değeri gösterimi

Sonraki aşamada eşitlik (2.44)'ten yararlanılarak $\tilde{S}_i$ 'ler için olabilirlikleri diğer tüm bulanık sayılar üzerinden hesaplanır (Wang vd., 2008: 736).

$$V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j = 1, \dots, n; j \neq i) = \min_{j \in \{1, \dots, n; i \neq j\}} V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j), i = 1, \dots, n \quad (2.44)$$

Son aşamada ise bulanık karşılaştırma matrisi $\tilde{A}$ için öncelik vektörü $W = (w_1, \dots, w_n)^T$ eşitlik 2.12 ile bulunur. Bulunan bu değerler artık bulanık değerlerdir (Chang, 1996: 651).

$$w_i = \frac{V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j \setminus j=1, \dots, n; j \neq i)}{\sum_{k=1}^n V(\tilde{S}_k \geq \tilde{S}_j \setminus j=1, \dots, n; j \neq k)} \quad i = 1, \dots, n \quad (2.45)$$

Chang'ın merteye analizine ilişkin en güçlü eleştirilerden birisi Wang vd. (2008: 746) tarafından yapılmıştır. Yönteme ilişkin kritikler şu şekilde özetlenebilir:

- Genişletilmiş analiz yönetimi bazı önemli karar ve alt kriterlere sıfır değeri atayarak, analizde değerlendirilmemesine yol açmaktadır.
- Bu yöntemle göre bulunan ağırlıklar, karar kriterlerinin ve alternatiflerin görece önemlerini yansıtmamaktadır.
- Bu sebeplerle yanlış seçimlere yol açabilmektedir.

Chang (1996)'ın yöntemine getirdikleri eleştiri ile beraber bir düzeltme olarak eşitlik (2.42) yerine aşağıda verilen eşitlik (2.46)'nın kullanılmasını önermişlerdir.

$$\tilde{S}_i = \frac{\bar{R}S_i}{\sum_{j=1}^n \bar{R}S_j} = \left(\frac{\sum_{j=1}^n l(\bar{a}_{ij})}{\sum_{j=1}^n l(\bar{a}_{ij}) + \sum_{k=1, k \neq j}^n \sum_{j=1}^n u(\bar{a}_{kj})}, \frac{\sum_{j=1}^n m(\bar{a}_{ij})}{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n m(\bar{a}_{kj})}, \frac{\sum_{j=1}^n u(\bar{a}_{ij})}{\sum_{j=1}^n u(\bar{a}_{ij}) + \sum_{k=1, k \neq j}^n \sum_{j=1}^n l(\bar{a}_{kj})} \right) \quad i, j = 1 \dots n \quad (2.46)$$

Bu formülasyona ilişkin detaylı hesaplamalar Wang ve Elhag (2006)'da bulunabilir. BAHS yönteminin farklılaşması daha önce de ifade edildiği gibi, ikili karşılaştırmalardan öncelik vektörünün yani ağırlıkların türetilmesi aşamasında yoğunlaşmaktadır. Van laarhoven ve Pedrycz (1983), üçgen bulanık ağırlıkları elde etmek için logaritmik en küçük kareler yöntemini kullanmışlardır. Bu yöntemin normalizasyon işlemlerinde karşılaşılan sıkıntıların aşmak için Boender vd. (1989) iyileştirme yapmışlardır. Wang vd. (2006) ise her iki yaklaşımda buldukları normalizasyon hatalarını aşmak için doğrusal olmayan optimizasyon problemi olarak formülize ettikleri bulanık ağırlıkları türeten yeni bir logaritmik en küçük kareler yaklaşımı sunmuşlardır. Xu (2000), uzaklık ölçümüne dayanan bulanık en küçük kareler yöntemini önermiştir. Buckley (1985) ise yamuk bulanık karşılaştırmalar için geometrik ağırlık yöntemini kullanmıştır. Yine Buckley vd. (2001), Saaty'nin klasik AHS yöntemini doğrudan bulanıklaştırarak uyguladıkları bir yöntem önermişlerdir. Ramik ve Korviny (2010) ise bulanık karşılaştırma matrislerinin tutarlık hesaplamalarını ele almış, yeni bir tutarlılık yöntemi önermiş, bulanık ağırlıkları, genişletilmiş geometrik ortalama yönteminin kullanıldığı bir optimizasyon modeliyle hesaplamışlardır.

Bahsedilen tartışmalar ve getirilen eleştiriler ışığında, tez çalışmasında kullanılan BAHS yöntemi hesaplamaları aşağıda açıklanan adımlarla gerçekleştirilmiştir (Calabrese vd. 2013).

Adım 1: İlk aşama olarak karar vericilerin kriterler hakkındaki sözlü düşünceleri Tablo 2.10'da gösterilen üçgen bulanık sayılara çevrilir. Bu bulanık

sayıları içeren, kriterlerin birbirlerine göre üstünlüklerini gösteren bulanık karşılaştırma matrisi $(\tilde{A})$ oluşturulur. Matrisin elemanları $\tilde{a}_{ij} = (l(\tilde{a}_{ij}), m(\tilde{a}_{ij}), u(\tilde{a}_{ij}))$ ve tersleri $\tilde{a}_{ij}^{-1} = \left(\frac{1}{u(\tilde{a}_{ij})}, \frac{1}{m(\tilde{a}_{ij})}, \frac{1}{l(\tilde{a}_{ij})}\right)$ olmak üzere sırasıyla $l(\tilde{a}_{ij})$, $m(\tilde{a}_{ij})$ ve $u(\tilde{a}_{ij})$ alt, orta ve üst değerleridir. Bulanık karşılaştırma matrisinin tutarlılığı (2.38-2.40) arasında verilen eşitliklerle hesaplanır. Matrisin tutarlı bulunması halinde diğer adıma geçilir aksi durumda tekrar karşılaştırma yapılır ve yeni karşılaştırma matrisi oluşturulur.

Adım 2: Bulanık karşılaştırma matrisinin her bir satırı ayrı ayrı toplanır (Eşitlik 2.41)

Adım 3: Satır toplamaları normalize edilir ve bulanık ağırlıklar bulunur. Normalize işleminde mertebe analizinden farklı olarak Wang vd. (2008)'nin düzeltmesi yani eşitlik (2.46) kullanılmıştır. Bunun nedeni Chang (1996) önerdiği şekliyle yapılan normalizasyon işlemlerinin sınırlılıklarını aşabilmek ve kriter ağırlıklarını doğru bir şekilde hesaplayabilmektir

Adım 4: Bulanık ağırlıklar bulanık olmayan ağırlıklara (Calabrese vd. 2013: 3750) aşağıdaki eşitlik (2.47) ile çevrilir. Bu işlem bir diğer ifadeyle durulaştırmadır.

$$w_i = \frac{l(\tilde{w}_i) + m(\tilde{w}_i) + u(\tilde{w}_i)}{3} \quad i = 1, \dots, n \quad (2.47)$$

Adım 5: Bulunan ağırlıklar klasik yöntemle normalize edilir (Ulutas vd., 2016).

$$w_i^* = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, \quad i = 1, \dots, n \quad (2.48)$$

Adım 6: Uygulamada alt kriter ağırlıkları matrisi (w_{YEM}), yapısal eşitlik modeliyle bulunmuş, tedarikçilerin alt kriterlere göre değerlendirilmesi ve ana kriterlerin karşılaştırılması ilk beş adımda özetlendiği şekliyle BAHS yöntemiyle yapılmıştır. Bu hesaplamalarla sırasıyla tedarikçilerin alt kriterlere göre öncelik matrisi w_{Ti} ve ana kriter ağırlık matrisi W_K elde edilmiştir. Yerel ağırlıklar eşitlik (2.49-2.50) yardımıyla sentezlenerek genel ağırlıklara ve nihayetinde tedarikçi skorlarına ulaşılmıştır.

$$w_k = w_{YEM} \times W_K \quad (2.49)$$

$$TS_j = w_{Ti} \times w_k \quad j = 1, 2, 3, 4 \quad (2.50)$$





III.BÖLÜM

3. BULGULAR

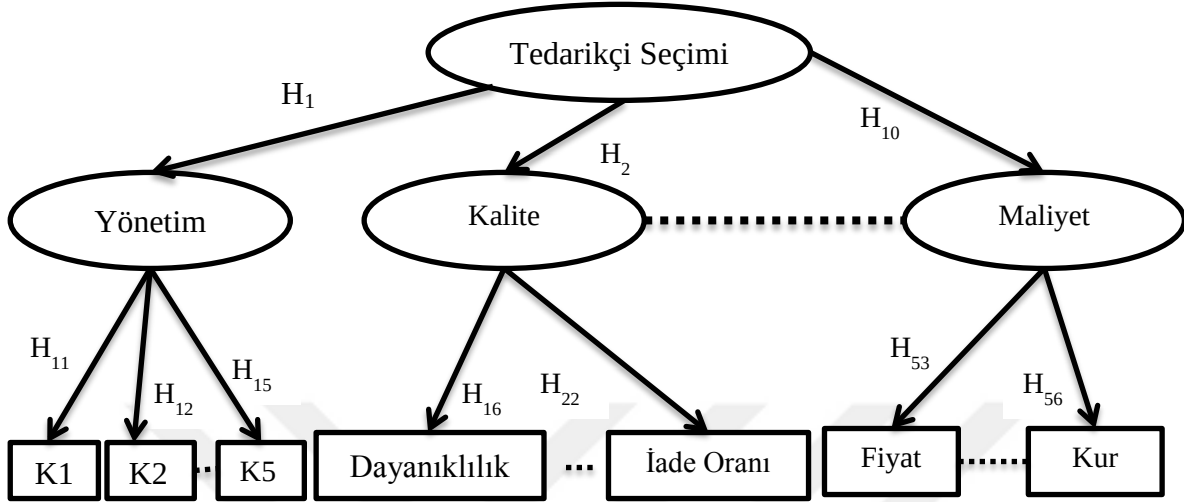
Tedarikçi seçim uygulaması için vasıflı çelik sektörü araştırma sahası olarak seçilmiş, tedarikçi seçimi için kurulan model, imalatında kullanmak üzere vasıflı çelik tedarik ettiği teyit edilen Sivas'ta faaliyet gösteren büyük ölçekli bir işletme için gerçekleştirilmiştir. Uygulamanın ilk bölümünde sektörde faaliyet gösteren işletmelerden elde edilen veri, vasıflı çelik ürünleri tedarik ederken göz önünde bulundurulacak kriterleri belirlemede ve bu kriterlerin geçerli bir yapı oluşturmada ve kriter ağırlıklarının hesaplanılmasında kullanılmıştır. Uygulamanın bu safhasında kurulan tedarikçi seçimi modeli yapısal eşitlik modeli ile sınanmıştır. Uygulamanın ikinci bölümünde ise, kurulan hiyerarşik model üzerinden tedarikçi seçimi yapılacak işletmenin tepe yöneticisiyle kriterlerin karşılaştırılması yapılmış ve muhtemel tedarikçilerin karşılaştırmaları da yapılarak en uygun tedarikçinin seçimi BAHS yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.

3.1. Yapısal Eşitlik Modeli Bulguları

3.1.1. Hiyerarşik Yapının Kurulması

Uygulama için hiyerarşik gösterim Şekil 3.1.'de verilmiştir. Oluşturulan yapı çalışmanın YEM aşamasında test edilmiş, son hali verilmiş, alt kriter ağırlıkları bulunmuş; BAHS yöntemiyle de tedarikçi alternatiflerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Uygulamada kullanılacak tedarikçi seçim kriterleri, Punniyamoorthy vd. (2011)'nin demir çelik sektöründe uygulanmış benzer bir çalışmasından uyarlanmış, uygulama sürecinde farklılaştırılmıştır. Bahsedilen çalışmada 46 kriter 10 ana kriter ile birlikte hiyerarşik bir yapıda kullanılmıştır. Tedarikçi seçimi sürecinde önem verilen alt kriterlerin ait oldukları ana kriterlerle ilişki düzeyi test edilmiş, zayıf ilişki gösterenler ve diğer alt kriterlerle kuramsal olarak anlamlı bir faktörde toplanamayanlar modelden çıkarılmıştır. Bazı alt kriterlerin başlangıç modelinde atandığı ana kriterlerle ilişkisi zayıf olsa da başka ana kriterlere atandığı görülmüştür. Kuramsal olarak izah edilebilecek bu değişiklikler yapılarak 9 ana kriter ve 32 alt

kriterden oluşan, vasıflı çelik tedarikçisi seçimi için kullanılacak nihai model elde edilmiştir.



Şekil 3.1. Uygulamanın Hiyerarşik Gösterimi

Kurulan tedarikçi seçimi modelinde Şekil 3.1’de gösterilen yollara karşılık gelen hipotezler test edilmiştir. Bu hipotezlerden bazıları aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

H₁: Tedarikçi seçiminin önemi tedarikçinin yönetim ve organizasyon düzeyinin önemli görülmesine neden olmaktadır.

H₂: Tedarikçi seçimine verilen önem tedarikçinin kalite düzeyine önem verilmesine yol açmaktadır.

H₁₆: Tedarikçinin kalite düzeyine verilen önem ürün dayanıklılığına önem verilmesini sağlamaktadır.

H₅₃: Tedarikçi seçimi için maliyet kriterine verilen önem, sunulan rekabetçi fiyata önem verilmesini sağlamaktadır.

Bir başka deyişle, her bir ok, işaret ettiği maddenin kendi örtük değişkeninin ne kadar iyi bir temsilcisi olduğuna ilişkin fikir verir (Şimşek 2007: 9).

3.1.2. Verinin Hazırlanması ve Anket Çalışması

Vasıflı çelik sektöründe tedarikçi seçimi için kriterlerin belirlenmesi ve seçim modelinin oluşturulmasında kullanılacak veri, vasıflı çelik tedarik eden üretim işletmelerine uygulanan anket çalışmasıyla elde edilmiştir. Yapılan sektör araştırmasında incelen işletme sayısı, uygun bulunup iletişim bilgileri alınan işletme sayısı, ulaşılabilen ve anket formu gönderilen işletme sayısı, geri dönüş alınan işletme sayısı sektörler bazında Tablo 3.1.' de verilmiştir. Bu işletmelerden bazıları birden çok sektöre yönelik faaliyette bulunduğu için, inceleme safhasında bulundukları sektörden farklı bir sektörde geri bildirimde bulunmuşlardır. Madeni eşya sanayi, rulman-valf dişli sanayi, motor-bisiklet sanayi, demiryolu ve havacılık sanayi gibi sayıca az işletme ihtiva eden sektörler, faaliyetlerine uygun sektörler altında toplanmıştır. Ayrıca firma rehberlerinde bulundukları sektör yerine daha özel bir sektör tanımlamasında bulunan işletmeler, genel bir sektörde belirtilmiştir.

Tablo 3.1. Anket Çalışmasında İncelenen, Uygun Bulunan, Ulaşılan ve Dönüş Alınan İşletme Sayıları

SEKTÖRLER	İncelen	Uygun	Ulaşılan	Anket Uygulanan
Demir-Çelik Metal Sanayi	443	202	145	49
Otomotiv Sanayi	409	152	131	55
Makina Sanayi	733	255	163	47
TOPLAM	1585	609	439	151

Vasıflı çelik tedariki çalışması için uygun olduğu belirlenen 609 adet işletmeden bazılarında muhatap bulunulamamış, bazılarına ise ulaşılammıştır. Ulaşılanlar da yardımcı olabilecek en yüksek yöneticiyle irtibat kurulmaya çalışılmış, imalatlarında vasıflı çelik malzeme kullanmayanlar ve iş yoğunluğu nedeniyle veya gizlilik politikası sebebiyle yardımcı olamayacaklarını belirtenler elenmiştir. İmalatlarında vasıflı çelik kullandığı teyit edilen ve katkı sunmayı kabul eden işletmelere e-posta adresleri alınarak çalışma linki ulaştırılmıştır (Ek: 1). Gönderilen 439 anketten 151 tanesi doldurulmuştur.

3.1.3. Ham Verinin Betimsel İstatistikleri ve Değerlendirilmesi

Veri grubunun örneklem sayısı 151, değişken sayısı ise 46 dır. Veri, eksik gözlem içermemektedir. Anket 5'li likert ölçeği olarak düzenlenmiş; vasıflı çelik

tedarik ederken işletmenin, tedarikçisinde göz önünde bulundurduğu kriterleri önem derecesine göre belirtmesi istenmiştir. Elde edilen veriye ilişkin tasviri istatistikler Tablo 3.2.'de sunulmuştur. Anket formu internet ortamında doldurulduğu ve eksik veriye izin verilmediği için eksik gözlem bulunmamaktadır. Cevapların tüm maddeler için aynı değerde doldurulup doldurulmadığı incelenmiş, 3 gözlem için maddeler arasında düşük sapma görülse de örneklem sayısını düşürmemek için bu gözlemler çalışmada tutulmuştur. Uygulamada kullanılan maddeler 5'li likert ölçeğinde olduğundan uç değerler açısından değerlendirmede bulunulmamıştır.



Tablo 3. 2. Ham Verinin Betimsel İstatistikleri

	Örnek Sayısı		Ortalama	Std. Sapma	Çarpıklık	Basıklık	Min	Maks	Kritik Oran
	Geçerli	Kayı							
Buyukluk	151	0	3,13	,806	,142	-,295	1	5	0,72
Konum	151	0	3,41	,896	,104	-,723	2	5	0,53
İtibar	151	0	3,65	,714	-,149	-,146	2	5	-0,76
Egitim_düzeyi	151	0	3,42	,770	,348	-,225	2	5	1,76
Etik	151	0	3,77	,750	-,277	-,112	2	5	-1,40
Urun_dayanıklılık	151	0	4,62	,526	-,924	-,301	3	5	-4,68
iso_sertfk	151	0	4,29	,727	-,510	-,961	3	5	-2,58
TKY	151	0	4,01	,833	-,165	-1,203	2	5	-0,84
Perf_Standart	151	0	4,66	,542	-1,284	,697	3	5	-6,50
Ret_orani	151	0	4,64	,521	-1,025	-,077	3	5	-5,19
İade_orani	151	0	4,17	,710	-,374	-,541	2	5	-1,90
Kalite_talep	151	0	4,11	,750	-,368	-,556	2	5	-1,87
Tasarım	151	0	3,30	,908	-,248	,074	1	5	-1,26
Yenilikçilik	151	0	3,49	,847	-,135	-,265	1	5	-0,68
Araştırma	151	0	2,77	,905	,477	-,130	1	5	2,42
Arge_kapasite	151	0	2,96	1,006	,319	-,362	1	5	1,62
Gelecek_kapasite	151	0	2,98	1,049	,532	-,698	1	5	2,70
Surec_esneklik	151	0	3,43	,868	,217	-,592	2	5	1,10
Hacim_Esneklik	151	0	3,95	,636	-,435	,889	2	5	-2,20
Kalite_kontrol	151	0	4,39	,611	-,462	-,637	3	5	-2,34
Makine_kapasite	151	0	4,23	,605	-,154	-,493	3	5	-0,78
Tasima_paketlem	151	0	3,26	,883	,469	-,387	2	5	2,38
Tam_zamanında_	151	0	2,90	1,232	,691	-,988	1	5	3,50
İs_egitim	151	0	3,07	,994	,265	-,580	1	5	1,34
Finansal_buyuklu	151	0	2,49	,930	,382	-,379	1	5	1,94
Finansal_istikrar	151	0	2,61	,894	,289	-,398	1	5	1,47
Teslimat_suresi	151	0	4,49	,610	-,767	-,378	3	5	-3,89
Teslimat_hacmi	151	0	4,39	,632	-,703	,312	2	5	-3,56
Teslimat_guvenli	151	0	4,36	,616	-,420	-,647	3	5	-2,13
Paket_standart	151	0	3,73	,774	,251	-,835	2	5	1,27
İliskili_urun	151	0	2,89	,988	,510	-,516	1	5	2,58
Satis_sonrasi_hiz	151	0	3,91	,848	-,233	-,795	2	5	-1,18
Yedek_parca	151	0	2,75	1,150	,640	-,582	1	5	3,24
Teknik_destek	151	0	3,77	,920	-,355	-,426	1	5	-1,80
Satis_temsilcisi	151	0	3,55	,862	-,187	-,288	1	5	-0,95
Uzun_iliski	151	0	3,57	,853	-,154	-,562	2	5	-0,78
Guven_anlayis	151	0	3,97	,702	-,081	-,623	2	5	-0,41
Hassas_bilgi	151	0	2,65	,981	,498	-,488	1	5	2,52
Musteri_portfoy	151	0	2,87	,954	-,118	-,665	1	5	-0,60
Cevre_sertfka	151	0	2,89	,918	,003	-,246	1	5	0,01
Koruyucu_ekipma	151	0	2,53	,972	,357	-,267	1	5	1,81
Kaza_kayit	151	0	2,36	,912	,511	-,050	1	5	2,59
Fiyat	151	0	4,61	,553	-1,041	,085	3	5	-5,28
Lojistik_maliyet	151	0	4,32	,698	-,543	-,823	3	5	-2,75
Odeme_kosulu	151	0	4,58	,547	-,803	-,441	3	5	-4,07
Kur	151	0	4,23	,750	-,396	-1,125	3	5	-2,00

Değişkenlerin aldığı değerlere göz atıldığında; tedarikçi seçimi için daha önemli görülen maliyet, kalite, teslimat gibi faktörleri oluşturan kriterlerin ortalamalarının yüksek, bu ortalama etrafındaki sapmalarının ise daha düşük olduğu görülmektedir. Aynı şekilde daha az önemli görülen kriterlerde ise ortalamalar düşük, değişkenlik ise fazladır. Bu durum önemli olduğu düşünülen ve cevaplayıcıların da bu önemi tasdik ettiği bazı kriterlerde çarpıklığın yüksek olmasına neden olmuştur. Çarpıklık, $\pm 1,5$ değeri arasında kabul edilebilir bulunsa da, bu değer ± 1 aralığında olması daha yaygın bir kabuldür (Tabachnik ve Fidel 2007). Bu kabülden hareket edildiğinde; ürün performansı ve standartlara uyum, kalite kontrolde ret oranı ve rekabetçi fiyat değişkenleri için hafif çarpıklığın bulunduğu söylenebilir. Çarpıklık için daha katı bir kural, çarpıklık değerlerinin, çarpıklığın standart hatasına bölümüyle elde edilen değerlerin ± 3 aralığında olması gerektiğidir. Çarpıklık için standart hata 0,197, basıklık için 0,392 dir. Tablo 3.2’de kritik oran sütununda görülebileceği gibi; daha önce hafif çarpıklığa sahip olduğu belirtilen değişkenlere ilaveten ürün dayanıklılığı, teslimat süresi ve teslimat hacmi değişkenleri de olması gereken aralığın dışında kalmıştır. Tam zamanında üretim, yedek parça güvenilirliği değişkenlerinde de çarpıklık bulunmuştur. Uygulamanın ilerleyen aşamasında bu değişkenler birden çok faktöre atandığından çalışmadan çıkarılmıştır.

Benzer şekilde değişkenlerin basıklıklarına bakılmış, sınır değerler içerisinde kaldıkları görülmüştür. Böylece, verinin basıklık, çarpıklık ve dağılım şekilleri incelenerek normal dağılıma uygunluk açısından sonraki analizlerde hangi değişkenlerde sorun yaşanabileceği tespit edilmiştir. Normal olmayan değişkenler için dönüşüm yapmak olası olsa da likert ölçeği ile elde edilmiş değişkenler için YEM analizinde bir iyileştirme sunmayacağı için dönüşüm yapılmamıştır.

Gözlenen değişkenler arasındaki ortak ilişkinin yüksekliği parametere tahminlerinde kararsızlığa yol açmaktadır. Tablo 3.3.’de bir bağımsız değişkenin diğer bağımsız değişkenlerle ortak ilişkisini, belirtme katsayısı kullanarak hesaplayan tolerans değerleri 0,10’un altında değildir. Dolayısıyla tolerans değerlerinin tersi olan VIF (Varyans Şişme Değeri) değerleri de genel geçer eşik değer kabul edilen 10’un altındadır (Alpar 2003: 303). Daha kısıtlayıcı bir eşik değer öneren (Maruyama 1998: 64) VIF değerinin 7’den büyük olmamasına dikkat çekmiştir. Bu

değerlendirmeler ışığında tüm gözlenen değişkenler için çoklu doğrusal bağlantıya ilişkin bir sorun olmadığı söylenebilir.

Tablo 3.3. Çoklu Eş Doğrusallık Tablosu

Katsayılar ^a			Katsayılar ^a		
Model	Çoklu eş doğrusallık		Model	Çoklu eş doğrusallık	
	Tolerans	VIF		Tolerans	VIF
Buyukluk	,331	3,017	Is_egitim	,207	4,831
Konum	,264	3,789	Finansal_buyukluk	,178	5,605
Itibar	,448	2,230	Finansal_istikrar	,241	4,154
Egitim_düzeyi	,336	2,979	Teslimat_suresi	,226	4,432
Etik	,311	3,211	Teslimat_hacmi	,216	4,628
Urun_dayaniklilik	,355	2,819	Teslimat_guvenligi	,228	4,388
iso_sertifk	,292	3,425	Paket_standart	,302	3,315
TKY	,322	3,101	İliskili_urun	,288	3,470
Perf_Standart	,277	3,615	Satis_sonrasi_hizmet	,357	2,799
Ret_orani	,324	3,087	Yedek_parca	,240	4,161
Iade_orani	,301	3,324	Teknik_destek	,262	3,822
Kalite_talep	,301	3,319	Satis_temsilcisi	,352	2,843
Tasarim	,330	3,030	Uzun_iliski	,313	3,191
Yenilikcilik	,250	4,003	Guven_anlayis	,411	2,431
Arastirma	,213	4,685	Hassas_bilgi	,201	4,982
Arge_kapasite	,153	6,550	Musteri_portfoy	,401	2,495
Gelecek_kapasite	,167	6,004	Cevre_sertifka	,267	3,739
Surec_esneklik	,217	4,617	Koruyucu_ekipman	,193	5,179
Hacim_Esneklik	,387	2,585	Kaza_kayit	,213	4,702
Kalite_kontrol	,325	3,075	Fiyat	,431	2,320
Makine_kapasite	,310	3,227	Lojistik_maliyet	,357	2,803
Tasima_paketleme	,216	4,620	Odeme_kosulu	,375	2,664
Tam_zamaninda_Urt	,141	7,102	Kur	,386	2,589

3.1.4 AFA Bulguları

Vasıflı çelik sektöründe tedarikçi seçimi için kullanılacak nihai kriterlerinin belirlenmesi amacıyla veri grubuna öncelikle AFA uygulanmıştır. YEM için gerekli uyum endekslerinin hesaplanabilmesi için faktörleştirme yöntemi olarak en çok olabilirlik yöntemi kullanılmıştır. Faktörlerinin etkileşimine izin verileceği için ise eğik döndürme yöntemlerinden Direct Oblimin yöntemi tercih edilmiştir. Tablo

3.4.'de tüm değişkenler için ortak varyanslar verilmiştir. Tüm değerlerin eşik değeri olarak genel geçer kabul edilen 0,30 değerinin üzerinde olduğu görülmektedir.

