PROJE YÖNETİMİNDE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİNİ KULLANARAK KRİTİK YOLUN BELİRLENMESİ

Tuğçe KARACA

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAZİRAN 2011
ANKARA

Tuğçe KARACA tarafından hazırlanan "Proje Yönetiminde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerini Kullanarak Kritik Yolun Bulunması" adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Cevriye GENCER
Tez Danışmanı, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Cevriye GENCER
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Doç. Dr. Metin DAĞDEVİREN
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Emel KIZILKAYA
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, E.Ü.

Tarih: 16/06/2011

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Tuğçe KARACA

PROJE YÖNETİMİNDE
ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİNİ KULLANARAK
KRİTİK YOLUN BULUNMASI
(Yüksek Lisans Tezi)

Tuğçe KARACA

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2011

ÖZET

Proje devam ederken, kritik yolda oluşacak en ufak bir gecikme büyük problemler yaşatabilir. Bu nedenle kritik yolun belirlenmesinde sadece süre yada maliyet değil, dikkate alınması gereken pek çok kriter olabilir. Çok sayıda kriterin dikkate alındığı durumlarda da çok kriterli karar verme (ÇKKV) teknikleri kullanılır. Bu tezde, ÇKKV tekniklerinden AHP, PROMETHEE ve MOORA yöntemleri kullanarak kritik yolun belirlenmesi üzerine çalışılmıştır. Ayrıca farklı problem tipleri için uygun olan karmaşık ve belirsiz durumların olduğu problemlerde kullanılan Gri İlişkisel Analiz ve Fuzzy Gri İlişkisel Analiz metotları da uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar hem tezde kullanılan yöntemler arasında hem de literatürdeki çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Bilim Kodu : **906.1.148**
Anahtar Kelimeler : **Proje Yönetimi, Kritik yol, Çok Kriterli Karar Verme, AHP, PROMETHEE, MOORA Algoritması, Gri İlişkisel Analiz, Fuzzy Gri İlişkisel Analiz.**
Sayfa Adedi : **117**
Tez Yöneticisi : **Prof. Dr. Cevriye GENCER**

CRITICAL PATH DEFINITION
USING MULTIPLE CRITERIA DECISION MAKING TECHNIQUES
IN PROJECT MANAGEMENT
(M.Sc. Thesis)

Tuğçe KARACA

GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
June 2011

ABSTRACT

The project, while still major problems in the critical path will cherish the slightest delay. Therefore, the determination of the critical path is not only time or cost, may be taken into consideration many criteria. Criteria taken into account in cases where a large number of multi-criteria decision making (MCDM) techniques are used. In this thesis, using AHP, PROMETHEE ve MOORA MCDM techniques on the determination of the critical path is tried. In addition, complex and ambiguous situations are appropriate for different types of problems used in the Grey Relational Analysis and Fuzzy Grey Relational Analysis methods are applied to the problems. The results obtained are compared both methods used in thesis and paper in literature.

Science Code : 906.1.148
Keywords : Project Management, Ciritical Path, Multiple criteria decision making, AHP, PROMETHEE, MOORA Algorithm, Grey Relational Analysis, Fuzzy Grey Relational Analysis.
Page Number: 117
Advisor : Prof. Dr. Cevriye GENCER

TEŞEKKÜR

Öncelikle; yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam süresince bana yol gösteren, destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Cevriye GENCER'e teşekkür ederim. Tüm yaşamım boyunca verdiği destekleri tez çalışmam süresince de benden esirgemedikleri, sabır ve anlayışlarıyla her zaman yanımda oldukları için KARACA ailesinin tüm fertlerine teşekkür ederim. Son olarak yaptığım çalışmalarda her zaman yanımda olan ve desteğini hiç esirgemeyen arkadaşım Fethullah AYDOĞDU'ya teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET……...…iv