Tablo 3.4. AFA Ortak Varyanslar Tablosu

Ortak Varyanslar					
	Başlangıç	Faktörleştirme		Başlangıç	Faktörleştirme
Buyukluk	,669	,533	Is_egitim	,793	,639
Konum	,736	,574	Finansal_buyukluk	,822	,716
Itibar	,552	,476	Finansal_istikrar	,759	,620
Egitim_duzeyi	,664	,528	Teslimat_suresi	,774	,768
Etik	,689	,570	Teslimat_hacmi	,784	,739
Urun_dayaniklilik	,645	,595	Teslimat_guvenligi	,772	,737
iso_sertifk	,708	,660	Paket_standart	,698	,591
TKY	,678	,581	İliskili_urun	,712	,638
Perf_Standart	,723	,667	Satis_sonrasi_hizmet	,643	,626
Ret_orani	,676	,605	Yedek_parca	,760	,623
Iade_orani	,699	,521	Teknik_destek	,738	,693
Kalite_talep	,699	,586	Satis_temsilcisi	,648	,562
Tasarim	,670	,498	Uzun_iliski	,687	,600
Yenilikcilik	,750	,651	Guven_anlayis	,589	,491
Arastirma	,787	,768	Hassas_bilgi	,799	,684
Arge_kapasite	,847	,851	Musteri_portfoy	,599	,517
Gelecek_kapasite	,833	,800	Cevre_sertifka	,733	,688
Surec_esneklik	,783	,679	Koruyucu_ekipman	,807	,832
Hacim_Esneklik	,613	,513	Kaza_kayit	,787	,792
Kalite_kontrol	,675	,600	Fiyat	,569	,453
Makine_kapasite	,690	,736	Lojistik_maliyet	,643	,658
Tasima_paketleme	,784	,767	Odeme_kosulu	,625	,636
Tam_zamaninda_Urt	,859	,852	Kur	,614	,564
Faktörleştirme Yöntemi: En Çok Olabilirlik					

Tablo 3.5.'de kalıp matrisi verilmiştir. Bazı değişkenlerin hiçbir faktöre yüklenmediği bazılarının ise birden çok faktöre yüklendiği görülmektedir. Örnek büyüklüğü arttıkça kabul edilebilir faktör yükü azalsa da, çalışmada kullanılan örnek büyüklüğünün 151 olması nedeniyle, uyum geçerliliği açısından bir faktördeki değişkenin o faktördeki yükünün 0,50' den fazla olmasına dikkat edilmiştir. Faktörlerin birbirlerinden farklı ve ilişkisiz olması beklenir. Bir değişken kendi faktörü kadar başka faktörlerle ilişki içerisinde olmamalıdır ki bu özelliğe ayırma

geçerliliği denir. Değişkenin farklı faktörlerdeki yükü arasındaki farkın 0,20' den az olmamasına da dikkat edilmiştir.

Tablo 3.5. AFA Kalıp Matrisi ve Faktör Yükleri

Kalıp Matrisi ^a									
	Faktör								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Finansal_buyukluk	,599								
Tam_zamaninda_Urt	,597								,287
Finansal_istikrar	,578								
İliskili_urun	,562								
Tasima_paketleme	,504						-,264		
Hassas_bilgi	,443			,249					
Yedek_parca	,435			,303					
Teslimat_suresi		,872							
Teslimat_hacmi		,856							
Teslimat_guvenligi		,786							
Paket_standart	,327	,375							
Ret_orani			,748						
Perf_Standart			,729						
iso_sertfk			,707					,225	
Urun_dayaniklilik			,692						
TKY			,591						,258
Iade_orani	,218		,447						
Kalite_talep	,294		,403						,234
Teknik_destek				,694					
Guven_anlayis				,693					
Uzun_iliski				,649				,247	
Satis_temsilcisi				,642					
Satis_sonrasi_hizmet				,602					
Musteri_portfoy				,450				,366	
Koruyucu_ekipman					,873				
Kaza_kayit					,804				
Cevre_sertfka					,744				
Odeme_kosulu						,782			
Lojistik_maliyet						,709			
Fiyat						,670			
Kur		,206				,646			
Makine_kapasite							-,806		
Kalite_kontrol							-,722		
Hacim_Esneklik							-,611		
Surec_esneklik	,292						-,334		,293
İtibar								,630	
Buyukluk								,577	
Egitim_duzeyi								,548	
Etik								,521	,208
Konum	,330				,292			,436	
Arge_kapasite									,738
Arastirma									,702
Yenilikcilik					,259				,578
Tasarim									,549
Gelecek_kapasite	,288								,444
Is_egitim	,248						-,240		,319
Faktörleştirme Yöntemi: En Çok Olabilirlik									
a. Döndürme 14 iterasyonda tamamlandı.									

Belirtilen kriterler dikkate alınarak; hassas bilgi paylaşımı, yedek parça bulunabilirliği, Paketleme standartları, iade oranı, kalite beklentilerine cevap,

tedarikçinin müşteri portföyü, süreç esnekliği, gelecekteki kapasite beklentisi ve iş eğitimleri değişkenleri modelden çıkarılmıştır. Tedarikçinin finansal durumuna ilişkin değişkenlerle beraber aynı faktöre yüklenen taşıma paketleme yetenekleri, ilişkili ürünlerin birlikte teslimatı ve tam zamanında üretim değişkenleri de modelden çıkarılmıştır. Tedarikçinin genel durumuna ilişkin faktörde toplanması beklenen konum değişkeninin birden çok faktöre yüklenmesi sebebiyle modelden çıkarılmasıyla, tedarikçinin fiziksel büyüklüğünün faktör yükü kabul edilebilir düzeyin altına düşmüştür. Modelden çıkarılan değişkenlerden sonra AFA tekrarlanmış, Tablo 3.6. ve Tablo 3.7'deki nihai sonuçlara ulaşılmıştır.

Tablo 3.6. Nihai Modeldeki Değişkenlerin Ortak Varyansları

Ortak Varyans					
	Başlangıç	Faktörleştirme		Başlangıç	Faktörleştirme
İtibar	,479	,466	Finansal_istikrar	,731	,773
Egitim_düzeyi	,615	,698	Teslimat_suresi	,744	,814
Etik	,617	,671	Teslimat_hacmi	,746	,731
Urun_dayanıklilik	,559	,558	Teslimat_guvenligi	,708	,689
iso_sertifk	,652	,618	Satis_sonrasi_hizmet	,603	,640
TKY	,623	,560	Teknik_destek	,677	,693
Perf_Standart	,693	,741	Satis_temsilcisi	,620	,586
Ret_orani	,578	,581	Uzun_iliski	,549	,545
Tasarim	,620	,526	Guven_anlayis	,507	,496
Yenilikcilik	,704	,645	Cevre_sertifka	,648	,693
Arastirma	,765	,818	Koruyucu_ekipman	,753	,825
Arge_kapasite	,796	,823	Kaza_kayit	,739	,796
Hacim_Esneklik	,556	,521	Fiyat	,482	,440
Kalite_kontrol	,627	,630	Lojistik_maliyet	,622	,645
Makine_kapasite	,637	,702	Odeme_kosulu	,593	,653
Finansal_buyukluk	,757	,867	Kur	,551	,554
Faktörleştirme Yöntemi: En Çok Olabilirlik					

Tüm değişkenlerin ortak varyansları 0,3'ten büyük olduğu, kalıp matrisinde faktör yüklerinin 0,60'ın üzerinde bulunduğu ve birden çok faktöre yüklenmenin görülmemesi nedeniyle tedarikçi seçiminde kullanılacak modeli oluşturacak değişkenler ve hangi faktör altında toplandıkları belirlenmiştir. Değişkenlerin yüklendikleri faktöre ilişkin güvenilirlik analizleri yapılmış ve Cronbach alfa güvenilirlik değerleri Tablo 3.7.'ye eklenmiştir. Değişkenlerin aynı faktöre

yüklenmelerinin ne ölçüde güvenilir olduğuna karşılık gelen bu değerin 0,7'den fazla olması beklenir.

Tablo 3.7. Nihai Model AFA Kalıp Matrisi ve Faktör Yükleri

Kalıp Matrisi^a									
Güvenilirlik (α)	0,896	0,883	0,847	0,857	0,812	0,894	0,883	0,809	0,817
Faktörler	Teknik	Teslimat	Kalite	Hizmet	Maliyet	Finans	Çevre	Yönetim	Üretim
Arastirma	,820								
Arge_kapasite	,767								
Tasarim	,649								
Yenilikcilik	,642								
Teslimat_suresi		,889							
Teslimat_hacmi		,828							
Teslimat_guvenligi		,736							
Perf_Standart			,802						
Ret_orani			,724						
iso_sertfk			,714						
Urun_dayaniklilik			,681						
TKY			,610						
Teknik_destek				,730					
Guven_anlayis				,699					
Satis_temsilcisi				,652					
Satis_sonrasi_hizmet				,617					
Uzun_iliski				,601					
Odeme_kosulu					,808				
Lojistik_maliyet					,706				
Fiyat					,656				
Kur					,638				
Finansal_buyukluk						-,786			
Finansal_istikrar						-,754			
Koruyucu_ekipman							-,851		
Kaza_kayit							-,787		
Cevre_sertfka							-,722		
Egitim_duzeyi								,732	
Etik								,656	
Itibar								,637	
Makine_kapasite									,772
Kalite_kontrol									,746
Hacim_Esneklik									,620
Faktörleştirme Yöntemi: En Çok Olabilirlik									
Döndürme Yöntemi: Kaiser Normalizasyonlu Direct Oblimin.									
a. Döndürme 14 iterasyonda tamamlandı.									

Kullanılan veri grubunun faktör analizine uygunluğuna işaret eden KMO değeri 0,851 bulunmuştur. Aynı şekilde faktör analizinin yapılabilmesi için değişkenlerin belli ölçüde ilişkili olduklarını sınavan Bartlett testi de anlamlı bulunmuştur.

Modeli oluşturan faktörlerin kovaryans matrisi Tablo 3.8.'de verilmiştir. Faktörler arasında korelasyon değerlerinin 0,7'den küçük olması istenir. En yüksek korelasyon teknik ve çevre faktörleri arasında görülmektedir. Bu iki faktör arasındaki korelasyon sınır değerlerde olduğu için, ayırma geçerliliği açısından bir sorun gözükmemektedir.

Tablo 3. 8. Nihai Modeldeki Faktör Korelasyonları

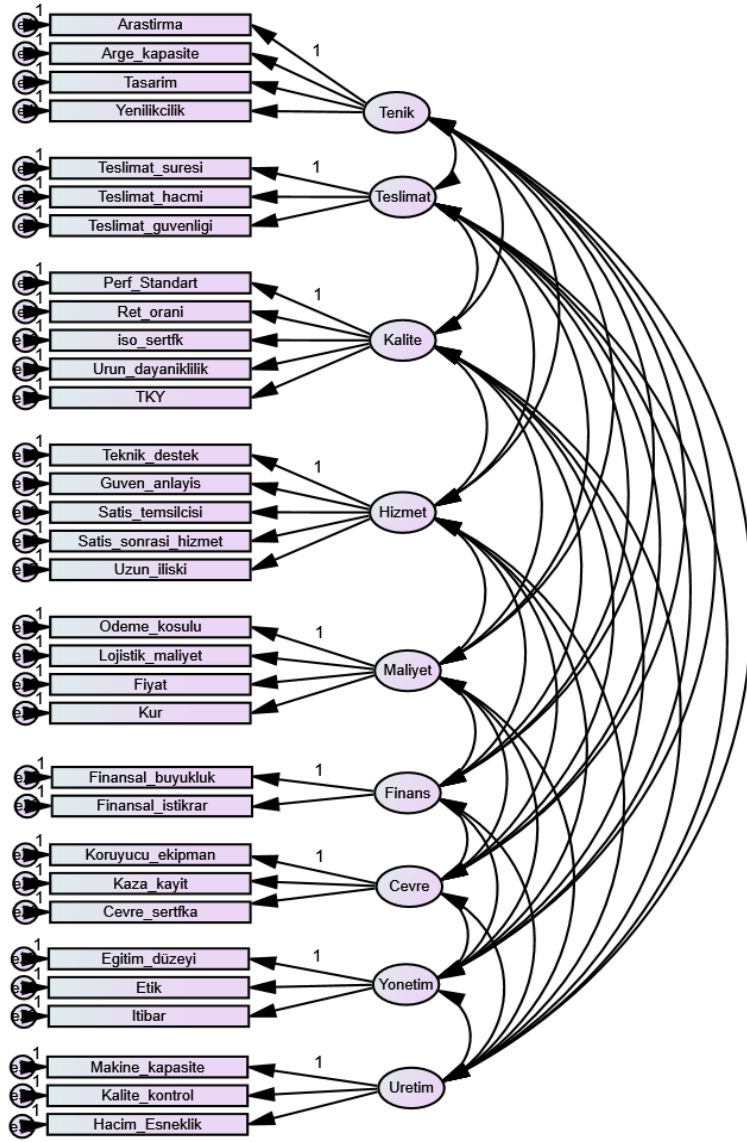
Faktör Korelasyon Matrisi									
Faktör	Teknik	Teslimat	Kalite	Hizmet	Maliyet	Finans	Çevre	Yönetim	Üretim
Teknik	1,000	,211	,306	,342	,127	-,458	-,586	,379	,316
Teslimat	,211	1,000	,088	,296	,378	-,214	-,057	,170	,067
Kalite	,306	,088	1,000	,091	,293	-,090	-,189	,219	,359
Hizmet	,342	,296	,091	1,000	,196	-,407	-,342	,314	,285
Maliyet	,127	,378	,293	,196	1,000	-,132	-,086	,078	,052
Finans	-,458	-,214	-,090	-,407	-,132	1,000	,385	-,306	-,252
Çevre	-,586	-,057	-,189	-,342	-,086	,385	1,000	-,372	-,302
Yönetim	,379	,170	,219	,314	,078	-,306	-,372	1,000	,323
Üretim	,316	,067	,359	,285	,052	-,252	-,302	,323	1,000
Faktörleştirme Yöntemi: En Çok Olabilirlik									
Döndürme Yöntemi: Kaiser Normalizasyonlu Direct Oblimin.									

AFA ile Punniyamoorthy vd. (2011)'nin tedarikçi seçimi için kullandıkları model, vasıflı çelik tedarikçi seçimi için uyarlanmıştır. Bahsedilen çalışmada kullanılan 46 kriterden 14 tanesi yapılan saha çalışmasıyla elde edilen verinin işaret ettiği şekilde uygun bir model oluşturabilmek için çıkarılmıştır. Yine aynı çalışmada iki ayrı ana kriter olarak kullanılan tedarikçinin hizmet düzeyi ve tedarikçiyle kurulan ilişkiler ana kriterlerini oluşturan gözlenen değişkenler mevcut çalışmada aynı faktöre yüklendikleri için bu iki ana kriter birleştirilmiş hizmet kriteri olarak isimlendirilmiştir.

3.1.5 Birinci Düzey Doğrulamalı Faktör Analizi ve Ölçme Modeli Bulguları

Tedarikçi seçimi için kullanılacak, AFA ile oluşturulan 9 örtük değişken ve 32 gözlenen değişkenden oluşan ölçme modeli Şekil 3.2'de verilmiştir. Gözlenen değişkenlerdeki değişimin örtük değişkenler aracılığıyla açıklanabildiğinin varsayıldığı modelde, her bir içsel değişken için 32 hata terimi, dışsal değişkenler arasında 36 adet kovaryans tanımlanmıştır. Örtük ve gözlenen değişkenler arasında ilişkilerin tahmin edilebilmesi için başlangıçta her bir örtük değişkene ilişkin yol parametresi bire eşitlenmiştir. Bunun sebebi örtük değişkenlerin teorik yapılar olması

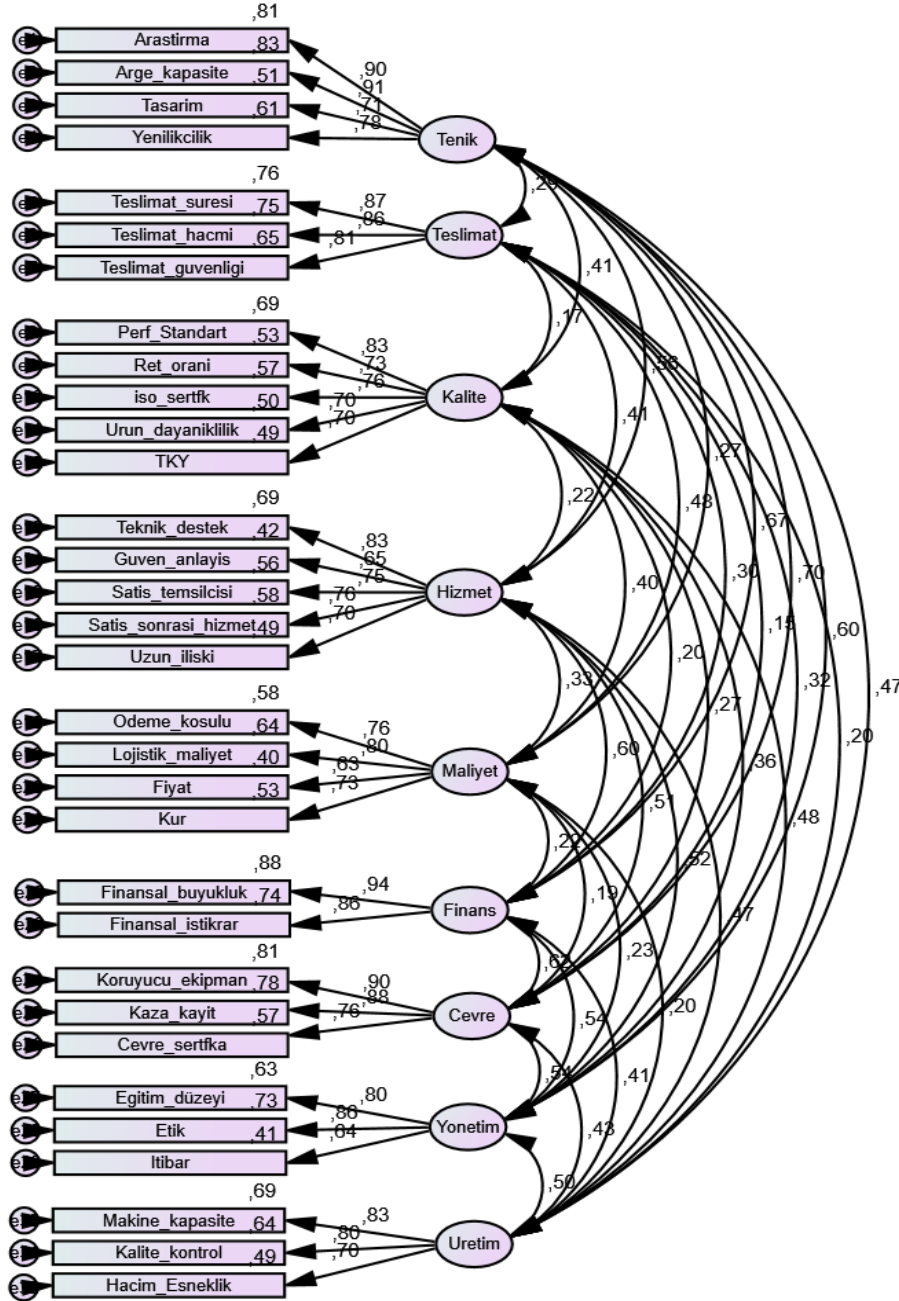
sebebiyle belli bir ölçme birimine sahip olmamaları ve bu nedenle ölçme modelleri test edilirken her birisini en iyi şekilde tanımladığı düşünülen gözlenen değişkene sabitleme gerekliliğidir (Şimşek 2007: 8). Gözlenen değişken sayısı 32, örtük değişken sayısı 9, hata değişkenleri sayısı 32'dir. 9 tane yol parametresi ve 32 tane hata teriminin gözlenen değişkene ilişkin parametreleri sabitlenmiştir.



Şekil 3.2. Tedarikçi Seçimi için Ölçme Modeli

Ölçme modelinin çözümü Şekil 3.3.'te verilmiştir. Gözlenen değişkenlerle örtük değişkenleri arasında yollar anlamlı bulunmuştur. Yollar üzerinde ilgili standardize katsayılar verilmiştir. Teknik faktöründe meydana gelen bir standart

sapma değişimin araştırma kuruluşlarıyla iş birliği değişkeninde 0,90'lık bir değişime yol açacağı şeklinde yorumlanan bu katsayıların 0,7 üzerinde olması önerilmektedir. Standardize çözümleri verilen bu değerler bir maddenin kendi örtük değişkenin ne kadar iyi bir temsilcisi olduğuna ilişkin fikir verir (Şimşek 2007: 85).



Şekil 3.3. Tedarikçi Seçimi için Ölçme Modelinin Bulguları

İlgili yol katsayılarının kareleri olan gözlenen değişkenlerin üzerindeki değer ise örtük değişkendeki değişimin gözlenen değişken tarafından ne oranda açıklandığına karşılık gelmektedir. Örneğin çevre örtük değişkeni değişkenindeki değişimin yüzde 81'i koruyucu ekipman kullanılması tarafından açıklanmaktadır. Değişimin kalan %19 luk kısmı ise hata varyansıdır. Dışsal değişkenlere ait korelasyon değerleri Tablo 3.9.'da verilmiştir. AFA'da olduğu gibi teknik faktörünün diğer faktörlerle ilişkisinin yüksek ama sınır değerde olduğu görülmektedir.

Tablo 3.9. Ölçme Modelindeki Ana Kriterler Arası Korelasyonlar

Korelasyonlar			Tahmin	Korelasyonlar			Tahmin
Teknik	<-->	Teslimat	0,299	Kalite	<-->	Cevre	0,227
Teknik	<-->	Kalite	0,362	Kalite	<-->	Yonetim	0,304
Teknik	<-->	Hizmet	0,564	Kalite	<-->	Uretim	0,467
Teknik	<-->	Maliyet	0,275	Hizmet	<-->	Maliyet	0,33
Teknik	<-->	Finans	0,672	Hizmet	<-->	Finans	0,605
Teknik	<-->	Cevre	0,694	Hizmet	<-->	Cevre	0,51
Teknik	<-->	Yonetim	0,601	Hizmet	<-->	Yonetim	0,524
Teknik	<-->	Uretim	0,469	Hizmet	<-->	Uretim	0,466
Teslimat	<-->	Kalite	0,164	Maliyet	<-->	Finans	0,216
Teslimat	<-->	Hizmet	0,413	Maliyet	<-->	Cevre	0,194
Teslimat	<-->	Maliyet	0,477	Maliyet	<-->	Yonetim	0,225
Teslimat	<-->	Finans	0,295	Maliyet	<-->	Uretim	0,2
Teslimat	<-->	Cevre	0,153	Finans	<-->	Cevre	0,623
Teslimat	<-->	Yonetim	0,32	Yonetim	<-->	Finans	0,539
Teslimat	<-->	Uretim	0,203	Uretim	<-->	Finans	0,406
Kalite	<-->	Hizmet	0,2	Yonetim	<-->	Cevre	0,537
Kalite	<-->	Maliyet	0,425	Uretim	<-->	Cevre	0,43
Kalite	<-->	Finans	0,179	Yonetim	<-->	Uretim	0,497

Ölçme modelinin bir bütün olarak anlamlılığı için uyum iyiliği değerlerine bakmak gerekir. Model için ki kare değerinin serbestlik derecesine bölümüyle elde edilen değer 3'ün altında olması, uyum indislerinden GFI'nın 0,95, CFI'nın 0,90 üzerinde olması ve RMSEA değerinin 0,05 in altında olması gibi uyum kriterleri bulunmaktadır (Hu ve Bentler 1999). Standardize edilmiş hata kareler ortalamasının karekökü (SRMR) bir diğer uyum kriteridir. Bu değer 0,08 in altında olması iyi bir model uyumunu göstermektedir. Modelde elde edilen uyum değerleri ve iyi bir model için önerilen eşik değerler Tablo 3.10.'da verilmiştir.

Tablo 3. 10. Ölçme Modelindeki Uyum İyiliği Değerleri

Kriter	Değerler	Eşik değerler	Kriter	Değerler	Eşik değerler
CMIN/DF	1,333	<3	SRMR	0,0621	<0,08
RMSEA	0,047	<0,05	NFI	0,825	>0,90
GFI	0,819	>0,90	AGFI	0,776	>0,90
CFI	0,948	>0,90	IFI	0,95	>0,90
PCLOSE	0,673	>0,05	ECVI	5,145	<7,04

GFI ve AGFI kriterlerinin örnek büyüklüğüne aşırı duyarlılığı sebebiyle kullanılmamasını öneren Sharma vd. (2005)'nin yanında eğer kullanılacaksa diğer indekslerle birlikte dikkatli değerlendirilmesi gerektiğini ifade eden çalışmalar bulunmaktadır (Hooper vd. 2008). Benzer şekilde, Mulaik vd. (1989)'ne göre NFI indeksi örnek büyüklüğü 200'ün altında olan modellerin uyumunu düşük göstermektedir. NFI indeksinin örnek büyüklüğüne duyarsız hale getirilmiş hali olan CFI, örnek hacmi küçük modellerde daha iyi bir uyum ortaya koymaktadır (Şimşek 2007: 48). Çapraz geçerlilik indekslerinden birisi olan ECVI uyum iyiliği kriteri ise kurulan modelin, tüm parametreleri tanımlanmış yani doymuş modelle kıyaslanmasıyla sınırlanır. Kurulan model için 5,145 olan bu değerin, doymuş model için bulunan 7,04 değerinden düşük olması, modelin anlamlı olduğuna işaret etmektedir. Örnek büyüklüğüne duyarlı GFI, AGFI ve NFI kriterleri dışındaki diğer kriterler kurulan modelin iyi bir uyum iyiliğine sahip olduğunu göstermektedir.

Modelin uyum iyiliği yanında, tedarikçi seçimi modelinin birinci düzeyi için kurulan hipotezler doğrulanmıştır. Örtük değişkenlerden kendi gözlenen değişkenini yordayan parametrelerin hepsinin anlamlı olduğu Tablo 3.11.'de görülmektedir.

Tablo 3.11. Ölçme Modelindeki Regresyon Katsayıları

Regresyon Ağırlıkları			Tahmin	St.Hata	K.Oran	P
Arastirma	<---	Teknik	1,31	0,131	9,971	***
Arge_kapasite	<---	Teknik	1,48	0,147	10,084	***
Tasarim	<---	Teknik	0,969	0,094	10,302	***
Yenilikcilik	<---	Teknik	1,032	0,1	10,302	***
Teslimat_suresi	<---	Teslimat	1,07	0,092	11,649	***
Teslimat_hacmi	<---	Teslimat	1,101	0,095	11,578	***
Teslimat_guvenligi	<---	Teslimat	0,935	0,08	11,649	***
Perf_Standart	<---	Kalite	1,216	0,121	10,081	***
Ret_orani	<---	Kalite	0,777	0,095	8,153	***
iso_sertfk	<---	Kalite	1,287	0,158	8,153	***
Urun_dayaniklilik	<---	Kalite	0,956	0,114	8,388	***
TKY	<---	Kalite	1,32	0,182	7,238	***
Teknik_destek	<---	Hizmet	1,19	0,118	10,084	***
Guven_anlayis	<---	Hizmet	0,71	0,091	7,787	***
Satis_temsilcisi	<---	Hizmet	1,005	0,111	9,068	***
Satis_sonrasi_hizmet	<---	Hizmet	1,075	0,127	8,439	***
Uzun_iliski	<---	Hizmet	0,93	0,11	8,439	***
Odeme_kosulu	<---	Maliyet	0,744	0,083	8,953	***
Lojistik_maliyet	<---	Maliyet	1,596	0,215	7,425	***
Fiyat	<---	Maliyet	0,626	0,084	7,425	***
Kur	<---	Maliyet	0,975	0,114	8,583	***
Egitim_duzeyi	<---	Yonetim	0,951	0,097	9,846	***
Etik	<---	Yonetim	1,413	0,18	7,856	***
Itibar	<---	Yonetim	0,708	0,09	7,856	***
Makine_kapasite	<---	Uretim	1,026	0,107	9,549	***
Kalite_kontrol	<---	Uretim	0,975	0,102	9,549	***
Hacim_Esneklik	<---	Uretim	0,916	0,109	8,389	***
Finansal_buyukluk	<---	Finans	1,134	0,087	12,978	***
Finansal_istikrar	<---	Finans	0,882	0,068	12,978	***
Koruyucu_ekipman	<---	Cevre	1,259	0,111	11,324	***
Kaza_kayit	<---	Cevre	1,157	0,104	11,142	***
Cevre_sertfka	<---	Cevre	0,795	0,07	11,324	***

Ölçme modeli için hesaplanan birleşik güvenilirlik (CR), ortalama çıkarılan varyans (AVE) ve maksimum paylaşılan varyans (MSV) her bir faktör için Tablo 3.12.'te verilmiştir. Kurulan modeldeki faktörlerin CR değerlerinin güvenilirlik için eşik değeri olan 0,7'nin üzerinde olduğu görülmektedir. Uyum geçerliliği için AVE değerlerinin 0,5 üzerinde olması, ayırma geçerliliği için AVE değerlerinin MSV değerlerinden büyük olması ve AVE değerlerinin karekökünün faktörün diğer faktörlerle olan korelasyonlarından fazla olması şartları modelde sağlanmıştır (Hair

vd. 2010). Böylece kurulan modelin güvenilirlik ve geçerliliğin sağlandığı söylenebilir.

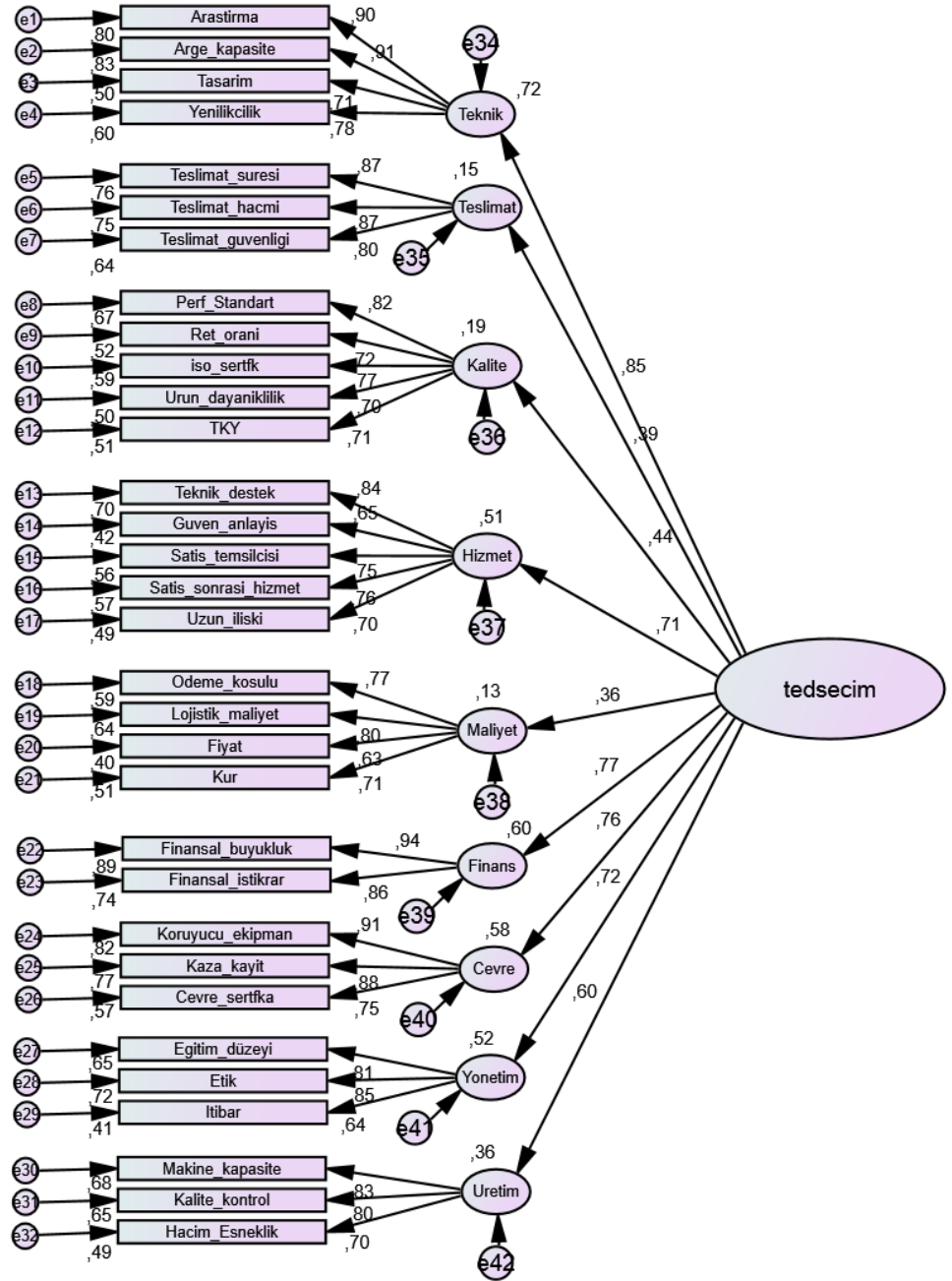
Tablo 3. 12. Ölçme Modeli için Geçerlilik ve Güvenilirlik

	Birleşik Güvenilirlik (CR)	Ortalama Çıkarılan Varyans (AVE)	Maksimum Paylaşılan Varyans (MSV)
Yonetim	0,811	0,592	0,345
Teknik	0,906	0,710	0,472
Teslimat	0,885	0,719	0,228
Kalite	0,852	0,539	0,218
Hizmet	0,854	0,541	0,370
Maliyet	0,821	0,535	0,228
Finans	0,896	0,811	0,426
Cevre	0,885	0,721	0,472
Uretim	0,822	0,607	0,248

Tedarikçi seçiminde kullanılacak modelin birinci düzeyi, örtük değişken olarak tanımlanan ana kriterlerin alt kriterlere ilişkin katsayılarının, model uyum iyiliği değerlerinin, güvenilirlik ve geçerlilik değerlerinin sınanmasıyla doğrulanmıştır. Modelin uyum iyiliğinin daha da artırılması, modelden ilave değişkenlerin çıkarılması veya model kovaryans matrisinden aşırı derecede farklılık gösteren gözlemlerin elenmesiyle mümkün olsa da, küçük örneklem hacmini daha fazla azaltmamak, mümkün olduğunca fazla sayıda değişkeni modelde tutabilmek ve halihazırda kabul edilebilir bir model olduğu için bu yönetime baş vurulmamıştır. AMOS programının önerdiği ve kuramsal olarak anlamlı görülen düzeltme önerileri ikinci düzey modelde sunulmuştur.

3.1.6 İkinci Düzey Doğrulayıcı Faktör Analizi ve Yapısal Model Bulguları

Kurulan tedarikçi seçimi modelinin ikinci düzeyi tedarikçi seçiminin ana kriterlerle ilişkisini test etmek için oluşturulmuştur. Tedsecim örtük değişkeni tedarikçi seçimi ana kriterlerini yordayan bir örtük değişken olarak tanımlanmıştır. Tek dışsal değişken olan tedsecim değişkeni ile içsel değişken hale getirilen ana kriterler arasında yollar oluşturulmuş, ana kriterlere hata varyansları tanımlanmıştır. Çözümleme sonucunda elde edilen sonuçlar Şekil 3.4.'te verilmiştir.



Şekil 3.4. İkinci Düzey Model Diyagramı ve Çözümleme Değerleri

İkinci düzey DFA analizinde, ölçme modelinde elde edilen ana kriterler ve alt kriterler arasındaki regresyon ve standart regresyon katsayıları ve açıklanan varyans yüzdeleri değişmediği için (Şekil 3.3.), sadece tedarikçi seçim değişkeni ile ana faktörler arasındaki ilişkiye karşılık gelen katsayılar ve bu faktörlerde açıklanan varyans yüzdeleri Tablo 3.13.'te verilmiştir.

Tablo 3. 13. İkinci düzey model için bulgular

			Tahmin	Std.Hata.	Kritik Oran	P	Standart Tahmin	R ²
Uretim	<---	tedsecim	0,292	0,047	6,251	***	0,596	0,356
Yonetim	<---	tedsecim	0,459	0,057	8,017	***	0,724	0,524
Cevre	<---	tedsecim	0,523	0,066	7,96	***	0,759	0,576
Finans	<---	tedsecim	0,591	0,069	8,601	***	0,773	0,597
Maliyet	<---	tedsecim	0,2	0,053	3,745	***	0,358	0,128
Hizmet	<---	tedsecim	0,456	0,061	7,428	***	0,715	0,511
Kalite	<---	tedsecim	0,164	0,036	4,566	***	0,439	0,193
Teslimat	<---	tedsecim	0,19	0,046	4,181	***	0,386	0,149
Teknik	<---	tedsecim	0,546	0,065	8,406	***	0,849	0,721

İkinci düzey model için tedarikçi seçimi ve ana kriterler arasında tanımlanan tüm yollar anlamlı bulunmuştur. Tedarikçi seçimi örtük değişkeninin ana kriterleri anlamlı şekilde yordadığına işaret eden bu sonuç, kurulan tedarikçi seçimi modelini doğrulamıştır. Ölçme modelinden hareket edilecek olursa gözlenen değişkenlerindeki değişimin ana kriterler aracılığıyla, ana kriterlerdeki değişimin de tedarikçi seçimi değişkeni aracılığıyla açıklanabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Tedarikçi seçiminin ana kriterlerdeki değişimi açıklama yüzdesinde ise farklılıklar görülmektedir. Teslimat, maliyet ve kalite gibi tedarikçi seçiminde önemi sınanmayı gerektirmeyecek kadar açık olan faktörlerdeki R² değeri oldukça düşüktür. Veri grubunda bu ana kriterlere ilişkin gözlenen değişkenlerin yüksek ortalamaya ve düşük standart sapmaya sahip oldukları Tablo 3.2.'den görülebilir. Değişkenliği fazla olan faktörler ise diğerlerine kıyasla daha yüksek katsayı değerlerine dolayısıyla açıklanma yüzdesine sahiptirler. Bu nedenle ikinci düzeyde faktörlere ilişkin standart katsayılar tedarikçi seçimi için kurulan tedarikçi seçimi modelinde ağırlık olarak alınmamıştır. Bunun yanında ikinci düzey analiz, katsayılar beklenildiği gibi sonuç vermese de, kurulan tedarikçi seçim modelinin hiyerarşik yapısının anlamlı olduğunu ortaya koymuştur.

AMOS programının önerdiği düzeltme önerilerinden kuramsal olarak anlamlı bulunan; ISO sertifikasına sahip olmakla toplam kalite yönetimi anlayışını benimsemiş olmak, tasarım yeterliliğiyle yenilikçilik, tedarikçiyle uzun dönemli ilişkiye sahip olmakla karşılıklı anlayış ve güven düzeyi değişkenlerinin hata

terimleri arasında kovaryans tanımlanmış ve analiz bu haliyle sonuçlandırılmıştır. Yapısal model için uyum iyiliği değerleri Tablo 3.14.'te verilmiştir. Örnek hacmine duyarlı indekslerde eşik değerlerden uzak görülen uyum iyiliği değerleri, diğer uyum kriterleri açısından yeterli gözükmemektedir. İkinci düzey analiz sonrası uyum iyiliği değerlerinin ölçme modeline göre bir miktar azaldığı Tablo 3.10.'dan karşılaştırılarak teyit edilebilir.

Tablo 3.14. Yapısal Model için Uyum İyiliği Değerleri

Kriter	Değerler	Eşik değerler	Kriter	Değerler	Eşik değerler
CMIN/DF	1,366	<3	SRMR	0,0791	<0,08
RMSEA	0,049	<0,05	NFI	0,810	>0,90
GFI	0,804	>0,90	AGFI	0,771	>0,90
CFI	0,940	>0,90	IFI	0,941	>0,90
PCLOSE	0,535	>0,05	ECVI	5,132	<7,04

Yapısal eşitlik modeliyle vasıflı çelik tedarikçisi seçimi modeli için önemli kriterler, bu kriterlerin hangi ana kriterler altında toplandıkları ve bu ana kriterler yardımıyla tedarikçi seçiminin yapılıp yapılamayacağı değerlendirilerek, BAHS yöntemiyle yapılacak tedarikçi seçimi için hiyerarşik yapı ortaya çıkarılmıştır.

Yapının ötesinde YEM analizinden AHS'ye taşınacak diğer unsur ise alt kriter ağırlıkları olacaktır. Yapısal eşitlik modelinde elde edilen alt kriter ağırlıkları ve bağlantılı oldukları kriterler Tablo 3.15.'de verilmiştir. İlgili ana kriterin alt kriterlere ilişkin standardize değerleri bu alt kriterler arasında mukayese yapmaya uygundur (Şimşek 2007: 9,85). Örneğin; Maliyet algısındaki 1 standart sapma değişim Lojistik maliyetlerde 0,80 standart sapma değişime neden olurken, rekabetçi fiyat için bu değişim 0,63 standart sapmadır. Bu iki alt kriterin kendi faktörleri altında görece ağırlıklandırılması mümkündür. İkinci düzey modeldeki katsayılar ise farklı yapılar arasındaki değişimi temsil ettiğinden, ana kriter ağırlıklandırılması AHS modeli içinde gerçekleştirilecektir.

Tablo 3. 15. YEM Yöntemiyle Elde Edilen Alt Kriter Ağırlıkları

Maliyet Kriteri Alt Kriter Ağırlıkları		Hizmet Kriteri Alt Kriter Ağırlıkları		Kalite Kriteri Alt Kriter Ağırlıkları	
Odeme_kosulu	0,264	Teknik_destek	0,226	Perf_Standart	0,22
Lojistik_maliyet	0,275	Guven_anlayis	0,176	Ret_orani	0,194
Fiyat	0,217	Satis_temsilcisi	0,203	iso_sertifk	0,206
Kur	0,245	Satis_sonrasi_hizmet	0,204	Urun_dayaniklilik	0,189
Yönetim Kriteri Alt Kriter Ağırlıkları		Uzun_iliski	0,19	TKY	0,192
Egitim_düzeýi	0,351	Teknik Kriteri Alt Kriter Ağırlıkları		Üretim Kriteri Alt Kriter Ağırlıkları	
Etik	0,371	Arastirma	0,272	Makine_kapasite	0,354
Itibar	0,278	Arge_kapasite	0,277	Kalite_kontrol	0,344
Teslimat Kriteri Alt Kriter Ağırlıkları		Tasarim	0,216	Hacim_Esneklik	0,301
Teslimat_suresi	0,343	Yenilikcilik	0,236	Çevre Kriteri Alt Kriter Ağırlıkları	
Teslimat_hacmi	0,341	Finans Kriteri Alt Kriter Ağırlıkları		Koruyucu_ekipman	0,357
Teslimat_guvenligi	0,316	Finansal_buyukluk	0,524	Kaza_kayit	0,346
		Finansal_istikrar	0,476	Cevre_sertifka	0,297

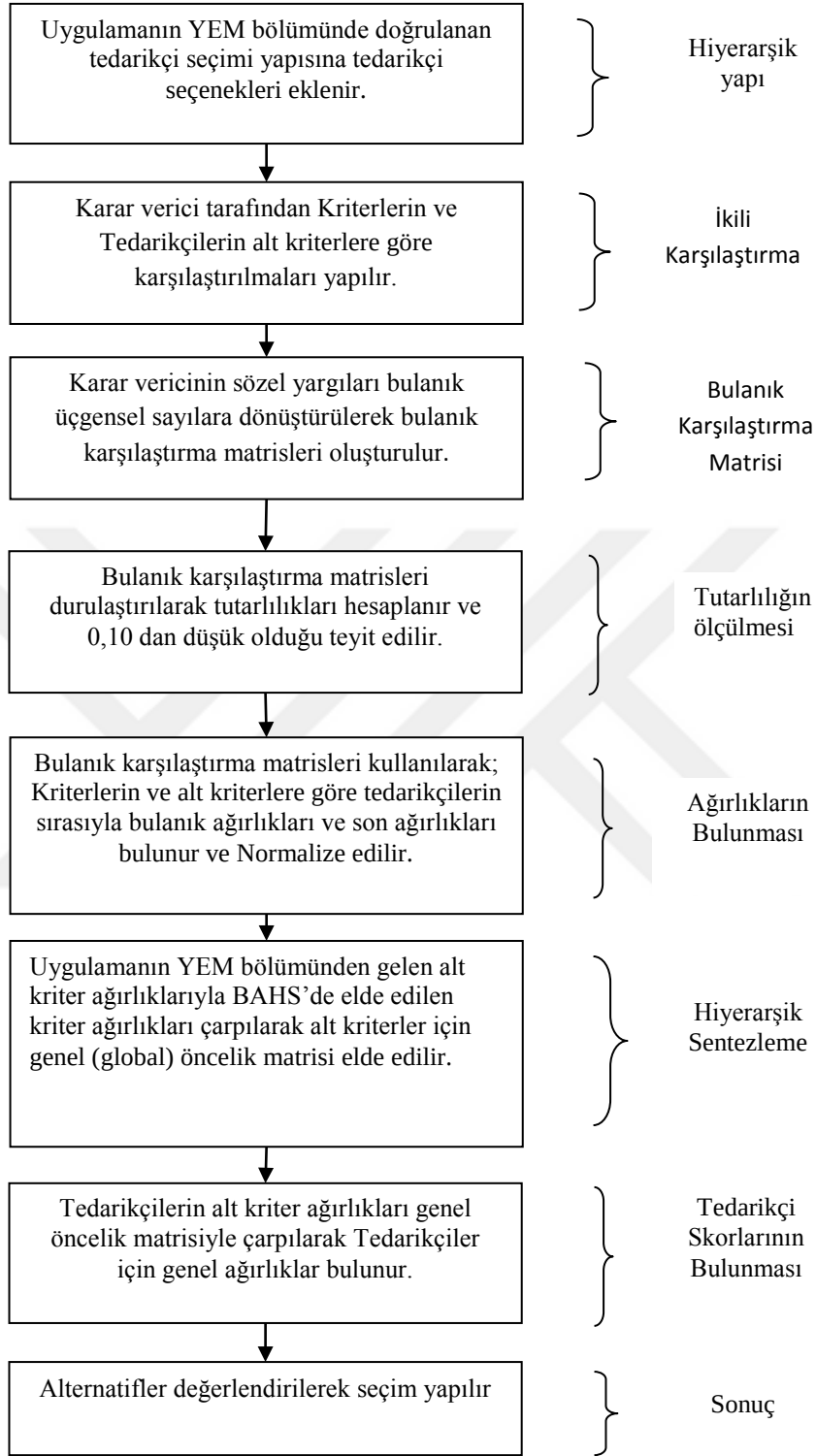
3.2. BAHS ile Tedarikçi Seçimi

Uygulamanın ilk bölümünde yapısal eşitlik modeliyle tedarikçi seçiminde kullanılacak kriterler ve bu kriterlerin oluşturduğu hiyerarşik yapı kurulmuş ve test edilmiştir. BAHS yönteminin kullanıldığı uygulamanın ikinci bölümünde ise öncelikle tedarikçilerin belirlenen alt kriterlere göre performanslarının ve ana kriterlerin kendi aralarındaki önemlerinin mukayesesi yapılmış, yapılan karşılaştırmaların tutarlılıkları test edilmiştir. Tutarlılık hesaplamalarında klasik AHS yöntemiyle hesaplamalar yapılırken bu hesaplamaların literatürdeki varyantları değerlendirilmiş, sonuca etkisi tartışılmıştır. Tutarlılıkları teyit edilen karşılaştırma matrisleri kullanılarak BAHS yöntemiyle ağırlıklar hesap edilmiştir. Yine bu hesaplamalarda, literatürde üzerinde tartışma bulunan normalizasyon işleminin varyantları değerlendirilmiştir. BAHS yönteminin uygulanmasında Chang (1996)'nın adımları temel olsa da, ağırlıkların sıfır bulunması ve bu sebeple tutarlılık oranının hesap edilememesi gibi mahzurlardan sakınmak için Wang (2008)'in genişletilmiş BAHS yöntemine getirdiği eleştirileri dikkate alarak düzeltmeler öneren Calebrese vd. (2013)'nin adımlar takip edilmiştir. Bulanık karşılaştırma matrisinin normalizasyon formülü ve bulanık (Sentetik) ağırlıkların kesin ağırlıklara dönüşümü Chang (1996)'nın yönteminden ayrılmaktadır. Bu adımlar sonrası bulunan ağırlıklar, YEM'den gelen alt kriter ağırlıklarıyla birlikte işleme katılarak en uygun tedarikçi belirlenmiştir.

Uygulamanın yapıldığı işletme için vasıflı çelik tedarik edebildiklerini belirttikleri 4 tedarikçi belirlenmiş ve elde edilen 32 adet alt kritere göre

tedarikçilerin performansları için karşılaştırma yapılmıştır. İlave olarak 9 ana kriter birbirlerine göre önemine göre karşılaştırılmıştır. İşletme tedarikçilerin isimlerinin gizli tutulması talep ettiği için çalışmada tedarikçiler birden dörde kodlanmıştır. Uygulamanın BAHS bölümünde izlenen adımlar Şekil 3.5.'de özetlenmiştir.





Şekil 3.5. BAHS Yönteminin Uygulama Algoritması

3.2.1. Karşılaştırma Matrislerinin Oluşturulması

Kriterlerin ağırlıkları her kriterin diğer kriterlerle ikili karşılaştırması yapılarak elde edilir. Tedarik süreci ile ilgili karar vericinin, kriterleri ikili olarak birbirleriyle kıyaslamaları istenir. Bu kıyaslamada karar vericinin sözlü yargıları bulanık üçgensel sayılara dönüştürülür. Bu dönüşüm farklı ölçeklerle yapılabilmektedir. Bu uygulamada kullanılan ölçek Tablo 3.16’da verilmiştir. Bu sayılar sırasıyla tercih için en düşük, ortalama ve en yüksek derecelendirmeyi göstermektedir. Bu ölçekte karar verici karşılaştırılan kriterlerden veya tedarikçilerden birini diğerine göre ne kadar çok tercih ettiğini veya önem atfettiğini derecelendirebilir. Düşük değerler hafif tercihleri gösterirken, yüksek değerler tercihin keskinleştiğini göstermektedir.

Tablo 3. 16. İkili Karşılaştırmalar için Sözel Yargılar ve Bulanık Sayı Karşılıkları

Sözel Yargılar	Bulanık Ağırlıklar
Aşırı Önemli (İyi)	(7,9,9)
Çok daha Önemli (İyi)	(5,7,9)
Daha Önemli (İyi)	(3,5,7)
Biraz Önemli (İyi)	(1,3,5)
Eşit Derecede Önemli (İyi)	(1,1,1)

Uygulama yapılan işletmenin yöneticisinden tedarikçi seçimi için ana kriterlerin birbirlerine göre önemini derecelendirecekleri bir şablon sunulmuş (EK: 2); yönetici, üretim ve satın alma birimleriyle istişare ederek istenen karşılaştırmaları yapmıştır. Ana kriterlerin değerlendirildiği sözel karşılaştırmalar Tablo 3.17’de gösterilmiştir.

Ana kriterlere ilişkin elde edilen sözel karşılaştırmalar Tablo 3.16’da gösterilen dönüşüm aracılığıyla bulanık ağırlıklara çevrilmiş ve Tablo 3.18’de verilen karşılaştırma matrisi elde edilmiştir. Karar vericinin eşit önem atfettiği iki kriterin karşılaştırıldıkları hücreye (1,1,1), birini diğerinden aşırı önemli belirtmişse kesiştikleri hücreye (7,9,9) ve diğer önem derecelerinde de uygun değeri atayarak tüm sözel yargılar bulanık üçgensel sayı olarak karşılaştırma matrisine geçirilmiştir. Karşılaştırma matrisindeki değerler A kriterinin B kriterine göre önem derecesini gösterdiğinden, B’nin A’ya göre önem derecesi bunun tersi olarak işlenmiştir. Örneğin satırdaki A’nın sütündeki B ile kesiştiği hücre (3,5,7) değerini almışsa, satırdaki B ile sütündeki A’nın kesiştiği hücre (1/7,1/5,1/3) değerini alır.

Tablo 3. 17. Ana Kriterler için Karar Vericinin Yaptığı Karşılaştırmalar

Bu anket; Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalında yürütülen; Vasıflı çelik ürünlerin tedarikinde önemli kriterleri belirlemeye ve bu kriterler yardımıyla en uygun tedarikçiyi belirlemeye yönelik bir araştırmaya aittir. İşletmenize ait bir bilgi talep edilmemektedir. Anketi vereceğiniz cevaplar tamamen bilimsel amaçlarla kullanılacak olup işletmenizin ismi kesinlikle gizli tutulacaktır. Araştırmaya yapacağınız değerli katkılardan dolayı çok teşekkür ederiz.										
Tedarikçi seçiminizde sol tarafta yazılan kriterlerin sağ taraftakilere göre ne derece önemli(önemsiz) olduğunu işaretleyiniz.										
	Tamamen Önemsiz	Oldukça Önemsiz	Önemsiz	Daha az Önemde	Eşit Önemde	Biraz Önemli	Önemli	Çok Önemli	Aşırı Önemli	
Yönetim ve Organizasyon Yapısı		X								Kalite
Yönetim ve Organizasyon Yapısı						X				Teknik Yeterlilik
Yönetim ve Organizasyon Yapısı					X					Üretim Yetenekleri ve Kapasiteleri
Yönetim ve Organizasyon Yapısı							X			Finansal Yapısı
Yönetim ve Organizasyon Yapısı			X							Teslimat
Yönetim ve Organizasyon Yapısı					X					Hizmet
Yönetim ve Organizasyon Yapısı							X			Çevre ve Güvenlik
Yönetim ve Organizasyon Yapısı		X								Maliyet
Kalite								X		Teknik Yeterlilik
Kalite						X				Üretim Yetenekleri ve Kapasiteleri
Kalite									X	Finansal Yapısı
Kalite					X					Teslimat
Kalite							X			Hizmet
Kalite									X	Çevre ve Güvenlik
Kalite					X					Maliyet
Teknik Yeterlilik			X							Üretim Yetenekleri ve Kapasiteleri
Teknik Yeterlilik							X			Finansal Yapısı
Teknik Yeterlilik		X								Teslimat
Teknik Yeterlilik				X						Hizmet
Teknik Yeterlilik							X			Çevre ve Güvenlik
Teknik Yeterlilik	X									Maliyet
Üretim Yetenekleri ve Kapasiteleri								X		Finansal Yapısı
Üretim Yetenekleri ve Kapasiteleri					X					Teslimat
Üretim Yetenekleri ve Kapasiteleri						X				Hizmet
Üretim Yetenekleri ve Kapasiteleri								X		Çevre ve Güvenlik
Üretim Yetenekleri ve Kapasiteleri				X						Maliyet
Finansal Yapısı	X									Teslimat
Finansal Yapısı			X							Hizmet
Finansal Yapısı				X						Çevre ve Güvenlik
Finansal Yapısı	X									Maliyet
Teslimat							X			Hizmet
Teslimat									X	Çevre ve Güvenlik
Teslimat					X					Maliyet
Hizmet							X			Çevre ve Güvenlik
Hizmet	X									Maliyet
Çevre-Güvenlik	X									Maliyet

Tablo 3.18. Ana Kriterler için Bulanık Karşılaştırma Matrisi

	Yonorg			Kalite			Teknik Y.			Üretim Y.			Finansal Y.			Teslimat			Hizmet			Çevre			Maliyet		
Yonorg	1	1	1	1/7	1/5	1/3	1	3	5	1	1	1	3	5	7	1/7	1/5	1/3	1	1	1	3	5	7	1/9	1/7	1/5
Kalite	3	5	7	1	1	1	5	7	9	1	3	5	7	9	9	1	1	1	3	5	7	7	9	9	1	1	1
Teknik Y.	1/5	1/3	1	1/9	1/7	1/5	1	1	1	1/7	1/5	1/3	3	5	7	1/9	1/7	1/5	1/5	1/3	1	3	5	7	1/9	1/9	1/7
Üretim Y.	1	1	1	1/5	1/3	1	3	5	7	1	1	1	5	7	9	1	1	1	1	3	5	7	9	9	1/5	1/3	1
Finansal Y.	1/7	1/5	1/3	1/9	1/9	1/7	1/7	1/5	1/3	1/9	1/7	1/5	1	1	1	1/9	1/9	1/7	1/7	1/5	1/3	1	1	1	1/9	1/9	1/7
Teslimat	3	5	7	1	1	1	5	7	9	1	1	1	7	9	9	1	1	1	3	5	7	7	9	9	1	1	1
Hizmet	1	1	1	1/7	1/5	1/3	1	3	5	1/5	1/3	1	3	5	7	1/7	1/5	1/3	1	1	1	3	5	7	1/7	1/5	1/3
Çevre	1/7	1/5	1/3	1/9	1/9	1/7	1/7	1/5	1/3	1/9	1/9	1/7	1	1	1	1/9	1/9	1/7	1/7	1/5	1/3	1	1	1	1/9	1/9	1/7
Maliyet	5	7	9	1	1	1	7	9	9	1	3	5	7	9	9	1	1	1	3	5	7	7	9	9	1	1	1

3.2.2. Karşılaştırma Matrislerinin Tutarlılık Hesaplamaları

Bulanık karşılaştırma matrisinde hesaplama yapmadan önce tutarlılığın kontrol edilmesi gerekir. BAHS 'de tutarlılık hesaplamaları AHS de yapıldığı gibi yapılır. Bu sebeple, bulanık sayılarla oluşturulmuş karşılaştırma matrisinin kesin sayılara dönüştürülmesi, bulanıklıktan kurtarılması bir başka ifadeyle durulaştırılması gerekir.