ABSTRACT…….……v

İÇİNDEKİLER…….…...vi

ÇİZELGELER LİSTESİ……..……viii

RESİMLER LİSTESİ…….……..x

ŞEKİLLER LİSTESİ…….xiii

SİMGELER VE KISALTMALAR……...xiv

1. GİRİŞ……....1

2. PROJE YÖNETİMİ VE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME….……3

2.1. Proje Yönetimi…….3

2.2. Çok Kriterli Karar Verme……9

2.2.1.Analitik hiyerarşi proses……...11

2.2.2. PROMETHEE yöntemi……...……17

2.2.3.MOORA algoritması……23

2.3. Gri İlişkisel Analiz Yöntemi……..27

2.4. Fuzzy Gri İlişkisel Analiz Yöntemi…….…..32

3.UYGULAMA……..33

3.1.Örnek Problem Tanıtımı…….33

3.2. AHP Uygulaması……...39

3.2.1. Hiyerarşi modeli……..40

3.2.2. AHP için yapılan hazırlık işlemler……..42

Sayfa

3.2.3. Uygulama……51

3.2.4. Duyarlılık analizleri……59

3.3.PROMETHEE Yöntemi Uygulaması……61

3.3.1. Uygulama……61

3.3.2. Uygulama sonuçları……66

3.3.3. Duyarlılık analizleri……71

3.4.MOORA Algoritması Uygulaması……82

3.4.1. MOORA-Oran metodu……85

3.4.2. MOORA- Referans noktası yaklaşımı……85

3.4.3. MOORA- Tam çarpım formu……86

3.4.4. MULTI–MOORA metodu……88

3.5.Gri İlişkisel Analiz Yöntemi Uygulaması……88

3.5.1. Uygulama……89

3.6. Fuzzy Gri İlişkisel Analiz Yöntemi Uygulaması……93

3.6.1. Uygulama……93

3.7. Sonuçların Karşılaştırılması……99

4.SONUÇ VE DEĞERLENDİRME……102

KAYNAKLAR……105

EKLER……114

EK-1 Önem Derecesi Hesaplama Tablosu……115

EK-2 Fuzzy Gri İlişkisel Analiz Başlangıç Verileri……116

ÖZGEÇMİŞ……117

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Saaty Önem Skalası……..…..13

Çizelge 2.2.Veri Matrisi……..……18

Çizelge 2.3.Tercih Fonksiyonları……..…..…19

Çizelge 3.1. Kriter ağırlıklarının α-cut ile durulaştırılması…….....……43

Çizelge 3.2. PL kriterinin durulaştırılması……..…..…...44

Çizelge 3.3. PCr kriterinin durulaştırılması……..…..….45

Çizelge 3.4. PC kriterinin durulaştırılması…….…..…..46

Çizelge 3.5. AP kriterinin durulaştırılması……..…..…..47

Çizelge 3.6. RMR kriterinin durulaştırılması……..……...48

Çizelge 3.7. SRC kriterinin durulaştırılması……..……....49

Çizelge 3.8. ER kriterinin durulaştırılması……..…...…..50

Çizelge 3.9. Başlangıç Verileri…….……..….62

Çizelge 3.10. Başlangıç Matrisi…….……..……83

Çizelge 3.11.Kareler Toplamı …….……..…..84

Çizelge 3.12.Normalleştirilmiş Matris……..…..….84

Çizelge 3.13.Oran Matrisi…….…..….85

Çizelge 3.14.Referans Noktaları…….……86

Çizelge 3.15.Referans Noktası Matrisi……...86

Çizelge 3.16.Tam Çarpım Formu……...87

Çizelge 3.17.Multi-Moora Sonuç Tablosu…….88

Çizelge 3.18. Başlangıç Verileri…….89

Çizelge 3.19. Önem Skalasına Göre Belirlenen Değerler……...90

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.20. Normalize Edilmiş Matris…….91

Çizelge 3.21. Uzaklıklar Matrisi…….91

Çizelge 3.22. Gri İlişkisel Katsayı Matrisi……..92

Çizelge 3.23. Gri İlişkisel Derece Tablosu…….92

Çizelge 3.24. Fuzzy Referans Seri……..94

Çizelge 3.25. Fuzzy Normalize Edilmiş Matris…….…….94

Çizelge 3.26. Fuzzy Uzaklıklar Matrisi…….…….95

Çizelge 3.27. Fuzzy Gri İlişkisel Katsayı Matrisi……...95

Çizelge 3.28. Gri İlişkisel Derece Tablosu……...……..96

Çizelge 3.29. Gri İlişkisel Derece Tablosu……...……..97

Çizelge 3.30. Gri İlişkisel Derece Tablosu……...……..97

Çizelge 3.31. Birleştirilmiş Gri İlişkisel Derece Tablosu……...……....98

Çizelge 3.32. Uygulanan Tüm Yöntemlerin Sonuçları…….....100

Çizelge 3.33.En iyi yolların karşılaştırılması…….…….…..100

RESİMLER LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 3.1.Kriterlerin programda tanımlanması…….……...51