Durulaştırma işlemi üç sayıyla belirtilen yargının tek sayıya dönüştürülmesidir. En düşük, ortalama ve en yüksek değerlerin aritmetik ortalamasının alınmasıyla bu sayının elde edilmesi daha yaygın olsa da; Kötümser ve iyimser değerlere ortalama değerin 4 katının eklenmesiyle bulunan toplamın 6 ya bölünmesiyle de hesaplanmaktadır (Kwong ve Bai 2003). Uygulamada bulanık karşılaştırma matrisindeki değerlerin aritmetik ortalaması alınarak Tablo 3.19.'da sunulan durulaştırılmış karşılaştırma matrisi elde edilmiştir.

Tablo 3. 19. Durulaştırılmış Karşılaştırma Matrisi

	Durulaştırılmış Karşılaştırma Matrisi								
	Yonorg	Kalite	Teknik Y.	Üretim Y.	Finansal Y.	Teslimat	Hizmet	Çevre	Maliyet
Yonorg	1,000	0,225	3,000	1,000	5,000	0,225	1,000	5,000	0,151
Kalite	5,000	1,000	7,000	3,000	8,333	1,000	5,000	8,333	1,000
Teknik Y.	0,511	0,151	1,000	0,225	5,000	0,151	0,511	5,000	0,122
Üretim Y.	1,000	0,511	5,000	1,000	7,000	1,000	3,000	8,333	0,511
Finansal Y.	0,225	0,122	0,225	0,151	1,000	0,122	0,225	1,000	0,122
Teslimat	5,000	1,000	7,000	1,000	8,333	1,000	5,000	8,333	1,000
Hizmet	1,000	0,225	3,000	0,511	5,000	0,225	1,000	5,000	0,225
Çevre	0,225	0,122	0,225	0,122	1,000	0,122	0,225	1,000	0,122
Maliyet	7,000	1,000	8,333	3,000	8,333	1,000	5,000	8,333	1,000
TOPLAM	20,96	4,36	34,78	10,01	49,00	4,85	20,96	50,33	4,25

AHS'de karşılaştırma matrisinden ağırlıkların bulunması, matematiksel olarak ifade edilecek olursa özvektörlerin hesaplanması için literatürde farklı yöntemler önerilmiştir. Bunlar; Özvektör yöntemi, Regresyon Yöntemi (En Küçük Kareler Yöntemi) ve Logaritmik En Küçük Kareler ve Geometrik Ortalama Yöntemleridir (Yang ve Lee 1997: 247; Saaty ve Vargas 1984). Saaty ve Hu (1998), karşılaştırma matrislerinden önceliklerin bulunmasında özvektör yönteminin en iyi sonucu verdiğini ve Logaritmik En Küçük Kareler (LEKK) yönteminin öncelik sıralamasında hata verdiğini göstermiştir. Matris boyutunun üçten büyük olduğu durumlarda öncelik sıralamaları özvektör yöntemine göre farklılaşmaktadır. Aynı çalışmaya göre özvektör yöntemi diğerlerine göre, tutarlılığı ölçmeye temel sağlaması ve tutarsız matrislerde de sonuç üretmesi bakımından avantajlıdır. Bir diğer çalışmada, Saaty ve Vargas (1984), LEKK yönteminde sadece satır elemanlarıyla yapılan işlemin, diğer satırların katkısını, bu sebeple de tutarsızlığını yok ettiğini ifade etmiştir.

Özvektör yöntemiyle ağırlık bulunması özellikle büyük boyutlu matrislerde işlem güçlüğüne yol açtığından, özvektörlerin yaklaşık değerlerinin bulunabilmesi için daha basit yaklaşımlar önerilmiştir. En basit yöntem her satır toplamının tüm toplama bölünmesiyle elde edilir. Diğer bir yaklaşımda her bir sütun toplamının tersi, birbirlerinin toplamına bölünerek ağırlıklar elde edilir. Daha yaygın olarak kullanılan üçüncü yaklaşım ise sütun toplamlarına bölünerek normalize edilen matrisin, satırlarının ortalaması alınarak ağırlıkların bulunmasıdır. Ishizaka ve Lusti (2006), yaptıkları çalışmada normalize değerlerin ortalaması alınarak bulunan ağırlıkların özvektör yöntemine göre bulunan ağırlıklarla çok az çeliştiğini bulmuş ve basit hesaplama yöntemi olarak yaygın kullanımını desteklemişlerdir. Çalışmada tutarlılık hesaplamalarına zemin oluşturacak ağırlık vektörünün bulunması bu yöntemle gerçekleştirilmiştir. Son olarak zikredilen yöntemde ise ağırlıklar satır elemanlarının çarpımının matris boyutundan kökü alınarak bulunur. Özvektörün yaklaşık olarak hesaplanmasında kullanılan bu yöntemler tutarlı ve küçük boyutlu matrislerde gerçek özvektöre daha yakın değerler vermektedir.

Uygulamada BAHS kullanıldığından tedarikçi seçiminde karar vermede kullanılan ağırlıklar BAHS yöntemine göre bulunmuştur. Sadece tutarlılık hesaplanırken gerekli olacak ağırlıklar AHS formülasyonu ile gerçekleştirilmiştir. Kriter ağırlıkları yani özvektör, bahsedilen üçüncü yaklaşımdan hareketle şu şekilde bulunmuştur: Sütun toplamı hesaplanarak, sütundaki her bir değer sütun toplamına bölünerek matris normalize edilmiştir. Normalize edilen matristeki satırların ortalamasının alınmasıyla ilgili kriterin AHS ağırlıkları bulunmuştur. Kriterler için normalize edilmiş AHS matrisi ve kriterlerin ağırlıkları (özvektör) Tablo 3.20.'de verilmiştir.

Tablo 3. 20. Durulaştırılmış Karşılaştırma Matrisinin Normalize Edilmesi

	Normalize Edilmiş Durulaştırılmış Karşılaştırma Matrisi									
	Yonorg	Kalite	Teknik Y.	Üretim Y.	Finansal Y.	Teslimat	Hizmet	Çevre	Maliyet	Ağırlıklar
Yonorg	0,048	0,052	0,086	0,100	0,102	0,047	0,048	0,099	0,036	0,069
Kalite	0,239	0,230	0,201	0,300	0,170	0,206	0,239	0,166	0,235	0,221
Teknik Y.	0,024	0,035	0,029	0,023	0,102	0,031	0,024	0,099	0,029	0,044
Üretim Y.	0,048	0,117	0,144	0,100	0,143	0,206	0,143	0,166	0,120	0,132
Finansal Y.	0,011	0,028	0,006	0,015	0,020	0,025	0,011	0,020	0,029	0,018
Teslimat	0,239	0,230	0,201	0,100	0,170	0,206	0,239	0,166	0,235	0,198
Hizmet	0,048	0,052	0,086	0,051	0,102	0,047	0,048	0,099	0,053	0,065
Çevre	0,011	0,028	0,006	0,012	0,020	0,025	0,011	0,020	0,029	0,018
Maliyet	0,334	0,230	0,240	0,300	0,170	0,206	0,239	0,166	0,235	0,235
TOPLAM	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Karşılaştırma matrisinin tutarlığı hesap edilirken bu matrisin en büyük özdeğerinin (λ_{max}) bulunması gerekir. Karşılaştırma matrisini A, ağırlık veya öncelik vektörünü w ile temsil edersek Saaty (2003: 86)'nin ifade ettiği şekliyle “Verilen bir matris için $Aw = \lambda_{max}w$ eşitliğini sağlayan tek pozitif vektör w, tek sabit değer λ_{max} ise; w ana özvektör, λ_{max} ise ana özdeğerdir”. Özdeğer hesabı için kullanılacak denklem aşağıda verilmiştir.

$$Aw = \lambda_{max}w \quad (3.1)$$

Saaty (1986) AHS için yaptığı kuramsal önermelerde; λ_{max} değerinin matris boyutuna yani n'ye eşit olmasının tam tutarlılığı gösterdiğini, ikisi arasındaki farkın ise tutarlılıktan sapma miktarı olduğunu söylemiştir. λ_{max} değeri hiçbir zaman matris boyutundan (n) küçük olamaz.

λ_{max} değerinin bulunuşu, tutarlılık göstergesi ve tutarlılık oranının hesaplanması aşağıda verilmiştir. Denklem-1' de eşitliğin sol tarafındaki matris çarpım işlemi gerçekleştirilmiştir. Tablo 3.19.'da verilen durulaştırılmış karşılaştırma matrisi A için her bir satırı Tablo 3.20.'de hesaplanmış olan ağırlık matrisiyle çarpılmıştır. Bu çarpım sonucu Tablo 3.21.'in ilk sütununda sunulmuştur. Denklem-1' in sağ tarafında özdeğeri yalnız bırakmak için, sol taraf çarpımının her bir değeri karşılık gelen ağırlıklara bölünerek öz değerler bulunmuş olur. Bu özdeğerlerin ortalaması alınarak da lambda değeri yani λ_{max} 'a ulaşılır.

Tablo 3. 21. Tutarlılık Oranının Hesaplanması

$A_i * w$	λ_i		
0,709	10,348	Lambda	10,097
2,329	10,559	CI	0,137
0,416	9,449	CR	0,095
1,325	10,050		
0,176	9,594		
2,065	10,412		
0,662	10,181		
0,172	9,553		
2,524	10,724		
	90,871		

Tutarlılık göstergesi (CI) ve tutarlılık oranı (CR) için formüller denklem 3.2 ve denklem 3.3'te verilmiştir. Tutarlılık oranı hesap edilirken kullanılan tesadüfilik göstergesi (RI) matris boyutuna göre değişmekte olup, uygulamadaki kriter karşılaştırma matrisinin boyutu 9 olduğundan $RI(9) = 1,45$ alınmıştır (Tablo 3.22.). Formüller ve gösterge değerleri Saaty (1994: 42)'den alınmıştır.

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n-1)} \quad (3.2)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3.3)$$

Tablo 3. 22. Farklı Matris Boyutları için Tesadüfilik Göstergesi (RI), (Saaty 1987: 171)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Bahsedilen işlemlerin yapılmasıyla elde edilen tutarlılık oranı (0,095), eşik değer olarak kabul edilen 0,1'den düşük bulunduğu için karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Karşılaştırma matrisinin özvektörünün bulunmasında, işlemleri basitleştirmek için farklı yöntemler kullanıldığına, bu yöntemlerden en yaklaşık sonuç vereninin ve yaygın kullanılanın normalize edilmiş satır ortalamaları yöntemi olduğuna ve uygulamada da hesaplamaların bu yöntemle gerçekleştirildiğine değinilmiştir. Özvektör yöntemi kullanılsaydı sonuçların ne kadar farklılaşacağını görmek için aynı hesaplamalar özvektör yöntemiyle tekrar edilmiştir. Özvektör değerinin yaklaşık

olarak hesap edilmesiyle, gerçek özvektörün kullanılmasının, bulunan tutarlılık oranına etkisini değerlendirmek için gerçek özvektör ve bu vektör kullanılarak tutarlılık oranı hesaplanmıştır.

Gerçek özvektörü bulabilmek için matrisin kuvvetleri alınarak satır toplamaları normalize edilir ve özvektör bulunur. Bu işlem özvektörün her bir elemanı, bir önceki kuvvette bulunan özvektörün karşılıklı elemanından farklı olmayana kadar tekrarlanır (Saaty 1988: 19). Tablo 3.19.'da gösterilen durulaştırılmış karşılaştırma matrisinin (A) karesi, sonra karesinin karesi ve bu şekilde devam ederek A'nın onaltıncı kuvvetine kadar işlem tekrar edilmiştir. Her aşamada matrislerin satır toplamaları normalize edilmiş ve özvektörler hesaplanmıştır. Tablo 3.23.'de görülebileceği gibi matrisin kuvveti arttıkça bundan hesaplanan özvektörün değerleri yakınsamıştır. Bu özvektör değerleri yani ağırlıklar Tablo 3.21.'de gösterilen yaklaşık bir yöntemle bulunan ağırlıklarla kıyaslandığında çok yakın olduğu görülmektedir. Uygulamada ağırlık bulmak için BAHS yöntemi kullanılacağından, özvektör değerinin müstakil olarak ne olduğundan ziyade tutarlılık oranına etkisi dikkate alınmıştır.

Tablo 3. 23. Özvektör Yöntemiyle Tutarlılık Oranının Hesaplanması

özvektör (A ²)	özvektör (A ⁴)	özvektör (A ⁸)	özvektör (A ¹⁶)	Lambda	CI	CR
0,0682	0,0675	0,0675	0,0675	10,06496	0,133121	0,091807
0,2252	0,2249	0,2250	0,2250			
0,0374	0,0398	0,0396	0,0396			
0,1261	0,1275	0,1274	0,1274			
0,0157	0,0173	0,0172	0,0172			
0,2010	0,1996	0,1997	0,1997			
0,0637	0,0631	0,0631	0,0631			
0,0153	0,0169	0,0168	0,0168			
0,2474	0,2434	0,2437	0,2437			

Özdeğerin yaklaşık olarak bulunduğu ilk yöntemde tutarlılık oranı 0,095 olarak bulunmuştu. Özvektör yönteminde ise tutarlılık oranı 0,092 olarak hesaplandı. Öz değer hesaplarken yaklaşık değer bulan normalize satırların ortalaması yönteminin kullanılmasının tutarlılık hesaplamasında bir sorun teşkil etmeyeceği bu şekilde teyit edilmiştir. Bu sebeple uygulamanın devamında tedarikçilerin alt kriterlere göre karşılaştırma matrislerinin tutarlılıklarının hesaplama da

özdeğer ve özvektörleri yaklaşık olarak hesap eden normalize edilmiş satırların ortalaması yöntemi tercih edilmiştir.

3.2.3. Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması

Karşılaştırma matrisinin tutarlılığı teyit edildikten sonra, kriterler için öncelik vektörünün bulunması diğer bir ifadeyle ağırlıkların hesap edilmesi gerekir. Tutarlılık hesaplarırken kullanılan durulaştırılmış karşılaştırma matrisi yerine, Tablo 3.18.'de verilen orijinal bulanık karşılaştırma matrisiyle işlemlere başlanır. Bulanık karşılaştırma matrisi $\tilde{A}$, elemanları $\tilde{a}_{ij}$ olmak üzere, matrisin her elemanı $\tilde{a}_{ij}$ bulanık üçgensel sayı olarak üç değerle ifade edilir. $l(\tilde{a}_{ij}), m(\tilde{a}_{ij})$ and $u(\tilde{a}_{ij})$ sırasıyla $\tilde{a}_{ij}$ 'nin alt, orta ve üst değerlerini temsil etmektedir. Matriste i satırı ve j sütununun kesişimine karşılık gelen değerle, bunun zıddı olan j satırı ve i sütununun kesişimine karşılık gelen değer arasında denklem 3.4'teki ilişki bulunur.

$$\tilde{a}_{ij} = (l(\tilde{a}_{ij}), m(\tilde{a}_{ij}), u(\tilde{a}_{ij})) \text{ ise } \tilde{a}_{ji} = \left(\frac{1}{l(\tilde{a}_{ij})}, \frac{1}{m(\tilde{a}_{ij})}, \frac{1}{u(\tilde{a}_{ij})} \right) \quad i, j = 1, \dots, 9 \quad (3.4)$$

Bulanık karşılaştırma matrisinde alt, orta ve üst değerlerin denklem 3.5'e göre her satır için toplamaları alınarak $\tilde{ST}_i$ değerleri hesap edilmiştir.

$$\tilde{ST}_i = \sum_{j=1}^9 \tilde{a}_{ij} = (\sum_{j=1}^9 l(\tilde{a}_{ij}), \sum_{j=1}^9 m(\tilde{a}_{ij}), \sum_{j=1}^9 u(\tilde{a}_{ij})) \quad i = 1, \dots, 9 \quad (3.5)$$

Örneklendirilecek olursa Tablo 3.18.'nin ilk satırındaki her kriterin alt değerleri $l(\tilde{a}_{1j})$ toplanarak $\sum_{j=1}^9 l(\tilde{a}_{1j}) = 1+1/7+1+1+3+1/7+1+3+1/9 = 10,397$ olarak ilk değer hesaplanmış olur. Tablo 3.24.'de bu işlemlerin sonucu, satır toplamaları sütununda gösterilmiştir. Toplanan bu ağırlıkların normalize edilmesinde Chang (1996)'ın genişletilmiş BAHS yöntemine bir düzeltme olarak Wang (2008) tarafından önerilen denklem 3.6 kullanılmıştır. Bu işlemle her kriteri temsil eden satır için normalize edilmiş sentetik (yapay) bulanık ağırlıklar ($\tilde{S}_i$) hesap edilmiş olur.

$$\tilde{S}_i = \frac{\tilde{ST}_i}{\sum_{j=1}^9 \tilde{ST}_j} = \left(\frac{\sum_{j=1}^9 l(\tilde{a}_{ij})}{\sum_{j=1}^9 l(\tilde{a}_{ij}) + \sum_{k=1, k \neq j}^9 \sum_{j=1}^9 u(\tilde{a}_{kj})}, \frac{\sum_{j=1}^9 m(\tilde{a}_{ij})}{\sum_{k=1}^9 \sum_{j=1}^9 m(\tilde{a}_{kj})}, \frac{\sum_{j=1}^9 u(\tilde{a}_{ij})}{\sum_{j=1}^9 u(\tilde{a}_{ij}) + \sum_{k=1, k \neq j}^9 \sum_{j=1}^9 l(\tilde{a}_{kj})} \right) \quad (3.6)$$

Tablo 3.24. Ana Kriterler için Bulanık ve Son Ağırlıkların Hesaplanması

	Satır Toplamları			Normalize Bulanık Ağırlıklar			Kriter Ağırlıkları	Normalize Kriter Ağırlıkları
	l	m	u					
Yönorg	10,397	16,543	22,867	0,044	0,081	0,146	0,090	0,085
Kalite	29,000	41,000	49,000	0,126	0,201	0,299	0,209	0,196
Teknik Y.	7,876	12,263	17,876	0,033	0,060	0,116	0,070	0,066
Üretim Y.	19,400	27,667	35,000	0,082	0,136	0,219	0,146	0,137
Finansal Y.	2,873	3,076	3,629	0,011	0,015	0,025	0,017	0,016
Teslimat	29,000	39,000	45,000	0,123	0,192	0,281	0,199	0,187
Hizmet	9,629	15,933	23,000	0,041	0,078	0,146	0,088	0,083
Çevre	2,873	3,044	3,571	0,011	0,015	0,025	0,017	0,016
Maliyet	33,000	45,000	51,000	0,142	0,221	0,315	0,226	0,213
TOPLAM	144,048	203,527	250,943				1,062	1,000

Yönorg kriteri için yani ilk satır için hesaplama aşağıdaki gibi yapılmıştır:

$$\tilde{S}_1 = \left(\frac{10,397}{10,397 + 250,943 - 22,867}, \frac{16,543}{203,527}, \frac{22,867}{22,867 + 144,048 - 10,397} \right)$$

$$\tilde{S}_1 = (0,044, 0,081, 0,146)$$

Diğer kriterlerin bulanık ağırlıklarının hesap edilmesi de yönorg kriteri için takip edilen adımlarla gerçekleştirilmiş ve tüm normalize bulanık ağırlıklar ($\tilde{S}_i$), Tablo 3.24.'de sunulmuştur. Her kriterin üç değerle temsil edildiği bulanık ağırlıkların uygulama hiyerarşisi içinde diğer ağırlıklarla işleme sokulabilmesi için kesin (net) sayılara dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işlem, genişletilmiş BAHS yönteminde bulanık ağırlıkların büyüklüklerinin karşılaştırılması yoluyla, literatürdeki ifadesiyle olasılıkların derecesi değerlendirerek yapılır. Daha önceden ifade edildiği gibi kriter ağırlıklarının sıfır çıkabildiği bu yöntem, mevcut uygulamada yapıda önemsiz bir kriter olmadığı teyit edildiği için tercih edilmemiştir. Bu yöntem yerine bulanık ağırlıkların ortalaması alınarak denklem 3.7'ye göre net ağırlıklara ulaşılmıştır.

$$w_i = \frac{l(\tilde{w}_i) + m(\tilde{w}_i) + u(\tilde{w}_i)}{3} \quad i = 1, 2, \dots, 9 \quad (3.7)$$

Bulunan bu ağırlıklar toplamlarına bölünerek normalize edilmiş ve uygulamanın kalanında diğer ağırlıklarla sentezlenecek hale getirilmiştir. Ana kriterlerin birbirlerine göre önemini gösteren ağırlık matrisi $W_K = (w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6, w_7, w_8, w_9)^T$ olmak üzere;

$$W_K = (0,085, 0,196, 0,066, 0,137, 0,016, 0,187, 0,083, 0,016, 0,213)^T \quad (3.8)$$

Olarak bulunur. Maliyet kriteri görece en önemli kriter olarak bulunmuş; maliyeti, kalite, teslimat ve üretim yetenekleri takip etmiştir. Çevre ve Finansal yapı kriterlerinin ise oldukça düşük önemde (%1,6) çıktığı görülmektedir.

Alt kriterlerin ana kriterlerine göre nisbi olarak ne derece önemli olduklarına ilişkin ağırlıklar uygulamanın ilk bölümünde YEM yöntemiyle bulunmuştu. Yapısal eşitlik modelinden elde edilen gözlenen değişkenlerle örtük değişkenler arasındaki standardize regresyon katsayıları normalize edilerek bulunan alt kriterlere ilişkin ağırlıklar Tablo 3.25.'de verilmiştir. Bu ağırlıklar uygulamanın sonuçlandırılması bölümünde W_{YEM} matrisi olarak temsil edilecektir. Bu matris, 32x9 boyutlu olarak düzenlenmiştir.

Tablo 3. 25. Hesaplanan Alt Kriter Ağırlıkları

Maliyet Kriteri Alt Kriter Ağırlıkları		Hizmet Kriteri Alt Kriter Ağırlıkları		Kalite Kriteri Alt Kriter Ağırlıkları	
Odeme_kosulu	0,264	Teknik_destek	0,226	Perf_Standart	0,22
Lojistik_maliyet	0,275	Guven_anlayis	0,176	Ret_orani	0,194
Fiyat	0,217	Satis_temsilcisi	0,203	iso_sertifk	0,206
Kur	0,245	Satis_sonrasi_hizmet	0,204	Urun_dayaniklilik	0,189
Yönetim Kriteri Alt Kriter Ağırlıkları		Uzun_iliski	0,19	TKY	0,192
Egitim_duzeyi	0,351	Teknik Kriteri Alt Kriter Ağırlıkları		Üretim Kriteri Alt Kriter Ağırlıkları	
Etik	0,371	Arastirma	0,272	Makine_kapasite	0,354
Itibar	0,278	Arge_kapasite	0,277	Kalite_kontrol	0,344
Teslimat Kriteri Alt Kriter Ağırlıkları		Tasarim	0,216	Hacim_Esneklik	0,301
Teslimat_suresi	0,343	Yenilikcilik	0,236	Çevre Kriteri Alt Kriter Ağırlıkları	
Teslimat_hacmi	0,341	Finans Kriteri Alt Kriter Ağırlıkları		Koruyucu_ekipman	0,357
Teslimat_guvenligi	0,316	Finansal_buyukluk	0,524	Kaza_kayit	0,346
		Finansal_istikrar	0,476	Cevre_sertifka	0,297

Kriter ve alt kriter ağırlıklarının yanında tedarikçilerin de modele eklenebilmesi için tedarikçileri ilgili kriterlerle ilişkilendirecek karşılaştırmaların yapılması gerekir. Uygulamada, dört vasıflı çelik tedarikçisinin performanslarının değerlendirilmesi için uygulamanın yapıldığı işletmenin yöneticisine her bir alt kriter bazında tedarikçilerin mukayese edileceği formlar sunulmuş (Ek: 3) ve sözel değerlendirmeler bulanık karşılaştırma matrisleri şeklinde düzenlenmiştir. Alt kriterlere göre tedarikçilerin mukayesesine ilişkin 32 adet bulanık karşılaştırma matrislerinden birisi (Tablo 3.26.) aşağıda verilmiş, diğerleri Ek: 4'te sunulmuştur.

Tablo 3. 26. Çalışanların Eğitim Düzeyi Bakımından Bulanık Karşılaştırma Matrisi

Çalışanların Eğitim Düzeyi Bakımından Tedarikçilerin Karşılaştırılması												
	T1			T2			T3			T4		
T1	1	1	1	1	1	1	3	5	7	7	7	9
T2	1	1	1	1	1	1	3	5	7	7	9	9
T3	1/7	1/5	1/3	1/7	1/5	1/3	1	1	1	3	5	7
T4	1/9	1/7	1/7	1/9	1/9	1/7	1/7	1/5	1/3	1	1	1

Alt kriterlere göre tedarikçilerin mukayese edildiği bulanık karşılaştırma matrisleri için tutarlılık hesaplamaları; ana kriterler için yapıldığı şekliyle durulaştırılmış karar matrislerine dönüşüm yapılarak, denklem 3.1,denklem 3.2 ve denklem 3.3 aracılığıyla bulunmuştur. Alt kriter matrislerinin tutarlılık oranları Tablo 3.27.'de verilmiştir. Tüm değerler 0,10 değerinden küçük olduğu için tüm karşılaştırma matrislerinde tutarlılık sağlanmıştır. Denklem 3.5, denklem 3.6 ve denklem 3.7 kullanılarak her bir tedarikçi için alt kriterlere göre öncelikler (ağırlıklar) bulunmuştur. T tedarikçisinin i alt kriterindeki ağırlığı w_{Ti} matrisinin elemanı olarak temsil edilmiştir. Alt kriterlere göre tedarikçilerin ağırlık matrisi, w_{Ti} , dört tedarikçinin satırda, otuz iki alt kriterin sütunda yer aldığı (4x32) boyutlu bir matristir. Gösterim kolaylığı sebebiyle tabloda bölümlenerek sunulmuştur.