Resim 3.2. PL kriteri temelinde İKM…….……....51

Resim 3.3. PL temelinde alternatif ağırlıkları……..……...52

Resim 3.4. PCr kriteri temelinde İKM……..……..52

Resim 3.5. PCr temelinde alternatif ağırlıkları……..…….52

Resim 3.6. PC kriteri temelinde İKM……..……...53

Resim 3.7. PC temelinde alternatif ağırlıkları……..……..53

Resim 3.8. AP kriteri temelinde İKM……..……...54

Resim 3.9. AP temelinde alternatif ağırlıkları……..……..54

Resim 3.10.RMR kriteri temelinde İKM……..……..54

Resim 3.11. RMR temelinde alternatif ağırlıkları……..……....55

Resim 3.12.SRC kriteri temelinde İKM…….……55

Resim 3.13. SRC temelinde alternatif ağırlıkları……..……..55

Resim 3.14.ER kriteri temelinde İKM……..……..56

Resim 3.15. ER temelinde alternatif ağırlıkları……..……56

Resim 3.16.Kriterlere ait İKM……....…57

Resim 3.17.Kriter Ağırlıkları……..……57

Resim 3.18.Alternatiflere ait ağırlıklar……..…….58

Resim 3.19.Alternatiflere ait ağırlıkların sıralanmış şekli……..……58

Resim 3.20. Alternatif-Göreceli Önem Grafiği…….…….59

Resim 3.21. Dinamik duyarlılık analizi……..……60

Resim **Sayfa**

Resim 3.22. Başabaş analizi…….……60

Resim 3.23. Gradient duyarlılık analizi……..……61

Resim 3.24.Alternatifler…….…...62

Resim 3.25.Kriterler……..…….63

Resim 3.26.Parametreler……..……..63

Resim 3.27.Kriter Ağırlıkları…….…….……64

Resim 3.28.Kriter Ağırlıklarının Grafiksel Gösterimi…….…….64

Resim 3.29. Başlangıç Verileri……...65

Resim 3.30. Promethee-1 Grafiği……...65

Resim 3.31.Skor Tablosu……...66

Resim 3.32.Tercih Dereceleri Matrisi……66

Resim 3.33. Kriter 1'e ait istatistiksel göstergeler…….67

Resim 3.34. Kriter 2'ye ait istatistiksel göstergeler……67

Resim 3.35. Kriter 3'e ait istatistiksel göstergeler……..68

Resim 3.36. Kriter 4'e ait istatistiksel göstergeler……..68

Resim 3.37. Kriter 5'e ait istatistiksel göstergeler……..69

Resim 3.38. Kriter 6'ya ait istatistiksel göstergeler……69

Resim 3.39. Kriter 7'ye ait istatistiksel göstergeler……70

Resim 3.40. Sonuç Tablosu……70

Resim 3.41. Kriter ağırlıkları aralığı……..71

Resim 3.42.Kriter ağırlıkları sınırları……71

Resim 3.43.Termo-Grafik……..72

Resim 3.44. Küresel Grafik……73

Resim **Sayfa**

Resim 3.45. Kriter 1 puan grafiği……...74

Resim 3.46. Kriter 2 puan grafiği……...74

Resim 3.47. Kriter 3 puan grafiği……...75

Resim 3.48. Kriter 4 puan grafiği……...75

Resim 3.49. Kriter 5 puan grafiği……...76

Resim 3.50. Kriter 6 puan grafiği……...76

Resim 3.51. Kriter 7 puan grafiği……...77

Resim 3.52. 1.yolun karşılaştırılması…….....77

Resim 3.53. 2.yolun karşılaştırılması…….78

Resim 3.54. 3.yolun karşılaştırılması……..78

Resim 3.55. 4.yolun karşılaştırılması……..79

Resim 3.56. 5.yolun karşılaştırılması……..79

Resim 3.57. 6.yolun karşılaştırılması……..80

Resim 3.58. 7.yolun karşılaştırılması……..80

Resim 3.59. 8.yolun karşılaştırılması……..81

Resim 3.60. 9.yolun karşılaştırılması……..81

Resim 3.61. 10.yolun karşılaştırılması……82

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Hiyerarşi Modeli……..12

Şekil 2.2. Ortak tercih fonksiyonlarının şematik gösterimi…….18

Şekil 2.3. *a* alternatifi için hesaplanan pozitif ve negatif üstünlük…….20

Şekil 3.1. Örnek uygulamaya ait proje şebekesi……..34

Şekil 3.2. Örnek uygulamaya ait hiyerarşi modeli……...41

SİMGELER ve KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simge	Açıklaması
Kn	Kriter n
An	Alternatif n
$\mathbf{w_k}$	Kriter Ağırlığı
$\mathbf{f_k}$	Kriter
$\mathbf{f_k(i)}$	i alternatif adayının k. kriter cinsinden değeri
p(x)	Tercih fonksiyonu
l, m, q, p, s, r, σ	Tercih fonksiyon parametreleri
π	Tercih indeksi
$\mathbf{\Phi^+}$	Pozitif üstünlük
$\mathbf{\Phi^-}$	Negatif üstünlük

Kısaltma	Açıklaması
AS	Alt sınır
ÜS	Üst sınır
PL	Path Lenght
PCr	Path Criticality
PC	Expected Path Cost
AP	Available Protection
RMR	Risk of Major Design Revisions
SRC	Shared Resources Criticality
ER	External Risks
AHP	Analitik Hiyerarşi Proses
İKM	İkili Karşılaştırma Matrisi

Kısaltma	Açıklaması
PROMETHEE	The Preference Ranking Organization Method For Enrichment Evaluation
MOORA	Multi-Objective Optimization By Ratio Analysis
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme

1. GİRİŞ

1900'lü yıllarda Frederick Taylor'un yönetimsel tekniklerin bilimsel olarak analiz edilebileceğini keşfetmesi ile birlikte yeni bir akım başlamıştır. Daha önce verimliliği artırmanın tek yolu işçileri daha fazla ve daha sıkı çalıştırmak olarak görülürken artık bu düşünce değişmiştir. Frederick Taylor iş süreçlerinin en basit parçalarını analiz ederek verimliliği artırmış, süreç analizi çalışmalarının temellerini atmıştır. 1917 yılında Henry Gantt proje takvimini oluşturmada büyük kolaylıklar sağlayan Gantt Diyagramlarını geliştirmiştir. Daha sonraki dönemlerde teknolojinin ilerlemesiyle birlikte mühendislikte pek çok önemli gelişmeler kaydedilmiş aynı yıllarda farklı bilim adamları tarafından CPM (Critical Path Method) ve PERT (Probability Evaluation Review Technicque) yöntemleri geliştirilmiştir.