Tablo 3. 27. Alt Kriterlere Göre Tedarikçilerin Son Ağırlıkları ve Matris Tutarlılıkları

	Eğitim	Etik	İtibar	Ürünperf	Retoranı	ISO	Dayanıklılık	TKY	Lojmal	Fiyat	Kur
T1	0,385	0,332	0,209	0,175	0,170	0,332	0,234	0,395	0,209	0,074	0,337
T2	0,402	0,332	0,535	0,628	0,395	0,250	0,449	0,395	0,209	0,074	0,231
T3	0,173	0,086	0,209	0,091	0,395	0,332	0,083	0,170	0,047	0,337	0,202
T4	0,040	0,250	0,047	0,106	0,039	0,086	0,234	0,039	0,535	0,515	0,231
Tutarlılık Oranı	0,093	0,094	0,095	0,099	0,088	0,094	0,090	0,088	0,095	0,093	0,087
	Ödeme	TesİSüres	Tes.Hacmi	Tes.Güve	TekDes	Güven	Temsilci	SatSon	İlişki	Mak.Kap	KalKont
T1	0,332	0,121	0,332	0,332	0,395	0,337	0,332	0,170	0,332	0,332	0,337
T2	0,332	0,121	0,250	0,250	0,395	0,231	0,332	0,395	0,332	0,250	0,231
T3	0,086	0,118	0,332	0,332	0,170	0,202	0,086	0,395	0,086	0,332	0,202
T4	0,250	0,639	0,086	0,086	0,039	0,231	0,250	0,039	0,250	0,086	0,231
Tutarlılık Oranı	0,094	0,035	0,094	0,094	0,088	0,087	0,094	0,088	0,094	0,094	0,087
	HacEsnek	Araştırm	Arge	Tasarım	Yenilikçilik	Ekipman	Kazakay	Çevserf	FinBüy	Finİst	
T1	0,395	0,170	0,209	0,209	0,395	0,209	0,385	0,170	0,209	0,170	
T2	0,395	0,395	0,535	0,535	0,395	0,535	0,402	0,395	0,535	0,395	
T3	0,170	0,395	0,209	0,209	0,170	0,209	0,173	0,395	0,209	0,395	
T4	0,039	0,039	0,047	0,047	0,039	0,047	0,040	0,039	0,047	0,039	
Tutarlılık Oranı	0,088	0,088	0,095	0,095	0,088	0,095	0,093	0,088	0,095	0,088	

3.2.4. Hiyerarşik Sentezleme ve Tedarikçi Skorlarının Hesaplanması

Tablo 3.25.' de sunulan alt kriterler-kriterler ağırlık değerleri W_{YEM} matrisiyle temsil edilmektedir. Bu matris otuz iki alt kriterin satırda, dokuz kriterin sütunda yer aldığı ve kesişimlerinde ilgili ağırlığın bulunduğu, ilişkisiz alt kriter-kriter kesişimlerine ise sıfır değeri atanmış bir matristir. Bu matristeki ağırlıklar henüz ana kriter ağırlıklarıyla çarpılmadığından yerel ağırlıklar olarak da isimlendirilir. W_K matrisi, işletme yöneticisinin ikili karşılaştırmaları kullanılarak hesap edilen ana kriterlerin birbirlerine göre ağırlıklarını gösteren 9x1 boyutlu bir matristir ve Tablo 3.24.'te en sağdaki sütunda verilmiştir. Elde edilen bu üç matris denklem 3.9 ve denklem 3.10'da sunulduğu biçimde çarpılmış, alt kriterler için genel ağırlık matrisi ve tedarikçilerin genel skoru matrisine ulaşılmıştır.

$$w_k = w_{YEM} \times W_K \quad (3.9)$$

$$TS_j = w_{Ti} \times w_k \quad j = 1, 2, 3, 4 \quad (3.10)$$

Tablo 3. 28. Alt Kriterlerin Tedarikçi Seçimi için Genel (global) Ağırlıkları - w_k

	Genel Ağırlıklar
Eğitim	0,030
Etik	0,032
İtibar	0,024
Ürünperf	0,043
Retoranı	0,038
ISO	0,040
Dayanıkl	0,037
TKY	0,038
Lojmal	0,059
Fiyat	0,046
Kur	0,052
Ödeme	0,056
TeslSüres	0,064
Tes.Hcmi	0,064
Tes.Güve	0,059
TekDes	0,019
Güven	0,015
Temsilci	0,017
SatSon	0,017
İlişki	0,016
Mak.Kap	0,049
KalKont	0,047
HacEsnek	0,041
Araştrm	0,018
Arge	0,018
Tasarım	0,014
Yenilikçi	0,015
Ekipman	0,006
Kazakay	0,006
Çevserf	0,005
FinBüy	0,008
Finİst	0,008

w_k matrisi iki ağırlık matrisinin çarpılmasıyla bulunmuştur ve elemanları, tedarikçi seçiminde ilgili alt kriterin yüzde önemini göstermektedir. Tablo 3.25.'teki değerler ile üstte verilen Tablo 3.28.'deki değerler karşılaştırılırsa; ana kriterlerine göre kendi aralarında görece yüzde önemleri yerine (yerel), bağlı bulundukları kriterlerin ağırlıklarıyla ilişkilendirilerek tedarikçi seçiminde bir bütün olarak genel önemlerinin elde edildiği görülmektedir.

Tedarikçilerin alt kriterlere göre ağırlıkları (w_{Ti}) ve kriterlerin genel ağırlıklarının (w_k) çarpılmasıyla tedarikçi skorları (TS) bulunur. Denklem 3.10 yardımıyla bu matris çarpımı gerçekleştirildiğinde Tablo 3.29.'daki sonuca ulaşılır.

Tablo 3.29. Tedarikçilerin Öncelik Ağırlıkları

	Ağırlıklar
T1	0,276
T2	0,317
T3	0,211
T4	0,197

Elde edilen sonuca göre iki numaralı tedarikçi %32 ile en yüksek skora sahip olurken, bir numaralı tedarikçi %28 ile küçük bir farkla takip etmektedir. Diğer iki tedarikçi daha az tercih edilebilir gözükse de %20 civarında bir tercih yüzdesi aşırı düşük değildir. Tedarikçiler için sipariş miktarı olarak bir kapasite kısıtlaması bulunsaydı, tedarik edilecek miktar bu yüzdelere dikkate alınarak bölüştürülebilirdi.

Sonuçları daha ayrıntılı değerlendirebilmek için hangi kriterlerde hangi tedarikçilerin daha tercih edilir olduklarına da bakılabilir. Tedarikçilerin alt kriterdeki ağırlıklarıyla (w_{Ti}), alt kriterlerin ilişkili kriterlerdeki ağırlıklarının (W_{YEM}) çarpılmasıyla; tedarikçilerin ana kriterlerde performansları daha net görülmektedir. Çarpım sonucu Tablo 3.30.'da verilmiştir.

Tablo 3. 30. Tedarikçilerin Ana Kriterlere Göre Ağırlıkları

Tedarikçilerin ana kriterlere göre ağırlıkları									
	Yonorg	Kalite	Teknik Y.	Üretim Y.	Finansal Y.	Teslimat	Hizmet	Çevre	Maliyet
T1	0,316	0,260	0,243	0,352	0,191	0,260	0,314	0,258	0,244
T2	0,413	0,427	0,464	0,287	0,468	0,206	0,341	0,447	0,218
T3	0,151	0,213	0,251	0,238	0,298	0,259	0,188	0,252	0,158
T4	0,120	0,100	0,043	0,122	0,043	0,276	0,156	0,042	0,381

Belli bir kritere göre hangi tedarikçilerin seçim avantajına sahip olduklarına bakılacak olursa tercihlerin farklılaşabileceği görülmektedir. Örneğin; dördüncü tedarikçi maliyet kriterine göre tercih edilmesi gereken tedarikçi iken, kalite kriterindeki değeri oldukça düşüktür. Toplam tedarikçi skoru açısından tercih edilmesi gereken ikinci tedarikçi maliyet kriterine göre üçüncü sırada olmasına rağmen, altı tane kriterde en iyi tedarikçi gözükmemektedir. Dolayısıyla, seçimlerin tek bir kritere göre yapılmadığı, birden çok faktörün belli bir ağırlık ile değerlendirilmesi gereken problem türlerinde AHS yönteminin kullanışlılığı kendini tekrar ortaya koymuştur.

Tedarikçi seçimi karar vericileri için, tercih kriterleri veya bu kriterlerin önem derecelerinin değiştiği durumlarda tercih sıralaması da değişebilecektir. Tedarik edilecek farklı bir ürün için kalite kriterinin çok daha az önemli olduğu, maliyetin öneminin arttığı bir seçim probleminde ikinci tedarikçi yerine dördüncü tedarikçinin seçilmesi mümkün olabilecektir. Uygulamanın gerçekleştirildiği işletme genellikle ihale ve teklif üzerinden satın alma yaptığı için, ihale şartnamesinde kriterlerin bir bölümü asgari gereklilik olarak ele alınıp kalan kriterler üzerinden bir seçim yapmaya elverişli bir bilgi matrisi elde edilmiştir.





SONUÇ VE ÖNERİLER

Tedarikçi seçimi problemi, satın alma faaliyetinin oluşturduğu değerin tüm faaliyetler içindeki önemli payı nedeniyle işletmeler için göz ardı edilmemesi gereken bir rekabet aracıdır. Tedarik sürecini başarıyla yönetemeyen bir işletmenin, talebin farklılaştığı ve çeşitlendiği, sadece en iyi rekabet koşullarına sahip olanların varlığını sürdürebildiği bir ortamda hayatını devam ettirebilmesi güçleşmektedir. Bu sebeple rekabetçi piyasa koşullarında, tüm işletme faaliyetleri gibi tedarik faaliyetinin de iyi yönetilmesi gerekmektedir.

Bu zorlayıcı sebeplerin ışığında tedarikçi seçimi problemi çalışmaları katlanarak artmış, bu problemi çözmeye yönelik olarak çok sayıda farklı yöntem önerilmiştir. Tedarikçi seçimi problemi için, mutlak bir yöntem üzerinde uzlaşamamasının nedeni; gerek sektör gerekse piyasa koşullarındaki farklılığın dışsal bir değişken olarak; işletmelerin kendilerine özgü işletme politikaları ve sınırlılıklarının içsel bir değişken olarak, problemin yapısını farklılaştırmasıdır. Tedarikçi seçimini yapacak işletme için, seçimin hangi kriterler üzerinden ve bu kriterlerin hangi önem derecesi üzerinden yapılacağı, kullanılacak yöntemi ve dolayısıyla ortaya çıkan sonucu etkileyen diğer bir unsurdur. Tez çalışmasında bu alanda önerilen yöntemlerin bir bölümüne özet olarak değinilmiş, tedarikçi seçimi uygulamasının gerçekleştirildiği yapısal eşitlik modeli (YEM) ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHS) yöntemi metodolojik olarak detaylı şekilde incelenmiştir.

Tedarikçi seçimi probleminin karmaşık yapısı, birçok kriterin ve tedarikçinin değerlendirilmesinin gerekliliği, geliştirilen yöntemler için kullanıcı dostu bilgisayar destekli programlarının da eş zamanlı geliştirilmesine yol açmıştır. Uygulamanın ilk bölümünde kullanılan YEM için tarihsel olarak LISREL programı kullanılsa da, kod yazmayı gerektirmeyen, görsel olarak daha anlaşılır ve kolay kullanılabilir olması ve verilerin kolay aktarımı gibi sebeplerle hesaplamalar ve raporlamalar SPSS-AMOS programıyla yapılmıştır. LISREL programıyla da kurulan model işletilmiş, özellikle düzeltme indislerinden yararlanılmış ve benzer sonuçlar elde edilmiştir. Tedarikçi seçiminin yapıldığı BAHS yöntemi hesaplamaları EXCEL programı üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Uygulama için iki farklı türde veri toplanmıştır. Vasıflı çelik malzeme tedarik eden işletmelere, tedarikçilerini belirlerken, tedarikçilerinin hangi özelliklerine daha çok önem verdiklerini belirlemeye yönelik bir saha çalışması yapılmıştır. Çalışmaya coğrafi bir sınır çizilmediği ve kapsamın geniş olması sebebiyle internet üzerinden anket formları doldurtulmuştur. Tedarikçi seçiminin yapılacağı işletme için ise işletmenin yöneticisine seçim kriterlerine göre tedarikçilerin karşılaştırılmasına imkân verecek biçimde düzenlenmiş karşılaştırma şablonları sunulmuştur.

Uygulamanın ilk bölümünde tedarikçi seçimi için önemli kriterler belirlenmeye çalışılırken, çoğu soyut değerlendirmelere dayanan bu kriterler, sayısal bir değer olarak seçim modeline eklenmiştir. Kriterler arasındaki ilişki istatistiksel olarak değerlendirilmiş, kriterlerin ilişkili bulunanlarının bir üst düzeyde bir örtük değişken tarafından açıklandığı görülmüştür. YEM'in tedarikçi seçiminde kullanımı literatürde bir kaç örnek dışında yoktur. Bu analiz vasıtasıyla oluşturulan yapı, uygulamanın ikinci safhasında kullanılan AHS yöntemi için temel olan hiyerarşik yapıyı, üstelik geçerliliğini de test ederek sunmuştur. Literatürdeki çoğu tedarikçi seçimi probleminde hangi yöntemle ele alındığından bağımsız olarak ; kriterler, alt kriterler ve bunların oluşturduğu yapı herhangi bir sınamadan geçmemektedir.

YEM'in değişkenler arasındaki ilişkilerden yararlanarak bir hiyerarşik yapı sunması; uygulama özelinde belirtilecek olursa kurulmuş olan bir yapının geçerliliğini test etmesinden öte, düzeyler arasındaki ilişkiyi kuran katsayıları modele katma imkânı vermesi bakımından değerlidir. Gözlenen değişkenlerle örtük değişkenler arasındaki ilişkinin, bir başka ifadeyle alt kriterlerin ilişkili oldukları ana kriterle bağlantısının katsayı olarak uygulamanın BAHS bölümüne aktarılması; bu çalışmanın özgün yönlerinden birisidir.

Uygulamada elde edilen sonuçlardan birisi; YEM ile kurulan ve test edilen hiyerarşide ikinci düzey katsayıların örtük değişkenlerin birbirlerine göre önemi olarak yorumlanamayacağı olmuştur. Farklı yapıların (faktörlerin), bir üst düzeyde tedarikçi seçimi yapısına göre değişim oranına işaret eden bu katsayılar, faktörün kendi içindeki değişkenlikten etkilendiği için diğer faktör katsayılarıyla önem açısından mukayesesi uygun bulunmamıştır.

Benzer bir çalışma yapan Punniyamoorthy vd. 'in (2011: 468) çalışmasında ikinci düzey parametre değerlerini ana kriter ağırlığı olarak alması sonucu, ana kriterler ağırlıkları birbirlerine çok yakın çıkmıştır. Hangi ana kriterin diğerinden görece daha önemli olduğu hakkında fikir vermekten uzak; tedarikçi seçiminde parametre olarak kullanılması güvenilmez gözükmemektedir. Mevcut çalışma da bu sakıncayı tekrar ortaya koymuştur. Tedarikçi seçimi problemlerinde önem olarak en başat gözüken; kalite, maliyet, teslimat gibi kriterler, parametre değeri olarak daha az önemde görülen parametrelerden düşük değerler vermiştir. Bu şüpheyi test edip doğrulayan diğer bir veri de, işletme tepe yöneticisinin ana kriterleri mukayesesinden BAHS yöntemine göre hesaplanan ağırlıklar olmuştur. Beklenildiği gibi kalite, maliyet ve teslimat kriterleri önem olarak toplamda %60 civarında bir ağırlıkta bulunmuştur. Sonuç olarak, BAHS yöntemiyle gerçekleştirilecek tedarikçi seçiminde kullanılacak hiyerarşik yapının en uygun kriterlerle oluşturulmasında ve test edilmesinde YEM yönteminin kullanılmasında fayda görülse de; ikinci düzey parametre değerlerinin kriter ağırlığı olarak değerlendirilmesi sakıncalı bulunmuştur.

Ölçme modelini oluşturan birinci düzey parametreleri ise aynı yapının temsilcisi olmaları sebebiyle yapının ne kadar iyi bir temsilcisi olduklarının ölçütü olarak mukayese edilebilirler. Dolayısıyla birinci düzey DFA parametreleri, BAHS yöntemine kriter yapısında alt kriter ağırlıkları olarak taşınmıştır. Punniyamoorthy vd. (2011) ise çalışmasında YEM ile bulunan alt kriterler yerine ana kriter ağırlıklarını BAHS yöntemine taşımış, tedarikçileri ana kriterlerde karşılaştırarak, tedarikçi skorlarına ulaşmıştır.

Bu çalışmada tedarikçi seçimi için ortaya konulan yaklaşım, hem YEM yönteminin gerektirdiği geçerlik ve güvenilirlik araçlarıyla sınanması, sonrasında BAHS yönteminde tutarlığının sağlanması bakımından klasik karşılaştırma yaklaşımlarına göre daha zorlayıcı, güvenilir bir yöntem ortaya koymuştur.

Bu çalışmanın perspektifinde kriter yapılarının birbirleriyle sadece hiyerarşik değil, yapısal olarak da etkileşimine izin veren Analitik Ağ Süreci gibi çok kriterli karar verme yöntemlerinde YEM'in kullanımı yeni araştırmalara kapı açabilecektir.



KAYNAKÇA

- Agrawal Vivek, Agrawal Anand Mohan and Mohanty Rakesh P. (2017). "Application of Fuzzy MCDM in Supplier Selection Of Fertiliser Manufacturing industry". *International Journal of Business Performance and Supply Chain Modelling*, 9 (2), 133-159.
- Aitken, Alexander C. (1934). "VI.—On the graduation of data by the orthogonal polynomials of least squares". *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, 53, 54-78.
- Akar Gülşah Sezer ve Çakır Engin (2016). "Lojistik Sektöründe Bütünleştirilmiş Bulanık Ahp-Moora Yaklaşımı İle Personel Seçimi". *Journal of Management and Economics Research*, 14 (2), 185-199.
- Akıllı Aslı, Atıl Hülya ve Kesenkaş Harun (2014). "Çiğ Süt Kalite Değerlendirmesinde Bulanık Mantık Yaklaşımı". *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 20 (2), 223-229.
- Akman Gülşen ve Alkan Atakan (2006). "Tedarik Zinciri Yönetiminde Bulanık AHP yöntemi kullanılarak tedarikçilerin performansının ölçülmesi: Otomotiv Yan Sanayiinde bir uygulama". *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5 (9), 23-46.
- Aktürk Zekeriya ve Acemoğlu Hamit (2012). "Tıbbi Araştırmalarda Güvenilirlik ve Geçerlilik". *Dicle Tıp Dergisi*, 39 (2), 316-319.
- Akyüz, Gökhan (2012). "Bulanık VIKOR Yöntemi İle Tedarikçi Seçimi". *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 26 (1), 197-215.
- Alakaş Hacı Mehmet, Bucak Mustafa ve Kızıltaş Şafak (2019). "AHP-TOPSIS ve AHP-VIKOR Yöntemleri İle Ambulans Tedarik Firması Seçimi". *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 4 (1), 93-101.
- Alexander Joyce M., and Saaty Thomas L. (1977). "The Forward And Backward Processes of Conflict Analysis". *Behavioral Science*, 22 (2), 87-98.

- Al-Harbi, Kmas (2001). "Application of the AHP in project management". *International Journal Of Project Management*, 19 (1), 19-27.
- Alonso Jose Alonso and Lamata M. Teresa (2004, July). "Estimation of the random index in the analytic hierarchy process." In Proceedings of information processing and management of uncertainty in knowledge-based systems (Vol. 1, pp. 317-322).
- Alonso Jose Antonio and Lamata, M. Teresa (2006). Consistency in the Analytic Hierarchy Process: a new approach. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 14 (04), 445-459.
- Alpar, Reha (2003). *Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Yöntemlere Giriş I [Introduction to Applied Multivariate Statistics Methods]*. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Şti.
- Altunışık Remzi, Coşkun Recai, Bayraktaroğlu Serkan ve Yıldırım Engin (2007). *Sosyal Bilimlerde Araştırma Yöntemleri: SPSS uygulamalı*. Sakarya: Sakarya yayıncılık.
- Amin Saman Hassanzadeh, Razmi Jafar and Zhang Guoging Zhang (2011). "Supplier Selection and Order Allocation Based on Fuzzy SWOT Analysis and Fuzzy Linear Programming". *Expert Systems with Applications*, 38 (1), 334-342.
- Anadolu Ajansı, Çelikte Türkiye'nin eli güçlenecek, <http://aa.com.tr/tr/ekonomi/celikte-turkiyenin-eli-guclenecek/808804>, 01.05.2017.
- Anderson David R., Sweeney Dennis J., and Williams Thomas A. (1997). *An Introduction to Management Science: quantitative Approaches to Decision Making*.
- Anderson T.W., and Rubin Herman (1956). "Statistical Inference in. In Proceedings of the Third Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability: Held at the Statistical Laboratory", University of California, December, 1954, July and August, *Univ of California Press*.1955 (Vol. 1, p. 111).

- Arbel Ami and Seidmann Abraham (1984). "Performance Evaluation of Flexible Manufacturing Systems". *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, (4), 606-617.
- Arıkan Murat ve Gökbek Berat (2014). "Çok Ölçütlü Karar Verme Yaklaşımlarına Dayalı Tedarikçi Seçimi: Elektronik Sektöründe Bir Uygulama". *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 30 (5), 346-354.
- Arslan Müjde ve Zırhlıoğlu Gürol (2019). "Öğretmen Performanslarının Bulanık Mantık Yöntemiyle Değerlendirilmesi". *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 18 (1), 569-594.
- Arunkumar, N., Karunamoorthy, L., Anand, S., and Babu, T. R. (2006). "Linear Approach For Solving A Piecewise Linear Vendor Selection Problem Of Quantity Discounts Using Lexicographic Method". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28 (11-12), 1254-1260.
- Atçıl, Muhittin Emir (2012). *Türkiye'nin Enerji Yatırımlarının Planlanması Sürecinin Bulanık Ahp Yöntemi ile Değerlendirilmesi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, İstanbul.
- Awasthi Anjali and Kannan Govindan (2016). "Green Supplier Development Program Selection Using Ngt and Vikor Under Fuzzy Environment". *Computers & Industrial Engineering*, 91, 100-108.
- Ayağ Zeki ve Özdemir Rıfat Gürcan (2006). "A fuzzy AHP Approach to Evaluating Machine Tool Alternatives". *Journal of intelligent manufacturing*, 17 (2), 179-190.
- Ayağ Zeki ve Özdemir Rıfat Gürcan (2006). "Takım Tezgahı Alternatiflerini Değerlendirmek İçin Bulanık Bir AHP Yaklaşımı". *Akıllı Üretim Dergisi*, 17 (2), 179-190.
- Aydın, Özlem (2009). "Bulanık AHP ile Ankara İçin Hastane Yer Seçimi". *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 24 (2), 87-104.
- Ayyıldız, Gökhan (2003). *CIM Yatırımlarının Bulanık AHP Yöntemi ile Değerlendirilmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Bache, J., Carr, R., Parnaby, J., and Tobias, A. M. (1987). "Supplier development systems". *International Journal of Technology Management*, 2 (2), 219-228.
- Bartholomew, David J. (2007). *Three Faces of Factor Analysis*. Factor Analysis at 100: Historical Developments and Future Directions.
- Barzilai Jonathan, Cook Wade and Golany Boaz (1987). "Consistent weights for judgements matrices of the relative importance of alternatives". *Oper Res L* 6: 131-134.
- Barzilai, Jonathan (1997). "Deriving Weights From Pairwise Comparison Matrices". *Journal of the operational research society*, 48 (12), 1226-1232.
- Bayazit Ozden and Karpak Birsan (2005). "An AHP application in vendor selection". *ISAHP, Honolulu, Hawaii, July*, 8-10.
- Bayrakçıl, Ali Oğuz (2007). *Tedarik Zinciri Yönetiminde Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi ve Tamsayılı Programlama ile Tedarikçi Seçimi: Hipotetik Bir Uygulama*, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sivas.
- Bayram, Nuran (2010). *Yapısal Eşitlik Modellemesine Giriş AMOS Uygulamaları*. Ankara: Ezgi Kitabevi.
- Bekcan Müçteba, Türk Çelik sektörünün Gücünü Sürdürme Arayışı Nasıl Olmalı?, <https://www.dunya.com/gundem/turk-celik-sektorunun-gucunu-surdurme-arayisi-nasil-olmali-haberi-306174>. 1 Şubat 2016.
- Bentler, Peter M. (1980). "Multivariate Analysis With Latent Variables: Causal Modeling". *Annual review of psychology*, 31 (1), 419-456.
- Bentler, Peter M. (1989). *EQS Structural Equations Program Manual*. Los Angeles: BMDP Statistical Software. Inc. BentlerEQS: Structural Equations Program Manual 1989.
- Bentler, Peter M. (1990). "Comparative fit Indexes In Structural Models". *Psychological Bulletin*, 107 (2), 238.
- Bentler, Peter M. (1995). *EQS Structural Equations Program Manual (Vol. 6)*. Encino, CA: Multivariate software.

- Bentler, Peter M., and Bonett, Douglas G. (1980). "Significance Test and Goodness of fit in the Analysis Of Covariance Structures". *Psychological Bulletin*, 88, 588-606.
- Birleşik Metal-İş Sendikası, Demir- Çelik Sektörü, Birleşik Metal-İş Yayınları, İstanbul, Mayıs 2003.
- Boender, C., Guus E., De Graan J. G., and Lootsma Freerk A. (1989). "Multi-criteria Decision Analysis With Fuzzy Pairwise Comparisons". *Fuzzy sets and Systems*, 29 (2), 133-143.
- Bollen, Kenneth A. (1986). "Sample size and Bentler and Bonett's nonnormed fit index". *Psychometrika*, 51 (3), 375-377.
- Bollen, Kenneth. A. (1989). "A New Incremental fit Index For General Structural Equation Models". *Sociological Methods & Research*, 17 (3), 303-316.
- Bollen, Kenneth. A. (1989). *Structural Equations With Latent Variables* (Vol. 210). John Wiley & Sons.
- Bolturk, Eda (2018). "Pythagorean Fuzzy CODAS and Its Application To Supplier Selection in a Manufacturing Firm". *Journal of Enterprise Information Management*, 31 (4), 550-564.
- Boran Fatih Emre, Genç Serkan, Kurt Mustafa, ve Akay Diyar (2009). "A multi-Criteria Intuitionistic Fuzzy Group Decision Making For Supplier Selection With TOPSIS Method". "Expert Systems with Applications", 36 (8), 11363-11368.
- Brito Crito and Pearl Judea (2002). "A new identification condition for recursive models with correlated errors". *Structural Equation Modeling*, 9 (4), 459-474.
- Brown, Timothy A. (2006). *Confirmatory Factor Analysis For Applied Research*. 2006. Confirmatory Factor Analysis For Applied Research. xiii.
- Browne Michael W., and Cudeck Robert (1989). "Single Sample Cross-Validation Indices For Covariance Structures". *Multivariate Behavioral Research*, 24 (4), 445-455.

- Browne, Michael W. (1974). "Generalized least Squares Estimators In The Analysis of Covariance Structures". *South African Statistical Journal*, 8 (1), 1-24.
- Browne, Michael W. (1982). "Covariance structures". *Topics in applied multivariate analysis*, 72-141.
- Browne, Michael W. (1984). "Asymptotically Distribution-free Methods for The Analysis Of Covariance Structures". *British journal of mathematical and statistical psychology*, 37 (1), 62-83.
- Brunelli, Matteo (2014). *Introduction to the analytic hierarchy process*. Springer.
- Buckley James J., Feuring Thomas and Hayashi Yoichi (2001). "Fuzzy Hierarchical Analysis Revisited". *European Journal of Operational Research*, 129 (1), 48-64.
- Buckley, J. J. (1985). Fuzzy Hierarchical Analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 17 (3), 233-247.
- Büyüközkan Gülçin ve Çifçi Gizem (2012). "A novel hybrid MCDM Approach Based on Fuzzy Dematel, Fuzzy anp and Fuzzy Topsis to Evaluate Green Suppliers". *Expert Systems with Applications*, 39 (3), 3000-3011.
- Büyüközkan Gülçin ve Göçer Fethullah (2017). "Application of a New Combined Intuitionistic Fuzzy MCDM Approach Based On Axiomatic Design Methodology for the supplier selection problem". *Applied Soft Computing*, 52, 1222-1238.
- Büyüközkan Gülçin, Kahraman Cengiz ve Ruan Da (2004). "A Fuzzy Multi-Criteria Decision Approach For Software Development Strategy Selection". *International Journal of General Systems*, 33 (2-3), 259-280.
- Calabrese Armando, Costa Roberta and Menichini Tamara (2013). "Using Fuzzy AHP to manage Intellectual Capital assets: An application to the ICT service industry". *Expert Systems with applications*, 40 (9), 3747-3755.
- Calabrese Armando, Costa Roberta, Levialdi Nathan nad Menichini Tamara (2016). "A Fuzzy Analytic Hierarchy Process Method To Support Materiality

- Assessment in Sustainability Reporting”. *Journal of Cleaner Production*, 121, 248-264.
- Chai Junyi, Liu James N., and Xu Zeshui. (2012). “A new rule-based SIR approach to supplier selection under intuitionistic fuzzy environments. *International Journal of Uncertainty*”, *Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 20 (03), 451-471.
- Chan Felix T., Lau Kai W, Chan, P. Lingyau and Choy, K.L. (2006). “Two-stage Approach For Machine-Part Grouping And Cell Layout Problems”. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 22 (3), 217-238.
- Chang Sheng Lin, Wang Reay Chen and Wang Shih Yuan (2007). “Applying a Direct Multi-Granularity Linguistic And Strategy-Oriented Aggregation Approach on the Assessment of Supply Performance”. *European Journal of Operational Research*, 177 (2), 1013-1025.
- Chang, Da Yong (1996). “Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP”. *European journal of operational research*, 95 (3), 649-655.
- Chen, Chen-Tung. (2001), “A Fuzzy Approach to Select the Location of the Distribution Center”, *Fuzzy Sets and Systems* , Vol. 118, pp. 65-73.
- Chen, Lisa Y., and Wang Tien Chin (2009). “Optimizing Partners’ Choice in IS/IT Outsourcing Projects: The Strategic Decision of Fuzzy VIKOR”. *International Journal of Production Economics*, 120 (1), 233-242.
- Chen, Yuh Jen (2011). “Structured Methodology for Supplier Selection and Evaluation in a Supply Chain”. *Information Sciences*, 181 (9), 1651-1670.
- Cheng Ching Hsue (1997). “Evaluating Naval Tactical Missile Systems by Fuzzy AHP Based on The Grade Value Of Membership Function”. *European journal of operational research*, 96 (2), 343-350.
- Chou Tsung Yu and Liang Gin Shuh (2001), “Application of A Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Model for Shipping Company Performance Evaluation”, *Maritime Policy & Management*, Vol. 28, No : 4, pp.375-392.

- Chou, Shuo Yan and Chang Yau Hui (2008). "A Decision Support System for Supplier Selection Based on a Strategy-Aligned Fuzzy SMART Approach". *Expert systems with applications*, 34 (4), 2241-2253.
- Christopher, Martin (2000). "The Agile Supply Chain: Competing In Volatile Markets". *Industrial marketing management*, 29 (1), 37-44.
- Chu, A. T. W., Kalaba, R. E., and Spingarn, K. (1979). A Comparison of two Methods for Determining the Weights of Belonging to Fuzzy Sets. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 27 (4), 531-538.
- Cömert Serap Ercan ve Yener Furkan (2017). "Bir Gıda Firması İçin Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi İle Depo Yeri Seçimi". *Uluslararası İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 2 (2), 161-177.
- Crawford, Gordon B. (1987). The geometric mean procedure for estimating the scale of a judgement matrix. *Mathematical Modelling*, 9 (3-5), 327-334.
- Cudeck Robert and Browne Michael W. (1983). "Cross-Validation of Covariance Structures". *Multivariate Behavioral Research*, 18 (2), 147-167.
- Cudeck Robert and MacCallum Robert C. (Eds.). (2007). *Factor analysis at 100: Historical developments and future directions*. Routledge.
- Cudeck, Robert (2000). Tinsley Howard E., and Brown Steven D. (Eds.). *Handbook of Applied Multivariate Statistics And Mathematical Modeling*. Academic press.
- Çakın Enver ve Özdemir Aslı (2013). "Tedarikçi Seçim Kararında Analitik Ağ Süreci (ANP) ve Electre Yöntemlerinin Kullanılması ve Bir Uygulama". *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 15 (2), 339-364.
- Çalık, Ahmet (2021). "A novel Pythagorean fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodology for green supplier selection in the Industry 4.0 era". *Soft Computing*, 25 (3), 2253-2265.
- Çelik İhracatçıları Birliği, Çelik İstatistikleri, <https://www.cib.org.tr/tr/istatistikler.html>, 2022.

- Çelik, Muhsin (2016). “Bulanık Sürece Dayalı Faaliyet Tabanlı Maliyetleme Sistemi”. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, (70), 91-110.
- Çınar Ayşegül ve Uygun Özer (2019). S”ezgisel Bulanık AHP Yöntemiyle Yeşil Tedarikçi Seçimi. *Journal of Intelligent Systems”: Theory and Applications*, 2 (2), 24-31.
- Dağdeviren Metin ve Erarslan Ergün (2008). “PROMETHEE Sıralama Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi”. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23 (1).
- Dağdeviren Metin ve Eren Tamer (2001). “Tedarikçi Firma Seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi Ve 0-1 Hedef Programlama Yöntemlerinin Kullanılması”. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 16 (1), 41-52.
- Dağdeviren, Metin (2007). “Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi İle Personel Seçimi Ve Bir Uygulama”. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22 (4).
- Davras Gonca Manap ve Karaatlı Meltem (2014). “Otel İşletmelerinde Tedarikçi Seçimi Sürecinde AHP ve BAHF Yöntemlerinin Uygulanması”. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 32 (1), 87-112.
- Davvodi, Alireza (2009). “On Inconsistency of a Pairwise Comparison Matrix”. *International Journal of Industrial Mathematics*, 1 (4), 343-350.
- DDMİB, Demir ve Demir Dışı Metaller İhracatçıları Birliği, <https://www.demirbirlik.org/TR,7/yaratilan-katma-deger-acisindan-vasifli-celik-urunler-o-.html>, 2010.
- De Boer, L., Labro Eva and Morlacchi Pierangela (2001). “A Review of Methods Supporting Supplier Selection”. *European Journal Of Purchasing & Supply Management*, 7 (2), 75-89.
- Degraeve Zeger, Labro Eva and Roodhooft Filip. (2000). “An Evaluation of Vendor Selection Models From A Total Cost Of Ownership Perspective”. *European Journal of Operational Research*, 125 (1), 34-58.

- Dempsey, William A. (1978). "Vendor selection and the buying process". *Industrial Marketing Management*, 7 (4), 257-267.
- Deng Xinyang, Hu Yong, Deng Yong, and Mahadevan Sankaran (2014). "Supplier Selection Using AHP Methodology Extended By D Numbers". *Expert Systems with Applications*, 41 (1), 156-167.
- Deng, Hepu (1999). "Multicriteria Analysis With Fuzzy Pairwise Comparison". *International Journal of Approximate Reasoning*, 21 (3), 215-231.
- Dickson, Gary W. (1966). "An Analysis of Vendor Selection Systems and Decisions". *Journal of Purchasing*, 2 (1), 5-17.
- Dijkstra, Theo K. (2013). "On the Extraction Of Weights From Pairwise Comparison Matrices". *Central European Journal of Operations Research*, 21 (1), 103-123.
- Ding, Ji Feng and Liang Gin Shuh (2005). "Using fuzzy MCDM to Select Partners of Strategic Alliances For Liner Shipping". *Information sciences*, 173 (1-3), 197-225.
- Dodd Francis J., Donegan H.A., and McMaster, T. Brian M. (1995). "Inverse Inconsistency in Analytic Hierarchies". *European Journal of Operational Research*, 80 (1), 86-93.
- DPT, (2000). Demir-Çelik Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Ankara.
- DPT, (2007). Ana Metal Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Dokuzuncu Kalkınma Planı, Ankara.
- Duncan, Otis D. (1966). "Path analysis: Sociological Examples". *American journal of Sociology*, 72 (1), 1-16.
- Duncan, Otis D. (1975). *Introduction to Structural Equation Models*. Elsevier.
- Durmić, Elmina (2019). "Evaluation of Criteria For Sustainable Supplier Selection Using FUCOM Method". *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 2 (1), 91-107.

- Dweiri Fikri, Kumar Sameer, Khan Sharfuddin Ahmed and Jain Vipul (2016). "Designing an integrated AHP based decision support system for supplier selection in automotive industry". *Expert Systems with Applications*, 62, 273-283.
- Ecer, F. (2007). "Üyelik Fonksiyonu Olarak Üçgen Bulanık Sayılar mı Yamuk Bulanık Sayılar mı?" *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9 (2), 161-180.
- Emshoff, James R., and Saaty Thomas L. (1982). "Applications of the Analytic Hierarchy Process To Long Range Planning Processes". *European Journal of Operational Research*, 10 (2), 131-143.
- Eren Tamer and Gür Şeyda (2018). "Ameliyathanelerin Performanslarına Etki Eden Faktörlerin Bulanık AHP ile Değerlendirmesi". *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3 (3), 197-204.
- Ertuğrul İrfan ve Karakaşoğlu Nilsen (2010). "Electre ve Bulanık AHP Yöntemleri İle Bir İşletme İçin Bilgisayar Seçimi". *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 25 (2), 23-45.
- Fallahpour Alireza, Olugu Ezutah Udoncy, Musa Siti Nurmaya, Khezrimotlagh D., and Wong Kuan Yew (2016). "An Integrated Model For Green Supplier Selection Under Fuzzy Environment: Application Of Data Envelopment Analysis And Genetic Programming Approach". *Neural Computing and Applications*, 27 (3), 707-725.
- Franek Jiri ve Kresta Ales (2014). "Judgment Scales And Consistency Measure in AHP". *Procedia Economics and Finance*, 12, 164-173.
- Frazelle, Edward (1985). *Suggested Techniques Enable Multi-Criteria Evaluation of Material Handling Alternatives*. *Industrial Engineer*, 17 (2), 42-+.
- Galton, Francis (1869). *Hereditary genius*. Macmillan and Company.
- Gani, A. Nagoor and Assarudeen S. Mohamed (2012). "A New Operation On Triangular Fuzzy Number For Solving Fuzzy Linear Programming Problem". *Applied Mathematical Sciences*, 6 (11), 525-532.

- Gao Shang, Zhang Zaiyue and Cao Cungen (2010). "Calculating Weights Methods in Complete Matrices and Incomplete Matrices". *J. Softw.*, 5 (3), 304-311.
- Gedikli Tolga, Ervural Beyzanur Çayır ve Şen Durmuş Tayyar (2021). "Bulanık TOPSIS ve Bulanık AHP Yaklaşımlarıyla En Uygun Bakım Stratejisinin Belirlenmesi: Bir Gıda İşletmesinde Uygulama". *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (22), 212-225.
- Ghodsypour Seyyed Hassan and O'Brien Christopher (1998). "A Decision Support System For Supplier Selection Using An Integrated Analytic Hierarchy Process and Linear Programming". *International journal of production economics*, 56, 199-212.
- Gholamnezhad, Abdolhamid (1981). "Critical Choices for OPEC Members and the United States". *Journal of Conflict Resolution*, 25 (1), 115-143.
- Golany Boaz and Kress Moshe (1993) "A multicriteria Evaluation Of The Methods For Obtaining Weights From Ratio-Scale Matrices". *Eur J Operat Res* 69: 210–202
- Goldberger, Arthur S. (1972). "Structural Equation Methods in the Social Sciences". *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 979-1001.
- Göksu Ali ve Güngör İbrahim (2008). "Bulanık Analitik Hiyerarşik Proses ve Üniversite Tercih Sıralamasında Uygulanması". *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13 (3), 1-26.
- Göktolga Ziya Gökalp ve Karakış Engin (2018). "Bireysel Emeklilik Şirketlerinin Finansal Performanslarının Bulanık AHP ve VIKOR Yöntemi ile Analizi". *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 19 (1), 92-108.
- Grace, James B. (2006). *Structural Equation Modeling and Natural Systems*. Cambridge University Press.
- Gujarati Damodar (1999). *Temel Ekonometri (Çeviri Kitap)*. Çevirenler Şenesen Ü. ve Şenesen G. Literatür.

- Günay Ziya ve Ünal Ömer Faruk (2016). “AHP-TOPSIS Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi (Bir Telekomünikasyon Şirketi Örneği)”. *PESA Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 2 (1), 37-53.
- Günden Cihad ve Miran Bülent (2008). “Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci Kullanılarak Çiftçi Kararlarının Analizi.” *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 45 (3), 195-206.
- Haavelmo, Trygve (1943). “The Statistical Implications of a System Of Simultaneous Equations Econometrica”, *Journal of the Econometric Society*, 1-12.
- Hair Joseph, Black William, Babin Barry and Anderson Rolph (2010). *Multivariate Data Analysis (7th ed.): Prentice-Hall, Inc.* Upper Saddle River, NJ, USA.
- Hanneman Robert. A. (1999), Lecture notes, <https://faculty.ucr.edu/m.hanneman/soc203b/lectures/identify>.
- Haq A. Noorul, and Kannan G. (2006). “Fuzzy Analytical Hierarchy Process For Evaluating and Selecting A Vendor in a Supply Chain Model”. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 29 (7-8), 826-835.
- Harker Patrick and Vargas Luis. (1987). “The Theory of Ratio Scale Estimation: Saaty's Analytic Hierarchy Process”. *Management Science*. 33 (11), 1383–1403
- Harker, Patrick T. (1986). “The use of Expert Judgments In Predicting Interregional Migration Patterns: An Analytic Hierarchy Approach”. *Geographical Analysis*, 18 (1), 62-80.
- Harrington, Donna (2009). *Confirmatory Factor Analysis*. Oxford university press.
- Hasan Md Mahmudul, Jiang Dizuo, Ullah A.Sharif, and Noor-E-Alam (2020). “Resilient supplier selection in logistics 4.0 with heterogeneous information”. *Expert Systems with Applications*, 139, 112799.
- Hashemi Sayed Hashemi, Karimi Amir and Tavana Madjid (2015). “An Integrated Green Supplier Selection Approach with Analytic Network Process and

- Improved Grey Relational Analysis”. *International Journal of Production Economics*, 159, 178-191.
- Hayduk, Leslie A. (1987). *Structural Equation Modeling With LISREL: Essentials and advances*. Jhu Press.
- Hayduk, Leslie A. (1996). *LISREL Issues, Debates and strategies*. JHU Press.
- Heo Eunnyeong, Kim Jinsoo and Boo Kyung Jin (2010). “Analysis of the Assessment Factors For Renewable Energy Dissemination Program Evaluation Using Fuzzy AHP”. *Renewable and sustainable energy reviews*, 14 (8), 2214-2220.
- Hoelter, Jon W. (1983). “The Analysis of Covariance Structures: Goodness-of-fit indices”. *Sociological Methods & Research*, 11 (3), 325-344.
- Hooper Daire, Coughlan Josehp and Mullen Michael R. (2008). “Structural Equation Modelling: Guidelines for Determining model fit”. *Electronic journal of business research methods*, 6 (1), pp53-60.
- Hoseini Seyed Alirali, Hashemkhani Zolfani Sarfaraz, Skačkauskas Paulius, Fallahpour Alireza and Saberi Sara (2022). “A Combined Interval Type-2 Fuzzy MCDM Framework for the Resilient Supplier Selection Problem”. *Mathematics*, 10 (1), 44.
- Hu Li-Tize and Bentler Peter M. (1998). “Fit indices in Covariance Structure Modeling: Sensitivity to Underparameterized Model Misspecification”. *Psychological Methods*, 3 (4), 424.
- Hu, Li-Tize and Bentler Peter. M. (1999). “Cutoff Criteria for fit Indexes in Covariance Structure Analysis: Conventional Criteria Versus new Alternatives”. *Structural equation modeling: a multidisciplinary journal*, 6 (1), 1-55.
- Hu, Li-Tize, Bentler Peter M., and Kano Y. (1992). “Can Test Statistics in Covariance Structure Analysis Be Trusted?”. *Psychological bulletin*, 112 (2), 351.

- Ishizaka Alessio and Lusti Markus (2006). "How to Derive Priorities in AHP: a Comparative Study". *Central European Journal of Operations Research*, 14 (4), 387-400.
- Ishizaka Alessio., Balkenborg D., Kaplan Tood (2010). "Influence of aggregation and measurement scale on ranking a compromise alternative in AHP". *Journal of the Operational Research Society*, 62 (4), 700–710.
- Jablonsky, Josef (2007). "Measuring the Efficiency Of Production Units by AHP Models". *Mathematical and Computer Modelling*, 46 (7-8), 1091-1098.
- Jadidi Omid, Zolfaghari Saeed and Cavalieri Sergio (2014). "A new Normalized Goal Programming Model For Multi-Objective Problems: A case of Supplier Selection and Order Allocation". *International Journal of Production Economics*, 148, 158-165.
- Jain Naveen and Singh Amit Raj (2020). "Sustainable Supplier Selection Under Must-be Criteria Through Fuzzy Inference System". *Journal of Cleaner Production*, 248, 119275.
- James Lawrence R., Mulaik Stanley A. and Brett Jeanne M. (1983). "Causal analysis: Assumptions, models, and data". *Beverly Hills (Calif.): Sage*, 1983.
- Jaskowski Piotr, Biruk Slawomir and Bucon Robert (2010). "Assessing Contractor Selection Criteria Weights With Fuzzy AHP Method Application in Group Decision Environment". *Automation in Construction*, 19 (2), 120-126.
- John Scott Long (1983a). *Covariance Structure Models* (No. 04; e-book.). Beverly Hills: Sage.
- John Scott Long (1983b). *Confirmatory Factor Analysis: A Preface to LISREL*. Sage Publications.
- Johnson CR, Beine WB and Wang TJ (1979). "A Note on Right Left Asymmetry in an Eigenvector Ranking Procedure". *J Math Psych* 19: 61-64
- Johnson, C. R., and Hihn J. M. (1980). Prioritization of Research Projects. In *Energy Storage* (pp. 562-566). Pergamon.

- Jones, Lyle V. (2007). *Remembering LL Thurstone*. In Factor Analysis at 100 (pp. 23-35). Routledge.
- Joreskog Karl G., and Sorbom Dag (1984). *LISREL VI: Analysis of linear structural relationships by the method of maximum likelihood*. Chicago: National Educational Resources.
- Joreskog, Karl G., and Van Thillo, M. (1971). *New Rapid Algorithms for Factor Analysis by Unweighted Least Squares, Generalized Least Squares and Maximum Likelihood*.
- Jöreskog Karl G., and Sörbom Dag (1982). "Recent Developments in Structural Equation Modeling". *Journal of marketing research*, 19 (4), 404-416.
- Jöreskog Karl G., and Goldberger Arthur. S. (1972). "Factor Analysis by Generalized Least Squares". *Psychometrika*, 37 (3), 243-260.
- Jöreskog Karl G., and Sörbom Dag (1989). *LISREL 7: A Guide to the Program and Applications*. Spss.
- Jöreskog, Karl G. (1967). "Some Contributions To Maximum Likelihood Factor Analysis" *Psychometrika* , 32 (4), 443-482.
- Jöreskog, Karl (1973). "A General Method For Estimating A Linear Structural Equation System". *Structural Equation Models in the Social Sciences*, 85-112.
- Jöreskog, Karl G. (1969). "A General Approach To Confirmatory Maximum Likelihood Factor Analysis". *Psychometrika*, 34 (2), 183-202.
- Jöreskog, Karl G. (1978). "Structural Analysis Of Covariance And Correlation Matrices". *Psychometrika*, 43 (4), 443-477.
- Jöreskog, Karl G. (1994). "Structural Equation Modeling With Ordinal Variables". *Lecture Notes-Monograph Series*, 297-310.
- Jöreskog, Karl G. (2007). Factor analysis and its extensions. Factor Analysis at, 100, 47-77.

- Kabak Mehmet ve Kazançoğlu Yiğit (2012). “Bulanık Analitik Hiyerarşi Yöntemiyle Öğretmen Seçimi ve Bir Uygulama”. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14 (1), 95- 111.
- Kahraman Cengiz, Cebeci Ufuk ve Ruan Da (2004). “Multi-Attribute Comparison of Catering Service Companies Using Fuzzy AHP: The case of Turkey”. *International journal of production economics*, 87 (2), 171-184.
- Kannan Devika, de Sousa Jabbour, Ana Beatriz Lopez and Jabbour Charbel Jose Chiappetta (2014). “Selecting green suppliers based on GSCM practices: Using fuzzy TOPSIS applied to a Brazilian electronics company.” *European Journal of Operational Research*, 233 (2), 432-447.
- Kannan Devika, Govindan Kannan and Rajendran Sivakumar (2015). “Fuzzy Axiomatic Design approach based green supplier selection: a case study from Singapore”. *Journal of Cleaner Production*, 96, 194-208.
- Kannan Vijay R., and Tan Keah Choon (2006). “Buyer-Supplier Relationships: the Impact Of Supplier Selection And Buyer-Supplier Engagement on Relationship and firm Performance.” *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.36 (10).
- Kapar, Kezban (2013). “Bir Üretim İşletmesinde Analitik Hiyerarşi Süreci İle Tedarikçi Seçimi” *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 28 (1), 197-231.
- Kaplan David and Wenger R. Neill (1993). “Asymptomatic Independence And Separability In Covariance Structure Models: Implications For Specification Error, Power, and Model Modification”. *Multivariate behavioral research*, 28 (4), 467-482.
- Kaplan, David (1990). *Structural equation modeling: Foundations and Extensions* (Vol. 10). Sage Publications.
- Kar, Arpan Kumar (2015). “A Hybrid Group Decision Support System For Supplier Selection Using Analytic Hierarchy Process, Fuzzy Set Theory And Neural Network”. *Journal of Computational Science*, 6, 23-33.

- Karakaşoğlu, Nilsen (2008), “Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Uygulama” Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli.
- Karsak, Ertuğrul E. (2001). *Personnel selection using a fuzzy MCDM approach based on ideal and anti-ideal solutions*. In Multiple criteria decision making in the new millennium (pp. 393-402). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Kayhan, Gonca (2010). *İnsan Kaynakları Performans Değerlendirilmesinde Bulanık AHP/Bulanık TOPSİS İle Hibrit Bir Yapının Oluşturulması ve Bir Uygulama*, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Kazançoğlu Yiğit ve Ada Erhan (2010). “Perakende Sektöründe Tedarikçi Seçiminin Bulanık AHP İle Gerçekleştirilmesi”. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 9 (1), 29-52.
- Keesling, James Ward (1973). *Maximum Likelihood Approaches To Causal Flow Analysis* (Doctoral dissertation, The University of Chicago).
- Kenny David, Kashy Deborah and Bolger Niall (1998). *Data analysis*. In *The handbook of social psychology: Vols. 1 and 2*, (pp. 233-265). New York: McGraw-Hill.
- Kenny, David A. (1979). *Correlation and Causality*. New York: Wiley.
- Keshavarz Ghorabae Mehdi, Amiri Maghsoud, Zavadskas Edmundas Kazimieras and Antucheviciene Jurgita. (2017). “Supplier evaluation and selection in fuzzy environments: A review of MADM approaches”. *Economic research-Ekonomska istraživanja*, 30 (1), 1073-1118.
- Kilinci Ozcan and Onal Suzan Aslı (2011). “Fuzzy AHP Approach for Supplier Selection in a Washing Machine Company”. *Expert systems with Applications*, 38 (8), 9656-9664
- Kiraz Alper, Genç Nilay, Mehmet Taş ve Çağatay Teke (2018). “Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS Yöntemleri ile Sakarya İlinin Yatırım Öncelikli Sektörlerinin Belirlenmesi.” *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1 (1), 42-52.

- Kline, Rex B. (2011). Principles and practice of structural equation modeling.
- Klir George and Yuan Bo (1995). Fuzzy sets and fuzzy logic (Vol. 4). New Jersey: Prentice hall.
- Komar Can (2017). Çelik Sektörü Kökten Değişiyor, <http://www.demircelik.com.tr/-3-297-celik-sektoru-kokten-degisiyor.html>, 2017.
- Koopmans Tjalling C., Rubin Herman and Leipnik Roy Bergh (1950). “Measuring the Equation Systems Of Dynamic Economics.” *Statistical inference in dynamic economic models*, 10, 53-237.
- Korvin, A., and Kleyale, R. (1999). Fuzzy analytical hierarchial processes. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 7 (4), 387-400.
- Kumar Amit, Jain Vipul and Kumar Sameer (2014). “A Comprehensive Environment Friendly Approach For Supplier Selection”. *Omega*, 42 (1), 109-123.
- Kumar N. Vinod and Ganesh L.S. (1996). “A Simulation-Based Evaluation of the Approximate and the exact Eigenvector Methods Employed in AHP”. *European Journal of Operational Research*, 95 (3), 656-662.
- Küçük Orhan ve Ecer Fatih (2008). “İmalatçı İşletmelerde Uygun Tedarikçi Seçimi: Analitik Hiyerarşi Yöntemi ile Bir KOBİ uygulaması”. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 22 (2), 435-450.
- Kwong, C. K., and Bai, H. (2003). “Determining the importance weights for the customer requirements in QFD using a fuzzy AHP with an extent analysis approach”. *Iie transactions*, 35 (7), 619-626.
- Lawley Derrick Norman and Maxwell Albert Ernest (1962). “Factor Analysis as a Statistical Method. *Journal of the Royal Statistical Society*”. *Series D (The Statistician)*, 12 (3), 209-229.
- Lawley Derrick Norman and Maxwell Albert Ernest (1971). *Factor analysis as a statistical method* (2nd ed.). New York: American Elsevier.

- Lawley, Derrick Norman (1940). "The estimation of Factor Loadings By The Method Of Maximum Likelihood". *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, 60, 64–82.
- Lawley, Derrick Norman (1941). "Further Investigations in Factor Estimation". *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, 61, 176–185.
- Lawley, Derrick Norman and Maxwell Albert Ernest (1963), *Factor Analysis as a Statistical Method*. London: Butterworth.
- Lee, Sik Yum (2007). *Structural equation modeling: A Bayesian approach*. John Wiley & Sons.
- Lei, Pui Wa and Wu Qiong (2007). "Introduction to Structural Equation Modeling: Issues and Practical Considerations". *Educational Measurement: issues and practice*, 26 (3), 33-43.
- Leung Lawrence Chi and Cao D. (2000). "On Consistency and Ranking of Alternatives in fuzzy AHP". *European journal of operational research*, 124 (1), 102-113.
- Levary, Reuven R. (2008). "Using the Analytic Hierarchy Process To Rank Foreign suppliers based on supply risks". *Computers & Industrial Engineering*, 55 (2), 535-542.
- Li Luo and Zabinsky Zelda B. (2011). "Incorporating Uncertainty Into a Supplier Selection Problem". *International Journal of Production Economics*, 134 (2), 344-356.
- Lin Liang and Wang Chao (2012). "On Consistency and Ranking of Alternatives in Uncertain AHP". *Natural Science*, 4 (5), 340-348.
- Lin, Shu-Cheng Scott (2019). *Analytic Hierarchy Process by Least Square Method Revisit*. Mathematical Problems in Engineering, 2019.
- Liu Tianyu, Yong Deng and Felix Chan (2018). "Evidential Supplier Selection Based on Dematel and Game Theory". *International Journal of Fuzzy Systems*, 20 (4), 1321-1333.

- Lootsma, Freerk (1980). "Saaty's Priority Theory and the Nomination of a Senior Professor in Operations Research". *European Journal of Operational Research*, 4 (6), 380-388.
- Lootsma, Freerk (1989). "Conflict Resolution via Pairwise Comparison of Concessions". *European Journal of Operational Research*. Elsevier: Amsterdam. 40 (1), 109–116.
- Lusk, Edward (1979). "Analysis of Hospital Capital Decision Alternatives: a Priority Assignment Model". *Journal of the Operational Research Society*, 30 (5), 439-448.
- Lusti, Markus (2002). *Data Warehousing und Data Mining*, 2. Auflage Berlin.
- Luthra Sunil, Govindan Kannan, Kannan Devika, Mangla Kumar Sachin and Prakash Garg Chandra (2017). "An Integrated Framework For Sustainable Supplier Selection and Evaluation in Supply Chains". *Journal of Cleaner Production*, 140, 1686-1698.
- Ma Da and Zheng, Xeuquing (1991). *9/9-9/1 Scale Method of AHP*. In *2nd Int. Symposium on AHP* (Vol. 1,). University of Pittsburgh: Pittsburgh, pp. 197-202.
- Mabert Vincent and Venkataramanan Mehdi (1998). "Special Research Focus on Supply Chain Linkages: Challenges for Design and Management in the 21st Century". *Decision Sciences*, 29 (3), 537-552.
- Mao, Hongwei (1999). *Estimating Labour Productivity Using Fuzzy Set Theory*, Master of Science Thesis, University of Alberta.
- Maruyama, Geoffrey (1998). *Basics of Structural Equation Modeling*. Sage Publications.
- Masella Cristina and Rangone Andrea (1995). *Managing Supplier/Customer Relationships by Performance Measurement Systems*. In *Proceedings of the 2nd International Symposium on Logistics* (pp. 95-102).
- McDonald Roderick (1989). "An Index of Goodness-of-fit Based on Noncentrality". *Journal of Classification*, 6 (1), 97-103.