Proje yönetimi alanındaki çalışmalar asıl olarak İkinci Dünya Savaşı'nı takiben başlamış ve konunun ayrı bir alan olarak değerlendirilmesi ancak bu yıllarda gerçekleşmiştir. Özellikle silah sistemlerinde yaşanan büyük gelişmeler sonunda bu sistemlerle ilgili projelerin en iyi şekilde yönetilmesi gerekliliği ortaya çıkmış ve CPM ve PERT gibi ağ tabanlı teknikler 1950'lerin sonunda ortaya çıkmıştır. Bu gelişmeleri takiben alanda büyük bir ilgi yoğunluğu oluşmuş ve çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda 1970'li yıllardan sonra bir yavaşlama görülmüş; son dönemlerde ise daha çok eski tekniklerin geliştirilmesiyle teknik açıdan ileri ve daha karmaşık metotlar ortaya çıkmıştır [Davis 1983].

Karar verme problemi en genel anlamda; bir seçenek kümesinden en az bir amaç veya ölçüte göre en uygun seçeneğin seçimi şeklinde tanımlanabilir. Karar alma, işletmeler için en önemli aktivitelerden biridir. Bu süreç kapsamında çok büyük miktarlarda zaman ve maliyet gerekmektedir. Buna göre bir karar probleminin elemanları karar vericiler, seçenekler, kriterler, sonuçlar, çevre ve karar vericinin öncelikleri olarak sıralanabilir. En basit şekliyle bir karar problemi bir amaç veya ölçüte göre seçenekler arasından bir seçim yapma olarak düşünülebilir [Dağdeviren ve Eren 2001].

Zammori ve ark. (2009) bir inşaat projesine, kritik yolun belirlenmesinde çok kriterli karar verme tekniklerinden Fuzyy TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) metodunu uygulamışlardır. Bu çalışmanın özelliği kriterlerin projeye özel olarak belirlenmesi ve TOPSIS'in uygulanmasıdır.

Bu tezde; Zammori ve ark.'nın çalışmalarındaki proje ve kriterler kullanılarak proje tamamlanma zamanı AHP, MOORA ve PROMETHEE çok kriterli karar verme yöntemleri ile bulunmuştur. Ayrıca farklı problem tipleri için uygun olan karmaşık ve belirsiz durumların olduğu problemlerde kullanılan Gri İlişkisel Analiz ve Fuzzy Gri İlişkisel Analiz yöntemleri de uygulanmıştır.

Çalışmanın 2.bölümünde; proje yönetimi, çok kriterli karar verme metodu, uygulamada kullanılan yöntemler ayrıntılı bir şekilde anlatılmış ve literatür araştırması verilmiştir.

Çalışmanın 3. bölümünde; öncelikle örnek uygulama ile ilgili şebeke diyagramı, kriterler ve alternatifler tanıtılmıştır. Sonra çözümde kullanılan AHP, PROMETHEE, MOORA, Gri ilişkisel Analiz ve Fuzzy Gri İlişkisel Analiz yöntemlerinin uygulamaları detaylı olarak anlatılmıştır.

4.bölüm, sonuç ve değerlendirme kısmında ise yapılan tüm çalışma ile ilgili değerlendirmeler yer almaktadır.

2. PROJE YÖNETİMİ VE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME

2.1. Proje Yönetimi

Proje yönetimi bir projenin gerçekleştirilmesi için gerekli eylemlerin önceden belirtilen koşullara uygun biçimde yerine getirilmesinin sağlanması; herhangi bir sorun ortaya çıkmadan bunun anlaşılması ve giderici önlemlerin alınması için yapılır. Proje yönetiminde genelde ne/niçin/nasıl/ne kadar/ne zaman sorularına yanıt bulunmasına çalışılır; bu süreç sırasında değişik uzmanlık alanlarına giren çalışmaların düzenli ve sistemli bir biçimde yapılması, kaynakların uygun olarak kullanılması gerekir. Proje yönetimine yalnız bir disiplin-bazlı mühendislik, lojistik ve yapım çalışması, bir zamanlama ve maliyet kontrolü yazılımı uygulaması olarak bakılmamalıdır. Proje yönetiminde, proje yöneticisi ve ekibince, tüm yönetim programının bir parçası olarak, modern şebeke bazlı bilgisayar destekli proje yönetim sistemlerinden yararlanılır [Keskinel 2000].