- McDonald Roderick (1999). *Test Theory: A Unified Treatment*, Behavioral Sciences, Education.
- McDonald Roderick and Marsh Herbert (1990). "Choosing a Multivariate Model: Noncentrality and Goodness of Fit". *Psychological Bulletin*, 107 (2), 247.
- Memariac Ashkan, Dargib Ahmad, Reza Mohammad, Jokara Akbari, Ahmadc Robiah and Rahimc Abdul Rahman (2019). "Sustainable Supplier Selection: A Multi-Criteria Intuitionistic Fuzzy TOPSIS Method". *Journal of Manufacturing Systems*, (50), 9-24.
- Mentzer John, DeWitt William, Keebler James, Min Soonhong, Nix Nancy, Carlo Smith and Zacharia Zach (2001). "Defining Supply Chain Management". *Journal of Business Logistics*, 22 (2), 1-25.
- Merli, Giorgio (1991). *Co-makership: The New Supply Strategy for Manufacturers*. Productivity Press.
- Merschmann Ufh and Thonemann Ulrich (2011). "Supply Chain Flexibility, Uncertainty and Firm Performance: An Empirical Analysis of German Manufacturing Firms". *International Journal of Production Economics*, 130 (1), 43-53.
- Min Hokey and Zhou Gengui (2002). "Supply Chain Modeling: Past, Present and Future". *Computers & Industrial Engineering*, 43 (1-2), 231-249.
- Min Soonhong, Roath Anthony, Daugherty Patricia, Genchev Stefan, Chen Haozhe, Arndt Aaron and Richey Glenn (2005). "Supply Chain Collaboration: What's Happening?". *The International Journal of Logistics Management*, 16 (2), 237-256.
- Mitaim Sanya and Kosko Bart (1996). "What is the Best Shape For a Fuzzy set in Function Approximation?." *In Proceedings of IEEE 5th International Fuzzy Systems*, (2), 1237-1243). IEEE.
- Mitroff Ian, Emshoff James and Kilmann Ralph (1979). "Assumptional Analysis: A Methodology For Strategic Problem Solving". *Management Science*, 25 (6), 583-593.

- Mohammed Ahmed, Harris Irina and Govindan Kannan (2019). "A Hybrid MCDM-FMOO Approach for Sustainable Supplier Selection and Order Allocation". *International Journal of Production Economics*, (217), 171-184.
- Montazer Gloham, Saremi Hamed and Ramezani Maryam (2009). "Design a New Mixed Expert Decision Aiding System Using Fuzzy ELECTRE III Method for Vendor Selection". *Expert Systems with Applications*, 36 (8), 10837-10847.
- Mueller, Ralph (1996). *Basic Principles of Structural Equation Modeling: An Introduction to LISREL and EQS*. Springer Science & Business Media.
- Mulaik Stanley (2009). *Linear Causal Modeling With Structural Equations*. CRC press.
- Mulaik Stanley and James Lawrence (1995). *Objectivity and Reasoning in Science and Structural Equation Modeling*. Structural equation modeling: Concepts, issues, and applications (pp. 118-137). Sage Publications, Inc.
- Mulaik Stanley, James Larry, Van Alstine Judith, Bennett Nathan, Lind Sherri and Stilwell De (1989), "Evaluation of Goodness-of-Fit Indices for Structural Equation Models", *Psychological Bulletin*, 105 (3), 430-45.
- Muralidharan Chandrasekaran, Anantharaman, R.N., and Deshmukh, S. G. (2001). "Vendor Rating in Purchasing Scenario: a Confidence Interval Approach". *International Journal of Operations & Production Management*.
- Muthén Bengt and Satorra Albert (1989). *Multilevel Aspects of Varying Parameters in Structural Models*. In Multilevel Analysis of Educational data (pp. 87-99). Academic Press.
- Muthén, Bengt (1978). "Contributions to Factor Analysis of Dichotomous Variables". *Psychometrika*, 43 (4), 551-560.
- Muthén, Bengt (1984). "A General Structural Equation Model With Dichotomous, Ordered Categorical, and Continuous Latent Variable Indicators". *Psychometrika*, 49 (1), 115-132.

- Muthén, Bengt and Kaplan David (1985). “A Comparison of Some Methodologies For the Factor Analysis of Non-normal Likert Variables”. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 38 (2), 171-189.
- Nasrollahi Mahdi, Fathi Reza, Sobhani Seyed Muhammad, Khosravi Abolfazl and Noorbakhsh, Asgar (2021). “Modeling Resilient Supplier Selection Criteria in Desalination Supply Chain Based on fuzzy Dematel and ISM”. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 16 (4), 264-278.
- Olhager Jan and Selldin Erik (2004). “Supply Chain Management Survey of Swedish Manufacturing Firms”. *International Journal of Production Economics*, 89 (3), 353-361.
- Organ Arzu ve Kenger Murat Deniz (2012). “Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci ve Mortgage Banka Kredisi Seçim Problemine Uygulanması”. *Niğde Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 5 (2), 119-135.
- Organ Arzu ve Kenger Murat Deniz (2018). “Bütünleşik Bulanık AHP-Bulanık MOORA Yaklaşımının Market Personeli Seçimi Problemine Uygulanması”. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 6 (ICEESS’18), 271-280.
- Özçakar Necdet ve Demir Handan (2011). “Bulanık TOPSIS Yöntemiyle Tedarikçi Seçimi”. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi*, 22 (69), 25-44.
- Özdağoğlu, Aşkın (2008). “Bulanık AHP Yaklaşımında Duyarlılık Analizleri: Yeni bir Hammadde Tedarikçisinin Çözüme Eklenmesi”. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7 (13), 51-72.
- Özdamar, Kazım (2004). *Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi*, Eskişehir: Kaan Kitabevi.
- Özdemir Ali İhsan and Seçme Neşe Yalçın (2009). “İki Aşamalı Stratejik Tedarikçi Seçiminin Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Analizi”. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 11 (2), 79-112.

- Özgörmüş Elif, Mutlu Özcan ve Güner Hacer (2005). “Bulanık AHP İle Personel Seçimi”, *V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, İstanbul Ticaret Üniversitesi*, s.111-115.
- Öztürk Ahmet, Ertuğrul İrfan ve Karakaşoğlu Nilsen (2008). “Nakliye Firması Seçiminde Bulanık AHP ve Bulanık Topsıs Yöntemlerinin Karşılaştırılması”. *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 25 (2), 785-824.
- Öztürk Derya ve Tekin, Mahmut (2021). “Hammadde Tedarikçi Seçiminde AHP-TOPSIS Yöntemlerinin Kullanılması ve Gıda Sektöründe Bir Uygulama”. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 25 (2), 411-432.
- Paksoy Turan ve Güleş Hasan Kürşat (2006). “Analytic Hierarchy Process for Supplier Selection Problem in Supply Chain Management: Case Study of a Textile Manufacturer Firm”. *Sigma*, 4, 100-110.
- Paksoy, Turan (2005). “Tedarik Zinciri yönetiminde Dağıtım Ağlarının Tasarımı ve Optimizasyonu: Malzeme İhtiyaç Kısıtı Altında Stratejik Bir Üretim-Dağıtım Modeli”. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (14), 435-454.
- Partovi, Fariborz (1994). “Determining What to Benchmark: an Analytic Hierarchy Process Approach”. *International Journal of Operations & Production Management* 14 (6): 25-39
- Pearl, Judea (2000). *Models, Reasoning and Inference*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 19.
- Pearson, Karl (1896). “VII. Mathematical Contributions to the Theory of Evolution.- III. Regression, Heredity, and Panmixia. Philosophical Transactions of the Royal Society of London”. *Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character*, (187), 253-318.
- Pearson, Karl (1904). *On the theory of contingency and its relation to association and normal correlation*. Dulau and Company.

- Pearson, Karl (1920). "Notes on the History of Correlation". *Biometrika*, 13 (1), 25-45.
- Pipatprapa Anirut, Huang Hsiang and Huang Ching-Hsu (2016). "A Novel Environmental Performance Evaluation of Thailand's food Industry Using Structural Equation Modeling and Fuzzy Analytic Hierarchy Techniques". *Sustainability*, 8 (3), 246.
- Pitchipoo Pandian, Venkumar Ponnusamy and Rajakarunakaran Sivaprakasam (2012). "A Distinct Decision Model for the Evaluation and Selection of a Supplier for a Chemical Processing Industry". *International Journal of Production Research*, 50 (16), 4635-4648.
- Prahinski Carol and Benton Wiston (2004). "Supplier Evaluations: Communication Strategies to Improve Supplier Performance." *Journal of Operations Management*, 22 (1), 39-62.
- Punniyamoorthy Murugesan, Mathiyalagan Praveen and Premanand Parthiban (2011). "A Strategic Model Using Structural Equation Modeling and Fuzzy Logic in Supplier Selection". *Expert Systems with Applications*, 38 (1), 458-474.
- Rajesh Rajagopal and Ravi, V. (2015). "Supplier Selection in Resilient Supply Chains: a Grey Relational Analysis Approach". *Journal of Cleaner Production*, 86, 343-359.
- Rajesh, G., and Malliga Poosandaram (2013). "Supplier Selection Based on AHP QFD Methodology". *Procedia Engineering*, 64, 1283-1292.
- Ramakrishnan Ravi Krishnapuram and Chakraborty Shankar (2020). "A Cloud Topsis Model for Green Supplier Selection". *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*, 18 (3), 375-397.
- Ramík Jaroslav and Korviny Petr (2010). "Inconsistency of Pair-Wise Comparison Matrix With Fuzzy Elements Based on Geometric Mean". *Fuzzy Sets and Systems*, 161 (11), 1604-1613.

- Rao, C. P., and Kiser, G. E. (1980). "Educational Buyers' Perceptions of Vendor Attributes". *Journal of Purchasing and Materials Management*, 16 (4), 25-30.
- Reyment Richard and Jvreskog, K. G. (1996). *Applied Factor Analysis in the Natural Sciences*. Cambridge University Press.
- Rezaeia Jafar, Nispelinga Thomas, Sarkisb Joseph and Tavasszya Lori (2016). "A Supplier Selection Life Cycle Approach Integrating Traditional and Environmental Criteria Using the Best Worst Method". *Journal of Cleaner Production*, 135, 577-588.
- Rigdon, Edward (1995). "A Necessary and Sufficient Identification Rule For Structural Models Estimated in Practice". *Multivariate Behavioral Research*, 30 (3), 359-383.
- Roshandela Jinus, Miri-Nargesib Sina Seyed and Hatami-Shirkouhic Loghman (2013). "Evaluating and Selecting the Supplier in Detergent Production Industry Using Hierarchical fuzzy TOPSIS". *Applied Mathematical Modelling*, 37 (24), 10170-10181.
- Rouyendegh Daneshvar Babak, Yildizbasi Abdullah and Üstünyer Pelin (2020). "Intuitionistic Fuzzy TOPSIS Method for Green Supplier Selection Problem". *Soft Computing*, 24 (3), 2215-2228.
- Saaty Thomas (1986). "Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process". *Management Science*, 32 (7), 841-855.
- Saaty Thomas and Bennett, J. P. (1977). "A Theory of Analytical Hierarchies Applied to Political Candidacy". *Behavioral Science*, 22 (4), 237-245.
- Saaty Thomas and Gholamnezhad, H. (1982). "High-level Nuclear Waste Management: Analysis of Options". *Environment and Planning B: Planning and Design*, 9 (2), 181-196.
- Saaty Thomas and Rogers Paul (1976). "Higher Education in the United States (1985–2000): Scenario Construction Using a Hierarchical Framework With Eigenvector Weighting". *Socio-Economic Planning Sciences*, 10 (6), 251-263.

- Saaty Thomas and Tran Liem (2007). "On the Invalidity of Fuzzifying Numerical Judgments in the Analytic Hierarchy Process". *Mathematical and Computer Modelling*, 46 (7-8), 962-975.
- Saaty Thomas and Vargas Luis (1979). "Estimating Technological Coefficients by the Analytic Hierarchy Process". *Socio-Economic Planning Sciences*, 13 (6), 333-336.
- Saaty Thomas and Vargas Luis (1980). "Hierarchical Analysis of Behavior in Competition: Prediction in Chess". *Behavioral Science*, 25 (3), 180-191.
- Saaty Thomas and Vargas Luis (1984). "Comparison of Eigenvalue, Logarithmic Least Squares and Least Squares Methods in Estimating Ratios". *Mathematical Modelling*, 5 (5), 309-324.
- Saaty Thomas, and Wong Molly (1983). "Projecting Average Family size in Rural India by the Analytic Hierarchy Process". *Journal of Mathematical Sociology*, 9 (3), 181-209.
- Saaty Thomas, Rogers Paul and Pell Ricardo (1980). "Portfolio Selection Through Hierarchies". *The Journal of Portfolio Management*, 6 (3), 16-21.
- Saaty, Thomas (1977). "The Sudan Transport Study". *Interfaces*, 8 (1-part-2), 37-57.
- Saaty, Thomas (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. Mac Gray-Hill, New York
- Saaty, Thomas (1983). "Conflict Resolution and the Falkland Islands Invasions". *Interfaces*, 13 (6), 68-83.
- Saaty, Thomas (1987). "The Analytic Hierarchy Process-what it is and How it is Used". *Mathematical Modelling*, 9 (3-5), 161-176.
- Saen, Farzipoor Reza (2010). "Developing a New Data Envelopment Analysis Methodology for Supplier Selection in the Presence of Both Undesirable Outputs and Imprecise Data". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 51 (9-12), 1243-1250.
- Sanayei Amir, Mousavi Farid and Yazdankhah, A. (2010). "Group Decision Making Process for Supplier Selection with VIKOR Under Fuzzy Environment". *Expert Systems with Applications*, 37 (1), 24-30.

- Satorra, Albert (1992). "Asymptotic Robust Inferences in the Analysis of Mean and Covariance Structures". *Sociological Methodology*, 249-278.
- Schmitz, J., and Platts, K. W. (2004). "Supplier Logistics Performance Measurement: Indications From a Study in the Automotive Industry". *International Journal of Production Economics*, 89 (2), 231-243.
- Schumacher Randall and Lomax Richard (2010). *A Beginners Guide to Structural Equation Modeling: SEM*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Seçme Yalçın Neşe ve Özdemir İhsan Ali (2008). "Bulanık Analitik Hiyerarşi Yöntemi İle Çok Kriterli Stratejik Tedarikçi Seçimi: Türkiye Örneği". *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 22 (2), 175-191.
- Sharmaa Subhash, Mukherjeeb Soumen, Kumarc Ajith and Dillond William (2005), "A Simulation Study to Investigate the use of Cutoff Values for Assessing Model Fit in Covariance Structure Models", *Journal of Business Research*, 58 (1), 935-43.
- Sheu, Juih-Biing (2004), "A Hybrid Fuzzy-Based Approach for Identifying Global Logistics Strategies", *Transportation Research*, 40(1), 39-61.
- Simchi-Levi David, Kaminsky, P., and Simchi-Levi, E. (2004). *Managing the Supply Chain: Definitive Guide*. Tata McGraw-Hill Education.
- Simić Dragan, Kovačević Ilija, Svirčević Vasa and Simić Svetlana (2017). "50 Years of Fuzzy set Theory and Models for Supplier Assessment and Selection: A Literature Review". *Journal of Applied Logic*, 24, 85-96.
- Sinuanay-Stern, Zilla (1984). "A Network Optimization Model For Budget Allocation in a Multi-Campus University". *Journal of the Operational Research Society*, 35 (8), 749-757.
- Soyer Ayberk ve Türkay Beste (2020). "Yeşil Satın Alma ve Yeşil Tedarikçi Seçimi: Beyaz Eşya Sektöründe Bir Uygulama". *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8 (4), 1202-1222.

- Söyler Hasan ve Yaraş Eyyup (2016). “Küresel Pazara Giriş Kararının Bulanık AHP Ve Bulanık Topsis Yaklaşımıyla Analizi”. *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5 (4), 77-96.
- Spearman, C. (1904). “General Intelligence, Objectively Determined and Measured”. *The American Journal of Psychology*, 15 (2), 201-292.
- Srdjevic Bojan and Medeiros Pinto Dantas Yvonilde (2008). “Fuzzy AHP Assessment of Water Management Plans”. *Water Resources Management*, 22 (7), 877-894.
- Stanton, Jeffrey (2001). “Galton, Pearson, and the Peas: A Brief History of Linear Regression for Statistics İnstructors”. *Journal of Statistics Education*, 9 (3).
- Steiger, James (1989). and Lind, J. C. (1980). *Statistically-Based Tests For the Number of Common Factors*. Paper Presented at the Annual Spring Meeting of the Psychometric Society in Iowa City.
- Steiger, James (1989). *Ezpath: Causal Modeling: a Supplementary Module for SYSTAT and Sygraph: Pc-Ms-Dos*, Version 1.0. Systat.
- Stein William and Mizzi Philip (2007). “The Harmonic Consistency Index for the Analytic Hierarchy Process”. *European Journal of Operational Research*, 177 (1), 488-497.
- Stevens, Graham (1989), “Integrating the Supply Chains,” *International Journal of Physical Distribution and Materials Management*, 8(8), 3-8.
- Stevenson William, Hojati Mehrat and Cao, J. (2014). *Operations Management*, McGraw-Hill Education.
- Supçiller Ayça Aliye ve Deligöz Kevser (2018). “Tedarikçi Seçimi Probleminin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Uzlaşık Çözümü”. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 355-368.
- Şahin Yusuf ve Supçiller Aliye (2015). “Tedarikçi Seçimi İçin bir Karar Destek Sistemi”. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3 (2), 91-104.

- Şengül Ümran, Eren Miraç ve Shiraz Eslamian Seyedhadi (2012). “Bulanık AHP İle Belediyelerin Toplu Taşıma Araç Seçimi”. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (40), 143-165.
- Şentürk Sevil (2006). *Deney Planlamasında Bulanık Mantık Yaklaşımı*. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmış Doktora Tezi, Eskişehir.
- Şimşek Ali, Catır Ozan ve Ömürbek Nuri (2014). “Turizm Sektöründe Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci ile Personel Seçimi”. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, XXXIII, (2), 147-169.
- Şimşek, Ömer Faruk (2007). *Yapısal Eşitlik Modellemesine Giriş: Temel İlkeler ve LISREL Uygulamaları*. Ankara: Ekinoks.
- Şişman, Bilal (2017). “Hata Türü ve Etkileri Analizinde Bulanık AHP ve Bulanık VIKOR Yöntemleri İle Otomotiv Sektöründe Risk Değerlendirilmesi-Risk Evaluating by Fuzzy AHP and FUZZY VIKOR Methods in Failure Mode and Effects Analysis For Automotive Sector”. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 9 (18), 234-250.
- Tabachnick Barbara and Fidell Linda (2007). *Using Multivariate Statistics*, Boston, MA: Pearson.
- Talluri Srinivas and Baker Richard (2002). “A Multi-Phase Mathematical Programming Approach For Effective Supply Chain Design”. *European Journal of Operational Research*, 141 (3), 544-558.
- Tan, Keah Choon (2001). “A Framework of Supply Chain Management Literature”. *European Journal of Purchasing and Supply Management*, 7 (1), 39-48.
- Tang Ou and Musa Nurmaya (2011). “Identifying Risk Issues and Research Advancements in Supply Chain Risk Management”. *International Journal of Production Economics*, 133 (1), 25-34.
- Tavana Madjid, Yazdani Morteza and Caprio Di Debora (2016). “An Application of an Integrated ANP–QFD Framework for Sustainable Supplier Selection”. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 1-22.

- Taylor Frank, Ketcham Allen and Hoffman Darwin (1998). *Personnel Evaluation With AHP*, Management Decision.
- TÇÜD, Çelik Haritası, <https://celik.org.tr/harita/>, 2017.
- TÇÜDa, Çelik Haritası, <https://celik.org.tr/harita/>, 2022.
- TÇÜDb, Çelik Dergisi, sayı 136, Mayıs 2022.
- The Great Soviet Encyclopedia (2017). "3rd Edition. S.v. "Special Steel." Retrieved November 22 2017 from Erişim adresi: <https://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Special+Steel>.
- Thurstone, L. L. (1934). "The Vectors of Mind". *Psychological review*, 41 (1), 1.
- TOBB, (2017). "Türkiye demir ve Demirdışı Metaller Meclis Raporu", Erişim adresi: <https://www.tobb.org.tr/Documents/yayinlar>.
- Toksarı Murat ve Toksarı Duran (2011). "Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Yaklaşımı Kullanılarak Hedef Pazarın Belirlenmesi". *ODTÜ Gelişme Dergisi*, 38, 51-70.
- Toloo Mehdi and Nalchigar Soroosh (2011). "A New DEA Method for Supplier Selection in Presence of Both Cardinal and Ordinal Data". *Expert Systems with Applications*, 38 (12), 14726-14731.
- Tosunoğlu Güneri, Nuray (2020). "Üniversite Sıralama Göstergelerinin Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile Sıralanması". *Journal of Higher Education & Science/Yükseköğretim ve Bilim Dergisi*, 10 (3), 451-460.
- Tucker Ledyard and Lewis Charles (1973). "A Reliability Coefficient for Maximum Likelihood factor analysis". *Psychometrika*, (38), 1-10.
- Tullous Raydell and Utecht Richard (1994). "A Decision Support System for Integration of Vendor Selection Task". *Journal of Applied Business Research (JABR)*, 10 (1), 132-143.
- Tung, S. L., and Tang, S. L. (1998). "A Comparison of the SAATY'S AHP and Modified AHP For Right and Left Eigenvector Inconsistency". *European Journal of Operational Research*, 106 (1), 123-128.

- Uçar Ukbe, İşleyen Selçuk ve Demir Yunus (2015). “Üniversite Ders Çizelgeleme Probleminin Bulanık AHP ve Çok Amaçlı Karışık Tam Sayılı Matematiksel Modelle Çözümü”. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 3 (3), 513-523.
- Ulutaş Alptekin ve Bayrakçıl Ali Oğuz (2017). “Gri AHS ve Aras-G Kullanımı ile Bir Restoran İçin Sebze Tedarikçisinin Değerlendirilmesi”. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 18 (2), 189-204.
- Ulutaş Alptekin, Özkan Ahmet Murat ve Tağraf Hasan (2018). “Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci ve Bulanık Gri İlişkisel Analizi Yöntemleri Kullanılarak Personel Seçimi Yapılması”. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 17 (65), 223-232.
- Ulutaş Alptekin, Shukla Nagesh, Kiridena Senevi and Gibson Peter (2016). “A Utility-Driven Approach to Supplier Evaluation and Selection: Empirical Validation of an Integrated Solution Framework”. *International Journal of Production Research*, 54 (5), 1554-1567.
- Ulutaş Alptekin, Stanujkic Dragisa, Karabasevic Darjan, Popovic Gabrijela, Zavadskas Edmundas Kazimieras, Smarandache Florentin and Brauers Willem (2021). “Developing of a Novel Integrated MCDM Multimoosral Approach for Supplier Selection”. *Informatica*, 32 (1), 145-161.
- Ustalı Koç Nesrin ve Tosun Nedret (2019). “Bulanık AHP ve Bulanık WASPAS Yöntemleri ile Yeni Ürün Seçimi”. *Pazarlama İç görüşü Üzerine Çalışmalar*, 3 (2), 25-34.
- Uygun Özer, Dalkılıç Fatih ve Erkan Furkan Enes (2018). “Bulanık AHP ve Bulanık MOORA Yöntemleri Kullanarak Tedarikçi Seçimi”. *Academic Perspective Procedia*, 1 (1), 1189-1199.
- Väinölä, R. V., Holappa, L. E. K., and Karvonen, P. H. J. (1995). “Modern Steelmaking Technology for Special Steels”. *Journal of Materials Processing Technology*, 53 (1-2), 453-465.
- Van Laarhoven, P. J., and Pedrycz, W. (1983). “A Fuzzy Extension of Saaty's Priority Theory”. *Fuzzy sets and Systems*, 11 (1-3), 229-241.

- Vargas Luis and Saaty Thomas (1981). *Logic of Priorities: Applications in Business, Ene Rgy, Health and Transportation*. Springer.
- Vatansever Kemal ve Uluköy Metin (2013). “Kurumsal Kaynak Planlaması Sistemlerinin Bulanık Ahp ve Bulanık Moora Yöntemleriyle Seçimi: Üretim Sektöründe bir Uygulama”. *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11 (2), 274-293.
- Vatansever, Kemal (2013). “Tedarikçi Seçim Kararlarında Bulanık TOPSIS Yönteminin Kullanımı ve Bir Uygulama”. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 13 (3), 155-168.
- Voskoglou, Michael (2015). *Use of the Triangular Fuzzy Numbers For Student Assessment*. arXiv Preprint arXiv: 1507.03257.
- Wang Chia-Nan, Huang Ying-Fang, Cheng Fang and Nguyen Van Thanh (2018). “A Multi-Criteria Decision-making (MCDM) Approach Using Hybrid SCOR Metrics, AHP, and TOPSIS for Supplier Evaluation and Selection in the Gas and Oil Industry”. *Processes*, 6 (12), 252.
- Wang Tien-Chin and Tsai Su-Yuan (2018). “Solar Panel Supplier Selection for the Photovoltaic System Design by Using Fuzzy Multi-criteria Decision Making (MCDM) Approaches”. *Energies*, 11 (8), 1989.
- Wang Ying-Ming, and Elhag Taha (2006). “On the Normalization of Interval and Fuzzy Weights”. *Fuzzy Sets and Systems*, 157 (18), 2456-2471.
- Wang Ying-Ming, and Elhag Taha (2007). “A fuzzy Group Decision Making Approach for Bridge risk Assessment”. *Computers and Industrial Engineering*, 53 (1), 137-148.
- Wang Ying-Ming, Elhag Taha and Hua Zhongsheng (2006). “A Modified Fuzzy Logarithmic Least Squares Method for Fuzzy Analytic Hierarchy Process”. *Fuzzy sets and Systems*, 157 (23), 3055-3071.
- Wang Ying-Ming, Luo Ying and Hua Zhongsheng (2008). “On the Extent Analysis Method for Fuzzy AHP and its Applications”. *European Journal of Operational Research*, 186 (2), 735-747.

- Wang, Li-Xin (1997). *A Course in Fuzzy Systems and Control*. Prentice Hall, New Jersey, 424 p,
- Wang, Zhou-Jing (2015). "Consistency Analysis and Priority Derivation of Triangular Fuzzy Preference Relations Based on Modal Value and Geometric Mean". *Information Sciences*, (314), 169-183
- Weber Charles and Current John (1993). "A Multiobjective Approach to Vendor Selection". *European Journal of Operational Research*, 68 (2), 173-184.
- Weber Charles and Ellram Lisa (1993). "Supplier Selection Using Multi-objective Programming: a Decision Support System Approach". *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.
- Weber Charles, Current John and Benton Current (1991). "Vendor Selection Criteria and Methods". *European Journal of Operational Research*, 50 (1), 2-18.
- Wei Chun-Chin, Chien Chen-Fu and Wang Mao-Jiun (2005). "An AHP-based Approach to ERP System Selection". *International Journal of Production Economics*, 96 (1), 47-62.
- Wetzstein Anton, Hartmann Evi, Benton Jr, W.C and Hohenstein Nils-Ole (2016). "A Systematic Assessment of Supplier Selection Literature—state-of-the-art and Future Scope". *International Journal of Production Economics*, 182, 304-323.
- Wiley, D. E. (1973). "The Identification Problem for Structural Equation Models With Unmeasured Variables", *Structural Equation Models in the Social Science*. 69-83.
- Wilson, Elizabeth (1994). "The Relative Importance of Supplier Selection Criteria: a Review and update". *International Journal of Purchasing and Materials Management*, 30 (2), 34-41.
- Wind Yoram and Robinson Patrick (1968). "The Determinants of Vendor Selection: the Evaluation Function Approach". *Journal of Purchasing*, 4 (3), 29-42.
- Wind Yoram and Saaty Thomas (1980). "Marketing Applications of the Analytic Hierarchy Process". *Management Science*, 26 (7), 641-658.

- Woodside Arch and Vyas Niren (1987). *Industrial Purchasing Strategies: Recommendations for Purchasing and Marketing Managers*. Lexington Books.
- Wright, Sewall (1918). "On the Nature of size Factors". *Genetics*, 3 (4), 367.
- Wright, Sewall (1921). "Correlation and Causation". *Journal of Agricultural Research*, 10(7), 3.
- Wright, Sewall (1934). "The Method of Path Coefficients". *The Annals of Mathematical Statistics*, 5 (3), 161-215.
- Wright, Sewall (1960). "Path Coefficients and Path Regressions: Alternative or Complementary Concepts?". *Biometrics*, 16 (2), 189-202.
- Wu Dash Wu, Zhang Yidong, Wu Dexiang and Olson David (2010). "Fuzzy Multi-Objective Programming for Supplier Selection and Risk Modeling: A Possibility Approach". *European Journal of Operational Research*, 200 (3), 774-787.
- Wu Desheng and Olson David (2008). "A Comparison of Stochastic Dominance and Stochastic DEA for Vendor Evaluation". *International Journal of Production Research*, 46 (8), 2313-2327.
- Xu Zhou, Qin Jindong, Liu Jun and Martínez Luis (2019). "Sustainable Supplier Selection Based on AHPSort II in Interval Type-2 Fuzzy Environment". *Information Sciences*, (483), 273-293.
- Xu, Ruoning (2000). "Fuzzy Least-Squares Priority Method in the Analytic Hierarchy Process". *Fuzzy Sets and Systems*, 112 (3), 395-404.
- Yang Jiaqin and Lee Huei (1997). *An AHP Decision Model For Facility Location Selection*. Facilities.
- Yazdani Morteza, Chatterjee Prasenjit, Zavadskas Edmundas Kazimieras and Zolfani Sarfaraz Hashemkhani (2017). "Integrated QFD-MCDM Framework for Green Supplier selection". *Journal of Cleaner Production*, (142), 3728-3740.