Bugünkü haliyle proje yönetiminin geçmişi çok eski olmamakla birlikte bazı çevreler Mısır Piramitleri ve Çin Seddi'nin yapımının önemli birer proje olduğu görüşündedir. Ancak, proje yönetiminin Amerika Birleşik Devletleri askeri kuvvetleri tarafından atom bombasının geliştirildiği 1941 yılında tasarlanan Manhattan Projesi ile başladığı kanısı daha yaygındır.

Modern proje yönetimi teknikleri, 19. Yüzyılın sonlarında karmaşıklaşan iş yaşamı ile birlikte şekillenen ve gelişen yönetim ilkelerinin evrimleşmesi ile elde edilmiştir. Özellikle o yıllarda gerçekleştirilen büyük ölçekli devlet projeleri proje yönetimi tekniklerinin gelişmesinde itici güç olmuştur.

Proje yönetimi ile ilgili ilk bilimsel çalışma 1900'lü yılların başında Frederick Taylor (1856-1915) tarafından gerçekleştirilmiştir. Taylor, yönetim tekniklerinin bilimsel olarak analiz edilebileceğini ve geliştirilebileceğini göstererek yönetim anlayışında yeni bir sayfa açmıştır. Taylor'un çalışmalarından önce verimliliği artırmanın tek

yolu işçilerin daha uzun saatler boyunca daha sıkı çalıştırılmasıydı. Taylor, iş süreçlerinin bileşenlerini tek tek analiz ederek, iş planlamasını daha verimli hale getirmiştir.

Bilimsel yönetim akımının öncülerinden biri olan Henry L. Gantt (1917), bugün yaygın biçimde uygulanan proje izleme ve değerlendirme yöntemlerinden olan PERT ve CPM'in esasını oluşturan "Gantt Şemaları"(grafikleri, çizelgeleri)'ni geliştirmiştir. Bu grafikler sayesinde proje takvimini oluşturmada büyük kolaylıklar sağlanmış, bilgisayarın da devreye girmesiyle birlikte, proje mühendislerinin işi iyice kolaylaşmış ve iş takibi kolayca yapılır olmuştur.

Proje kapsamındaki faaliyetlerin tamamlanma zamanlarını dikkate alarak projenin takibini kolaylaştıran tekniklerden olan CPM 1957 yılında Amerika'da Morgan Walker ve James Kelly tarafından bulunmuştur. İlk olarak Amerika'da Du Pont de Nemours&Co firması tarafından rafinelerin yenilenmesi ve bakım onarım çalışmalarında kullanılmıştır. PERT 1958 yılında Booz, Allen ve Hamilton tarafından; Polaris denizaltı güdümlü füze araştırma ve geliştirme programı çerçevesinde Amerika Birleşik Devletleri Deniz Kuvvetleri tarafından geliştirilmiştir.

CPM ve PERT karmaşık projelerin en geç tamamlanma zamanlarının hesaplanabilmesi, projenin daha erken zamanda tamamlanması istendiğinde yeni düzenlemelerin yapılmasına imkan vermesi proje yöneticilerinin, projenin akışı üzerindeki kontrollerinin artmasına yardımcı olmaktadır.

Anılan yöntemler ülkemizde de birçok büyük projede kullanılmıştır. II. Fatih Sultan Mehmet Köprüsü ve Güney Doğu Anadolu Projesi CPM, Keban Barajı ve İstanbul Boğaz Köprüsü PERT'in uygulandığı projelere örnek gösterilebilir.

CPM'de işlemlerin alacağı tahmin edilen süre deterministiktir ve dolayısıyla işlemlerin gerçekleştirilmelerinde ortaya çıkabilecek değişik olasılıklar hesaba

katılmadan her işlem için tek bir süre belirlenir. Projenin gerçekleşme süresini ise bitime ulaşmak için gereken en uzun yol belirler.

PERT'de ise işlem sürelerinin belirli bir istatistik dağılım gösterdiği kabul edilir. Tipik olarak her işlem için iyimser, kötümser ve en olası süreler tahmin edilerek durumun rastsallığı dikkate alınır.

Projelerin başarılı olması için iyi bir proje yönetimine ihtiyaç bulunmaktadır. İyi bir proje yönetimi ile anlaşılması gereken ise, üretim esnasında elde bulunan kaynakların etkili bir şekilde kullanılması sonucunda, uygun zamanlarda, ekonomik olarak ve istenilen kalite gereksinimlerine uygun olarak projenin gerçekleştirilmesi işlemidir. Projelerin başlangıç aşamasında yapılan fizibilite çalışmaları sonucunda proje için belirli bir kaynak ayrılmaktadır. Proje ilerledikçe ayrılan kaynak miktarında azalmalar meydana gelir. Bu azalmalar projenin başlangıç ve bitiş zamanlarında yavaş bir şekilde gerçekleşip, projenin orta kısımlarında hızlı meydana gelmektedir. İyi bir proje yönetimine sahip işletmelerde; bu hedeflenen sonucu gerçekleştirmenin yanında, aynı zamanda verimli bir çalışma sağlanır ve proje bütçesi sınırları içerisinde kalınır [Yamak,1998].

Projelerin yapılabilmesi için doğal olarak kaynaklar kullanılacaktır. Bu noktada da kaynak dağıtımı proje yönetiminin çok önemli diğer bir noktasıdır. Projenin gerçekleştirilebilmesi için gereksinim duyulan kaynaklar beş ana grupta toplanabilir: insan gücü, malzeme, makine, donanım ve para. Bu kaynakların dağıtımındaki iki ana sorundan ilki eldeki sınırlı miktardaki kaynağın proje işlemlerine en iyi şekilde dağıtılması ile ilgilidir. İkincisi ise kaynak kullanımının zaman içinde düzenli olmasını sağlamak (kaynak dengelemesi) olarak tanımlanabilir [Lester, 1991].

Doğrusal programlamanın proje yönetiminde geniş bir uygulama alanı vardır. Ancak, klasik doğrusal programlamada kesin kısıtların ve hedeflerin kullanılması doğrusal programlamanın uygulamalarında bazı eksikliklere yol açmaktadır. Olasılık

teoreminin etkisiyle oluşturulan stokastik doğrusal programlama modellerinin uygulamaları ise kesin olmayan verilerin modellenmesinde yeterli olamamıştır. Bunun sonucu olarak da stokastik doğrusal programlama metotlarının kullanımı sınırlı kalmıştır [Lilien,1987].

Proje Yönetimi'ndeki bulanık uygulamaların yoğunlaştığı diğer konu tamsayı bulanık eniyileme konusudur. Bu alanda üzerinde çalışılan konular arasında maksimum ve en ucuz akış problemleri, en kısa yol problemleri, taşıma ve çizelgeleme problemleri, çanta problemleri, 0-1 programlama problemleriyle birlikte CPM ve PERT problemleri sayılabilir. Bu yöntemlerin pek çoğu proje yönetimi alanında kullanılabilmektedir. CPM ve PERT metotları ise proje yönetiminde özel öneme sahiptirler [Evans,1989].

Projelerde ağ planlama yöntemleri üzerinde önemli çalışmalar yapılmıştır. CPM yönteminin genellenmesiyle ve bulanık zamanların kullanılmasıyla Fuzzy CPM gibi yeni modeller elde edilmiştir. Ayrıca bulanık değişkenlerin PERT yönteminde kullanılmasıyla ortaya çıkan bulanık PERT metodu da proje yönetimi alanında kullanılmaktadır. Bulanık yöntemler ve proje yöntemlerinin kullanıldığı yukarıda belirtilen her iki alan da bulanık matematiksel programlama alanına dahildirler.

Literatür Araştırması

Proje yönetiminde bulanık mantık ile ilgili yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir:

Chunas ve Kamburowski (1981) projelerde ağ planlaması, Lai ve Hwang (1992) proje yatırımları, Zeleny (1986) optimal sistem tasarımları, Baptistella ve Ollero (1980) optimal çizelgeleme, Chakrabroty (1994) kalite kontrol, Rubin ve Narasihman (1984) personel seçimi problemi şeklindedir.

Shipley ve arkadaşları (1997) tarafından yapılan çalışmada proje faaliyetlerinin modellenmesi üzerine yeni ve etkili bir yöntem önerilmektedir. Bu yöntemde klasik modellerde faaliyet sürelerinin modellenmesinde kullanılan istatistiksel beta dağılımının yerine faaliyetlerin süresi bulanık sayılarla ifade edilmektedir. Faaliyet süresinin ifadesinde beta dağılımında olduğu gibi faaliyetin iyimser, ortalama ve kötümser süreleri esas alınmaktadır. Ancak, bu sürelerin tespitinde istatistiksel beta dağılımı yerine uzman görüşü kullanılmaktadır. Yazarlar, beta dağılımının uzun yıllardan bu yana kullanılmakta olmasına rağmen uzun süre teorik bir ispata dayandırılamadan pratikteki sonuçlara bağlı olarak kullanıldığı için eleştirildiğini belirtmektedirler.

Korvin ve Kleyle (2000) tarafından bulanık proje çizelgelenmesinde kısıtlı kaynakların da bulanık olarak modele dahil edilmesiyle proje aktiviteleri ve kaynak yetenekleri arasında bir eşleşme oluşturan bir model önerilmektedir. Çalışmada önerilen modelde kaynak olarak iş gücü alınmış ve iş gücünün yeteneklerine göre ihtiyaç duyulan proje faaliyetlerine tahsis edilmesi konusu üzerinde durulmuştur. Ancak, yazarlar bu modelde iş gücü ile birlikte diğer kaynakların da aynı yaklaşımla kullanılabileceğini belirtmektedirler.

Pontrandolfo (2000) PERT tekniği ile stokastik şebekede proje süresi hesaplama ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Tahmin edilen faaliyet zamanlarının belirsizliği ve karmaşıklığından dolayı proje çizelgelemenin daha kritik olduğuna odaklanan bu çalışma, problem için PERT-yol teknikleri verir. Bu tekniklerden hareketle, yollar arasında geçiş tarihiyle yolların düzenini tanımlayan proje consepti ele alınır. Stokastik proje çizelgeleme analizinden sonra, proje sürelerini geliştiren denklemler türetilir. Bu denklemlere dayanarak, faaliyetleri tanımlamak için algoritma stokastik bağımsızlıkla tanımlanır.