- Yazdani Morteza, Pamucar Dragan, Chatterjee Prasenjit and Torkayesh Ebadi Ali (2021). "A Multi-Tier Sustainable Food Supplier Selection Model Under Uncertainty". *Operations Management Research*, (15), 1-30.
- Yıldırım Bahadır ve Önay Onur (2013). "Bulut Teknolojisi Firmalarının Bulanık AHP-MOORA Yöntemi Kullanılarak Sıralanması". *İÜ İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi*, 24 (75), 59-81.
- You Xiao-Yue, You Jian-Xin, Liu Hu-Chen and Zhen Lu (2015). "Group Multi-criteria Supplier Selection Using an Extended VIKOR Method With Interval 2-tuple Linguistic Information". *Expert Systems with Applications*, 42 (4), 1906-1916.
- Yu, Chian Son (2002). "A GP-AHP Method for Solving Group Decision-Making Fuzzy AHP Problems", *Computers and Operations Research*, (29)14,1969-2001.
- Yurdugül, Halil (2006). "Paralel, Eşdeğer ve Konjenerik Ölçmelerde Güvenirlik Katsayılarının Karşılaştırılması", Ankara University, Journal of Faculty of Educational Sciences, 39(1), 15-37.
- Yürüyen Aygün Ali ve Ulutaş Alptekin (2020). "Bulanık AHP ve Bulanık EDAS Yöntemleri İle Üçüncü Parti Lojistik Firması Seçimi". *ANEMON Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (8)283-294.
- Zadeh Lotfi (2008). "Fuzzy Sets". *Inform Control*, 8 (3): 338-353, 1965.
- Zafar Aqsa, Zafar Muqaddas, Sarwar Adnan, Raza Hassan and Khan Tayyab Muhammad (2018). *A Fuzzy AHP Method For Green Supplier Selection and Evaluation*. In International Conference on Management Science and Engineering Management (pp. 1355-1366). Springer, Cham.
- Zahedi, Fatemeh (1985). "Applications and Implementation Data-Base Management System Evaluation and Selection Decisions". *Decision sciences*, 16 (1), 91-116.
- Zahedi, Fatemeh (1986). "The Analytic Hierarchy Process-a Survey of the Method and its Applications". *Interfaces*, 16 (4), 96-108.

- Zhu Ke-Jun, Jing Yu and Chang Da-Yong (1999). “A Discussion on Extent Analysis Method and Applications of Fuzzy AHP”. *European Journal of Operational Research*, 116 (2), 450-456.
- Zhü, Keyü (2014). “Fuzzy Analytic Hierarchy Process: Fallacy of the Popular Methods”. *European Journal of Operational Research*, 236 (1), 209-217.
- Zimmer Konrad, Fröhling Magnus and Schultmann Frank (2016). “Sustainable Supplier Management—a Review of Models Supporting Sustainable Supplier Selection, Monitoring and Development”. *International Journal of Production Research*, 54 (5), 1412-1442.



EKLER

Ek: 1 Anket Formu

Sayın Yönetici,

Bu anket; Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalında yürütülen; Vasıflı çelik ürünlerin tedarikinde önemli kriterleri belirlemeye yönelik bir araştırmaya aittir. Sizin işletmenize ait bir bilgi talep edilmemektedir. Ankete vereceğiniz cevaplar tamamen bilimsel amaçlarla kullanılacak olup işletmenizin ismi kesinlikle gizli tutulacaktır.

Araştırmaya yapacağınız değerli katkılardan dolayı çok teşekkür ederiz.

1 - İşletmenizin Adı (İsteğe bağlı)

2 - İşletmenizin Kuruluş Yılı

3 - Faaliyette Bulunduğunuz Sektör

4 - İşletmenizin Çalışan Sayısı

5 - İşletmenizin Sermaye Yapısı

☐ Yerli

☐ Yabancı

☐ Yabancı ortaklık (Karma)

6 - Tedarikçilerinizin Pazarları

6 - Tedarikçilerinizin Pazarları

- ☐ Sadece yurtiçi
☐ Sadece yurtdışı
☐ Her ikisi

7 - Vasıflı çelik ürünler için genellikle;

- ☐ Tek tedarikçiyle çalışıyoruz.
☐ İki tedarikçiyle çalışıyoruz.
☐ Çok sayıda tedarikçiyle çalışıyoruz.

8 - Çalışacağımız tedarikçiyi belirlerken;

- ☐ Çok sayıda tedarikçinin fiyat teklifleri değerlendirilerek en düşük fiyatı veren tercih edilmektedir
☐ Çok sayıda tedarikçinin fiyat teklifleri değerlendirilmele birlikte, fiyatın yanında, kalite, dağıtım, hizmet gibi faktörler de göz önünde bulundurulmaktadır
☐ Tek bir tedarikçiden fiyat teklifi alınmakta, fiyat dışı faktörler de değerlendirmeye tabi tutulmaktadır

9 - Tedarikçinizi belirlemede aşağıdaki faktörlerin önem derecelerini belirtiniz. Vasıflı çelik ürün tedarik ettiğiniz işletmelere göre değerlendiriniz. Ölçekte 1 hiç önemli değil, 3 orta derecede önemli, 5 son derece önemli anlamındadır.

	1 (Önemsiz)	2 (Az önemli)	3 (Orta derecede önemli)	4 (Önemli)	5 (Çok önemli)
Tedarikçinin Fiziksel Büyüklüğü	☐	☐	☐	☐	☐
Tedarikçinin Coğrafi Konumu ve Ulaşım Kolaylığı	☒	☒	☒	☒	☒
Tedarikçinin Sektördeki Bilinirlik ve Konumu	☐	☐	☐	☐	☐
Tedarikçinin Çalışanlarının Eğitimli Olması	☒	☒	☒	☒	☒
Tedarikçinin İş Ahlakına(Etik) Sahip Olması	☐	☐	☐	☐	☐
Satın Aldığınız Ürünün Dayanıklılığı	☒	☒	☒	☒	☒
Tedarikçinin ISO Belge Sahipliği	☐	☐	☐	☐	☐
Toplam Kalite Yönetimini Benimsemiş Olması	☒	☒	☒	☒	☒
Tedarikçinin Standartlara Uyumu ve Ürün Standardı	☐	☐	☐	☐	☐

Alınan Ürünün Kalite Kontrolde Ret Oranı	☐	☐	☐	☐	☐
Alınan Ürünün Tamir ve İade Oranı	☐	☐	☐	☐	☐
Tedarikçinin Müşterinin Kalite İsteklerine Cevap Verme Düzeyi	☐	☐	☐	☐	☐
Tedarikçinin Ürün Tasarım Yeterliliği	☐	☐	☐	☐	☐
Tedarikçinin Teknoloji Geliştirme ve Yenilikçiliği	☐	☐	☐	☐	☐
Araştırma Kuruluşlarıyla İşbirliği Derecesi	☐	☐	☐	☐	☐
Tedarikçinin ARGE Yeniliklerine Hızlı Uyumu	☐	☐	☐	☐	☐
İhtiyaç Halinde Tedarikçinin Gelecekteki Üretim Tesis ve Ekipmanlarının Yeterliliği	☐	☐	☐	☐	☐
Tedarikçinin Üretim Süreci Esnekliği	☐	☐	☐	☐	☐
Tedarikçinin Üretim Hacim Esnekliği	☐	☐	☐	☐	☐
Tedarikçinin Ölçüm, Kalibrasyon ve Test Olanakları	☐	☐	☐	☐	☐

Tedarikçinin Makine Kapasitesi ve Yeterliliği	☐	☐	☐	☐	☐
Tedarikçinin Paketleme ve Taşıma Olanakları	☐	☐	☐	☐	☐
Tam Zamanında Üretim Kavramına Verilen Önem	☐	☐	☐	☐	☐
Tedarikçinin İş Eğitimine Verdiği Önem	☐	☐	☐	☐	☐
Tedarikçinin Finansal Göstergelerinin Büyüklüğüyle Uyumu	☐	☐	☐	☐	☐
Tedarikçinin Finansal İstikrar ve Kredi Güvenilirliği	☐	☐	☐	☐	☐
Tedarikçinin Teslimat Süresine Uyması	☐	☐	☐	☐	☐
Tedarikçinin Teslimat Hacmi ve Çeşidine Uyması	☐	☐	☐	☐	☐
Parçaların Hasarsız ve Güvenli Teslimatı	☐	☐	☐	☐	☐
Paketleme Standartlarına Uyumluluk	☐	☐	☐	☐	☐
Birbiriyle İlişkili Ürünlerin Beraber Taşınması	☐	☐	☐	☐	☐
Tedarikçinin Satış Sonrası Hizmetleri	☐	☐	☐	☐	☐

Tedarikçinin Teknik Destek Sağlaması	☒	☒	☒	☒	☒
Satış Temsilcisinin Kaabiliyeti ve Yaklaşımı	☐	☐	☐	☐	☐
Tedarikçiyle Uzun Dönemli Çalışılıyor Oluşu	☒	☒	☒	☒	☒
Tedarikçiyle Karşılıklı Anlayış ve Güven Düzeyi	☐	☐	☐	☐	☐
Hassas Bilgi(Finansal,Üretim,Arge vb.) Paylaşımı	☒	☒	☒	☒	☒
Tedarikçinin Sızden Başka Kimlerle Çalıştığı	☐	☐	☐	☐	☐
Çevreyle İlgili Sertifikaya Sahip Olması(ISO 14001)	☒	☒	☒	☒	☒
Tedarikçi Tesiste İş Güvenliği Ekipmanları Kullanımı	☐	☐	☐	☐	☐
Tedarikçinin İş Kazası Kayıtlarını Tutması	☒	☒	☒	☒	☒
Tedarikçinin Rekabetçi Fiyat Sunması	☐	☐	☐	☐	☐
Ürünün Lojistik(Ulaştırma) Maliyetleri	☒	☒	☒	☒	☒
Tedarikçinin Sunduğu Ödeme Koşulları	☐	☐	☐	☐	☐
Döviz Kuru Maliyeti	☒	☒	☒	☒	☒

Ek: 2 Ana Kriter Karşılaştırma Formu

Sayın Yönetici,										
Bu anket; Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalında yürütülen; Vasıflı çelik ürünlerin tedarikinde önemli kriterleri belirlemeye ve bu kriterler yardımıyla en uygun tedarikçiye belirlemeye yönelik bir araştırmaya aittir. İşletmenize ait bir bilgi talep edilmemektedir. Ankete vereceğiniz cevaplar tamamen bilimsel amaçlarla kullanılacak olup işletmenizin ismi kesinlikle gizli tutulacaktır. Araştırmaya yapacağınız değerli katkılardan dolayı çok teşekkür ederiz.										
Tedarikçi seçiminizde sol tarafa yazılan kriterlerin sağ taraftakilere göre ne derece önemli(önemsiz) olduğunu işaretleyiniz.										
	Tamamen Önemsiz	Oldukça Önemsiz	Önemsiz	Daha az Önemde	Eşit Önemde	Biraz Önemli	Önemli	Çok Önemli	Aşırı Önemli	
Yönetim ve Organizasyon Yapısı										Kalite
Yönetim ve Organizasyon Yapısı										Teknik Yeterlilik
Yönetim ve Organizasyon Yapısı										Üretim Yetenekleri ve Kapasiteleri
Yönetim ve Organizasyon Yapısı										Finansal Yapısı
Yönetim ve Organizasyon Yapısı										Teslimat
Yönetim ve Organizasyon Yapısı										Hizmet
Yönetim ve Organizasyon Yapısı										Çevre ve Güvenlik
Yönetim ve Organizasyon Yapısı										Maliyet
Kalite										Teknik Yeterlilik
Kalite										Üretim Yetenekleri ve Kapasiteleri
Kalite										Finansal Yapısı
Kalite										Teslimat
Kalite										Hizmet
Kalite										Çevre ve Güvenlik
Kalite										Maliyet
Teknik Yeterlilik										Üretim Yetenekleri ve Kapasiteleri
Teknik Yeterlilik										Finansal Yapısı
Teknik Yeterlilik										Teslimat
Teknik Yeterlilik										Hizmet
Teknik Yeterlilik										Çevre ve Güvenlik
Teknik Yeterlilik										Maliyet
Üretim Yetenekleri ve Kapasiteleri										Finansal Yapısı
Üretim Yetenekleri ve Kapasiteleri										Teslimat
Üretim Yetenekleri ve Kapasiteleri										Hizmet
Üretim Yetenekleri ve Kapasiteleri										Çevre ve Güvenlik
Üretim Yetenekleri ve Kapasiteleri										Maliyet
Finansal Yapısı										Teslimat
Finansal Yapısı										Hizmet
Finansal Yapısı										Çevre ve Güvenlik
Finansal Yapısı										Maliyet
Teslimat										Hizmet
Teslimat										Çevre ve Güvenlik
Teslimat										Maliyet
Hizmet										Çevre ve Güvenlik
Hizmet										Maliyet
Çevre-Güvenlik										Maliyet

Ek: 3 Alt Kriterlere göre Tedarikçi Karşılaştırma Formu

Sayın Yönetici, Bu anket; Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalında yürütülen; Vasıflı çelik ürünlerin tedarikinde önemli kriterleri belirlemeye ve bu kriterler yardımıyla en uygun tedarikçiyi belirlemeye yönelik bir araştırmaya aittir. İşletmenize ait bir bilgi talep edilmemektedir. Ankete vereceğiniz cevaplar tamamen bilimsel amaçlarla kullanılacak olup işletmenizin ismi kesinlikle gizli tutulacaktır. Araştırmaya yapacağınız değerli katkılardan dolayı çok teşekkür ederiz. Tedarikçi seçiminizde sol taraftaki Tedarikçinin sağ taraftaki Tedarikçilere göre ne derece iyi(kötü) olduğunu işaretleyiniz.										
Çalışanlarının Eğitimi Olması Bakımından										
	Aşırı Kötü	Oldukça Kötü	Kötü	Daha Kötü	Eşit	Biraz İyi	İyi	Çok İyi	Aşırı İyi	
Tedarikçi1										Tedarikçi2
Tedarikçi1										Tedarikçi3
Tedarikçi1										Tedarikçi4
Tedarikçi2										Tedarikçi3
Tedarikçi2										Tedarikçi4
Tedarikçi3										Tedarikçi4
İş Etiği Bakımından										
Tedarikçi1										Tedarikçi2
Tedarikçi1										Tedarikçi3
Tedarikçi1										Tedarikçi4
Tedarikçi2										Tedarikçi3
Tedarikçi2										Tedarikçi4
Tedarikçi3										Tedarikçi4
Sektör İtibarı Bakımından										
Tedarikçi1										Tedarikçi2
Tedarikçi1										Tedarikçi3
Tedarikçi1										Tedarikçi4
Tedarikçi2										Tedarikçi3
Tedarikçi2										Tedarikçi4
Tedarikçi3										Tedarikçi4

Ek: 4 Alt Kriterlere göre Tedarikçilerin İkili Karşılaştırma Matrisleri

İş Etiği Bakımından Tedarikçilerin Karşılaştırılması												
	T1			T2			T3			T4		
T1	1	1	1	1	1	1	3	5	7	1	1	1
T2	1	1	1	1	1	1	3	5	7	1	1	1
T3	1/7	1/5	1/3	1/7	1/5	1/3	1	1	1	1/5	1/3	1
T4	1	1	1	1	1	1	1	3	5	1	1	1

Sektör itibarı Bakımından Tedarikçilerin Karşılaştırılması												
	T1			T2			T3			T4		
T1	1	1	1	1/7	1/5	1/3	1	1	1	3	5	7
T2	3	5	7	1	1	1	3	5	7	7	9	9
T3	1	1	1	1/7	1/5	1/3	1	1	1	3	5	7
T4	1/7	1/5	1/3	1/9	1/9	1/7	1/7	1/5	1/3	1	1	1

Ürün Performansı Bakımından Tedarikçilerin Karşılaştırılması												
	T1			T2			T3			T4		
T1	1	1	1	1/7	1/5	1/3	1	3	5	1	1	1
T2	3	5	7	1	1	1	5	7	9	5	7	9
T3	1/5	1/3	1	1/9	1/7	1/5	1	1	1	1	1	1
T4	1	1	1	1/9	1/7	1/5	1	1	1	1	1	1

Ret Oranı Bakımından Tedarikçilerin Karşılaştırılması												
	T1			T2			T3			T4		
T1	1	1	1	1/7	1/5	1/3	1/7	1/5	1/3	3	5	7
T2	3	5	7	1	1	1	1	1	1	7	9	9
T3	3	5	7	1	1	1	1	1	1	7	9	9
T4	1/7	1/5	1/3	1/9	1/9	1/7	1/9	1/9	1/7	1	1	1

ISO belge sahipliği Bakımından Tedarikçilerin Karşılaştırılması												
	T1			T2			T3			T4		
T1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	5	7
T2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	5
T3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	5	7
T4	1/7	1/5	1/3	1/5	1/3	1	1/7	1/5	1/3	1	1	1

Ürün Dayanıklılığı Bakımından Tedarikçilerin Karşılaştırılması												
	T1			T2			T3			T4		
T1	1	1	1	1/5	1/3	1	1	3	5	1	1	1
T2	1	3	5	1	1	1	3	5	7	1	3	5
T3	1/5	1/3	1	1/7	1/5	1/3	1	1	1	1/5		
T4	1	1	1	1/5	1/3	1	1	3	5	1	1	1

TKY Bakımından Tedarikçilerin Karşılaştırılması												
	T1			T2			T3			T4		
T1	1	1	1	1	1	1	3	5	7	7	9	9
T2	1	1	1	1	1	1	3	5	7	7	9	9
T3	1/7	1/5	1/3	1/7	1/5	1/3	1	1	1	3	5	7
T4	1/9	1/9	1/7	1/9	1/9	1/7	1/7	1/5	1/3	1	1	1

Lojistik Maliyetler Açısından Tedarikçilerin Karşılaştırılması												
	T1			T2			T3			T4		
T1	1	1	1	1	1	1	3	5	7	1/7	1/5	1/3
T2	1	1	1	1	1	1	3	5	7	1/7	1/5	1/3
T3	1/7	1/5	1/3	1/7	1/5	1/3	1	1	1	1/9	1/9	1/7
T4	3	5	7	3	5	7	7	9	9	1	1	1

Ürün Fiyatları Açısından Tedarikçilerin Karşılaştırılması												
	T1			T2			T3			T4		
T1	1	1	1	1	1	1	1/7	1/5	1/3	1/9	1/7	1/5
T2	1	1	1	1	1	1	1/7	1/5	1/3	1/9	1/7	1/5
T3	3	5	7	3	5	7	1	1	1	1/5	1/3	1
T4	5	7	9	5	7	9	1	3	5	1	1	1

Kur Açısından Tedarikçilerin Karşılaştırılması												
	T1			T2			T3			T4		
T1	1	1	1	1	1	1	1	3	5	1	1	1
T2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
T3	1/5	1/3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
T4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Ödeme Planı Açısından Tedarikçilerin Karşılaştırılması												
	T1			T2			T3			T4		
T1	1	1	1	1	1	1	3	5	7	1	1	1
T2	1	1	1	1	1	1	3	5	7	1	1	1
T3	1/7	1/5	1/3	1/7	1/5	1/3	1	1	1	1/5	1/3	1
T4	1	1	1	1	1	1	1	3	5	1	1	1

Teslimat Süresi Açısından Tedarikçilerin Karşılaştırılması												
	T1			T2			T3			T4		
T1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/7	1/5	1/3
T2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/7	1/5	1/3
T3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/9	1/7	1/5
T4	3	5	7	3	5	7	5	7	9	1	1	1

Teslimat Büyüklüğü Açısından Tedarikçilerin Karşılaştırılması												
	T1			T2			T3			T4		
T1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	5	7
T2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	5
T3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	5	7
T4	1/7	1/5	1/3	1/5	1/3	1	1/7	1/5	1/3	1	1	1

Teslimat Güvenliği Açısından Tedarikçilerin Karşılaştırılması												
	T1			T2			T3			T4		
T1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	5	7
T2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	5
T3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	5	7
T4	1/7	1/5	1/3	1/5	1/3	1	1/7	1/5	1/3	1	1	1

Teknik Destek Açısından Tedarikçilerin Karşılaştırılması												
	T1			T2			T3			T4		
T1	1	1	1	1	1	1	3	5	7	7	9	9
T2	1	1	1	1	1	1	3	5	7	7	9	9
T3	1/7	1/5	1/3	1/7	1/5	1/3	1	1	1	3	5	7
T4	1/9	1/9	1/7	1/9	1/9	1/7	1/7	1/5	1/3	1	1	1

Karşılıklı Güven bakımından Tedarikçilerin Karşılaştırılması												
	T1			T2			T3			T4		
T1	1	1	1	1	1	1	1	3	5	1	1	1
T2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
T3	1/5	1/3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
T4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Satış Temsilcisi performansı açısından Tedarikçilerin Karşılaştırılması												
	T1			T2			T3			T4		
T1	1	1	1	1	1	1	3	5	7	1	1	1
T2	1	1	1	1	1	1	3	5	7	1	1	1
T3	1/7	1/5	1/3	1/7	1/5	1/3	1	1	1	1/5	1/3	1
T4	1	1	1	1	1	1	1	3	5	1	1	1

Satış sonrası destek açısından Tedarikçilerin Karşılaştırılması												
	T1			T2			T3			T4		
T1	1	1	1	1/7	1/5	1/3	1/7	1/5	1/3	3	5	7
T2	3	5	7	1	1	1	1	1	1	7	9	9
T3	3	5	7	1	1	1	1	1	1	7	9	9
T4	1/7	1/5	1/3	1/9	1/9	1/7	1/9	1/9	1/7	1	1	1

Firmalar arası ilişki Bakımından Tedarikçilerin Karşılaştırılması												
	T1			T2			T3			T4		
T1	1	1	1	1	1	1	3	5	7	1	1	1
T2	1	1	1	1	1	1	3	5	7	1	1	1
T3	1/7	1/5	1/3	1/7	1/5	1/3	1	1	1	1/5	1/3	1
T4	1	1	1	1	1	1	1	3	5	1	1	1

Makine Kapasitesi Bakımından Tedarikçilerin Karşılaştırılması												
	T1			T2			T3			T4		
T1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	5	7
T2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	5
T3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	5	7
T4	1/7	1/5	1/3	1/5	1/3	1	1/7	1/5	1/3	1	1	1

Kalite Kontrol olanakları Bakımından Tedarikçilerin Karşılaştırılması												
	T1			T2			T3			T4		
T1	1	1	1	1	1	1	1	3	5	1	1	1
T2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
T3	1/5	1/3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
T4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Üretim hacmi esnekliği Bakımından Tedarikçilerin Karşılaştırılması												
	T1			T2			T3			T4		
T1	1	1	1	1	1	1	3	5	7	7	9	9
T2	1	1	1	1	1	1	3	5	7	7	9	9
T3	1/7	1/5	1/3	1/7	1/5	1/3	1	1	1	3	5	7
T4	1/9	1/9	1/7	1/9	1/9	1/7	1/7	1/5	1/3	1	1	1

Araştırma Olanakları Bakımından Tedarikçilerin Karşılaştırılması												
	T1			T2			T3			T4		
T1	1	1	1	1/7	1/5	1/3	1/7	1/5	1/3	3	5	7
T2	3	5	7	1	1	1	1	1	1	7	9	9
T3	3	5	7	1	1	1	1	1	1	7	9	9
T4	1/7	1/5	1/3	1/9	1/9	1/7	1/9	1/9	1/7	1	1	1

ARGE Olanakları Bakımından Tedarikçilerin Karşılaştırılması												
	T1			T2			T3			T4		
T1	1	1	1	1/7	1/5	1/3	1	1	1	3	5	7
T2	3	5	7	1	1	1	3	5	7	7	9	9
T3	1	1	1	1/7	1/5	1/3	1	1	1	3	5	7
T4	1/7	1/5	1/3	1/9	1/9	1/7	1/7	1/5	1/3	1	1	1
Tasarım Yetenekleri Bakımından Tedarikçilerin Karşılaştırılması												

	T1			T2			T3			T4		
T1	1	1	1	1/7	1/5	1/3	1	1	1	3	5	7
T2	3	5	7	1	1	1	3	5	7	7	9	9
T3	1	1	1	1/7	1/5	1/3	1	1	1	3	5	7
T4	1/7	1/5	1/3	1/9	1/9	1/7	1/7	1/5	1/3	1	1	1

Yenilikçilik Bakımından Tedarikçilerin Karşılaştırılması												
	T1			T2			T3			T4		
T1	1	1	1	1	1	1	3	5	7	7	9	9
T2	1	1	1	1	1	1	3	5	7	7	9	9
T3	1/7	1/5	1/3	1/7	1/5	1/3	1	1	1	3	5	7
T4	1/9	1/9	1/7	1/9	1/9	1/7	1/7	1/5	1/3	1	1	1

İş güvenliği ekipmanı kullanımı Bakımından Tedarikçilerin Karşılaştırılması												
	T1			T2			T3			T4		
T1	1	1	1	1/7	1/5	1/3	1	1	1	3	5	7
T2	3	5	7	1	1	1	3	5	7	7	9	9
T3	1	1	1	1/7	1/5	1/3	1	1	1	3	5	7
T4	1/7	1/5	1/3	1/9	1/9	1/7	1/7	1/5	1/3	1	1	1

Kaza kayıtları bakımından Tedarikçilerin Karşılaştırılması												
	T1			T2			T3			T4		
T1	1	1	1	1	1	1	3	5	7	7	7	9
T2	1	1	1	1	1	1	3	5	7	7	9	9
T3	1/7	1/5	1/3	1/7	1/5	1/3	1	1	1	3	5	7
T4	1/9	1/7	1/7	1/9	1/9	1/7	1/7	1/5	1/3	1	1	1

Çevre sertifikalarına sahiplik açısından Tedarikçilerin Karşılaştırılması												
	T1			T2			T3			T4		
T1	1	1	1	1/7	1/5	1/3	1/7	1/5	1/3	3	5	7
T2	3	5	7	1	1	1	1	1	1	7	9	9
T3	3	5	7	1	1	1	1	1	1	7	9	9
T4	1/7	1/5	1/3	1/9	1/9	1/7	1/9	1/9	1/7	1	1	1

Finansal Büyüklük Bakımından Tedarikçilerin Karşılaştırılması												
T1				T2			T3			T4		
T1	1	1	1	1/7	1/5	1/3	1	1	1	3	5	7
T2	3	5	7	1	1	1	3	5	7	7	9	9
T3	1	1	1	1/7	1/5	1/3	1	1	1	3	5	7
T4	1/7	1/5	1/3	1/9	1/9	1/7	1/7	1/5	1/3	1	1	1

	Finansal İstikrar Bakımından Tedarikçilerin Karşılaştırılması											
	T1			T2			T3			T4		
T1	1	1	1	1/7	1/5	1/3	1/7	1/5	1/3	3	5	7
T2	3	5	7	1	1	1	1	1	1	7	9	9
T3	3	5	7	1	1	1	1	1	1	7	9	9
T4	1/7	1/5	1/3	1/9	1/9	1/7	1/9	1/9	1/7	1	1	1



ÖZ GEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Ali Oğuz BAYRAKÇIL

Uyruğu: T.C.

Doğum Tarihi ve Yeri:

e-posta:

EĞİTİM

Derece Yılı	Kurum	Mezuniyet
Lisans	Ortadoğu Teknik Üniversitesi-Endüstri Mühendisliği	2003
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi İşletme ABD Sayısal Yöntemler	2007

İŞ TECRÜBESİ

Tarih: 2004- ...

Kurum: Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Görev: Araştırma Görevlisi

YABANCI DİL BİLGİSİ

İngilizce YDS (91,25)