Kuchta (2001) proje risk değerlendirmesinde bulanık sayı kullanılması ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Önerilen yaklaşımda faaliyetlerin ve bütün projenin kritikliği hesaplanırken hem karar verici tutumu hem de proje şebeke yapısı dikkate alınmıştır.

Faaliyet kritik ya da kritik değil diye değil, çeşitli seviyelerde (0'la 1 arasında) değerlendirilmiştir.

Hardie (2001) mevcut planlama ve kontrol sistemlerinin yetersizliğinden hareketle, doğrusal bir düzen içinde faaliyetlerin birbirinden bağımsız olduğu varsayımı altında PERT ile bir planlama sistemiyle bir problem önerir. Şebeke Markov süreci olarak modellenir. PERT'ten daha iyi gerçek projeyi ifade eden Markov analizini gösteren basit model kullanılmıştır.

Liberatore (2002) proje çizelgelemesinde zaman belirsizliği üzerinde durularak bulanık CPM metodu klasik yöntemlerle karşılaştırılmış ve aktivitelerin belirsizliğinin proje süresi üzerindeki etkileri ele alınmıştır.

Liu (2003) tarafından yapılan çalışmada klasik PERT tekniğinin bulanık PERT tekniğine dönüşmesi ve oluşturulan bulanık modelin çözümünde Yager indisi kullanılarak kesinleştirme yapılması üzerinde durulmuştur.

Milosevic ve Patanakul (2005) örgütsel proje yönetimi düzeyinde standart proje yönetimindeki önemli faktörleri belirlemek için yaptıkları çalışmada nitel bir yöntem önermişlerdir.

Söderholm (2008) proje uygulaması sırasında genelde beklenmedik olaylar ve çevresel etkiler planlanmadığı düşüncesiyle dört farklı vaka çalışması üzerinden gidilerek bir araştırma çalışması yapmıştır.

Qureshi ve ark. (2009) Pakistan'daki kuruluşlar için belirlenen 6 kriteri dikkate alarak proje yönetimi performans değerlendirme modeli sunmuşlardır.

Kwak ve ark. (2009) proje yönetiminin gelişimi ile ilgili yaptıkları araştırmayı anlatan bir çalışma yapmışlardır.

Bredillet ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada çalışılan çeşitli ülkeler arasında proje yönetimi açısından eşitsizliğin nedenleri olarak kültürel faktörlerin rolü incelenmektedir.

McHugh ve Hogan (2011) İrlanda'da uluslararası düzeyde tanınan bir proje yönetim metodolojisi için incelenme yapmışlardır.

2.2. Çok Kriterli Karar Verme

Çok kriterli karar verme (ÇKKV); karar verme çalışmalarının bir dalı olarak nitelendirilebilmektedir. Çok kriterin bulunduğu karar problemlerini içeren yöneylem araştırmasının bir dalı da olabilmektedir [Pohekar ve Ramachandran 2004].

Gerçek hayatta alınan her karar aslında birçok faktörün (kriterin) dengelenmesini gerektirebilir. Örneğin; bir ev satın alınırken değerlendirme kriterlerleri; fiyat, taşımacılık araçlarına yakınlık ve güvenlik gibi birçok kriter olabilir [Belton ve Stewart 2002] . Birbiri ile çelişen kriterlerin mevcut olduğu bir karar verme problemine çok kriterli karar verme problemi denilmektedir.

Karar verme problemlerinde bir karara ulaşabilmek için potansiyel alternatiflerin ve kriterlerin mevcut olması gerekir. Karar problemleri kararın amacına göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir [Doumpos ve Zopounidis 2002];

a) Seçme problemi (Choice): En iyi alternatifin seçilmesi yada sınırlandırılmış en iyi alternatifler kümesinin bulunması;
b) Sıralı sınıflandırma problemi (Sorting): Önceden belirlenmiş homojen sıralı sınıflara alternatiflerin yerleştirilmesi;
c) Sıralama problemi (Ranking): Alternatifleri en iyiden en kötüye sıralandığı sıralama yapısının oluşturulması;
d) Sınıflandırma problemi (Classification): Alternatiflerin önceden belirlenmemiş kümelere ayrılması.

İlk üç yaklaşım spesifik değerlendirme çıktıları vermektedir. Bu çıktılardan yola çıkarak en iyi alternatifi bulma ve alternatifleri iyiden kötüye sıralama yöntemleri göreceli değerlendirmelere dayanmaktadır ve sonuç olarak değerlendirme sonuçları alternatifler kümesine bağlıdır. Diğer taraftan; sınıflandırma probleminde karar vericinin bütün bir değerlendirme yapması gerekmektedir. Gruplar genellikle alternatifler düşünülmeden bağımsız tanımlandığı için; sınıflandırma yöntemlerinde, grubu ayıran belirli profillere göre alternatiflerin değerlendirilmesi gerekmektedir.

Çok kriterli karar verme problemlerinin çözümü için literatürde geliştirilmiş pek çok algoritma bulunmaktadır. Bu yöntemler genellikle ağırlıklandırılmış toplam yaklaşımları, fayda fonksiyonları ve üstünlük metodları olarak kategorize edilmektedir.

Ağırlıklandırılmış toplam yaklaşımı en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden bir tanesidir. Literatürde bu ağırlıkları belirlemek için çeşitli yöntemler önerilmiştir. Örneğin, Analitik Hiyerarşi Proses [Saaty 1990], Analitik Network Proses [Saaty 1996], Veri Zarflama Analizi [Charnes ve ark 1978] vb. yöntemler kullanılabilir.

Üstünlük metodlarında, bir alternatifin tercih edilebilirliği, onun her kriterde diğerleri ile karşılaştırılması sonucu bulunur. Bu metodun örnekleri ELECTRE III [Roy ve Bouyssou 1993], PROMETHEE I, II [Brans ve Vincke 1985] olarak gösterilebilir.

ÇKKV yöntemlerinde amaç, kriterler ve alternatifler belirlenmelidir.

Amaç, bir kişinin veya karar vericinin ulaşmak istediği düzeydir.

Kriter, belirli bir önem ekseni veya bakış açısına göre seçeneklerin karşılaştırılmasını sağlayan araçtır.

Alternatif, karar süreci sırasında değerlendirilen eylemler, nesneler, olaylar veya kararlar kümesidir.

2.2.1. Analitik hiyerarşi proses

Analitik Hiyerarşi Proses (AHP) Saaty (1990) tarafından geliştirilmiştir. AHP karmaşık karar problemlerinin çözümünde kullanılan birçok kriterli karar verme aracıdır. AHP'nin en önemli özelliği karar vericinin hem objektif hem de subjektif düşüncelerini karar sürecine dâhil edebilmesidir. Bir diğer ifade ile AHP; bilginin, deneyimin, bireyin düşüncelerinin ve önsezilerinin mantıksal bir şekilde birleştirildiği bir yöntemdir [Triantaphyllou 1995].

Analitik yaklaşımda karar problemini üç aşamada ele almak mümkündür. Bunlar modelleme aşaması, karar aşaması ve kararların uygulanmasıdır [Saaty 1980].

Modelleme aşaması: Yöneticiler, karar değişkenleri, alternatifler ve ilgilenilen çıktılar arasında bir ilişki arar. Bu ilişkiler için olabildiğince sayısal tanımlar oluşturulmaya çalışılır. Modelleme aşaması ve bir sonraki adım olan karar aşaması sonucunda değişik alternatifleri değerlendirmek için kullanılabilecek bir model oluşturulur. Karar değişkenlerine örnek olarak fiyat, üretim miktarı ve sabit maliyetler gösterilebilir. Sonuçlar ise kar ve satışlar olarak gösterilebilir.

Karar aşaması: Bu aşamada, probleme ilişkin elde edilen veriler detaylı olarak analiz edilir.

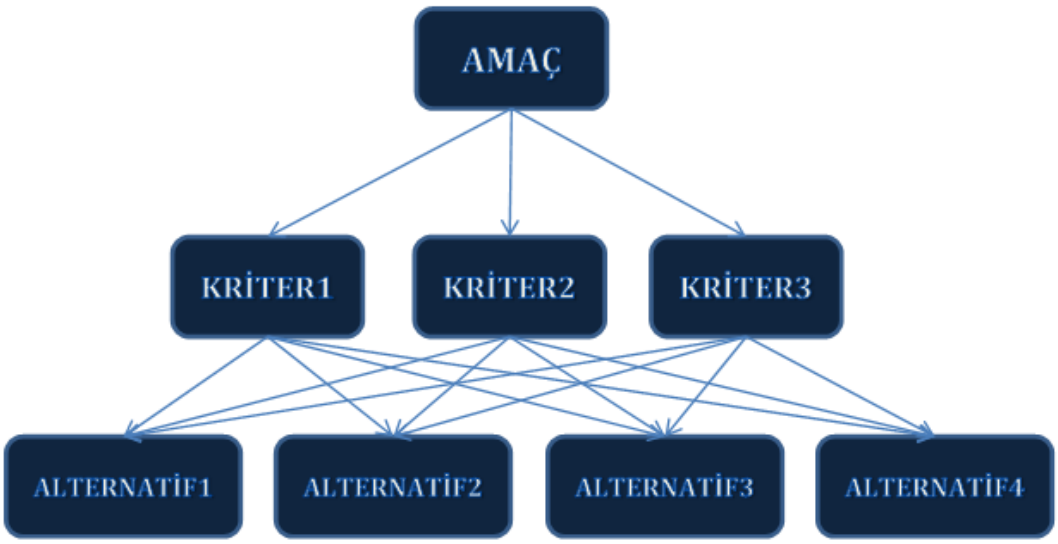
Kararların uygulanması: İkinci aşama sonucunda elde edilen kararların uygulanarak sonuçlarının gözlenmesinden oluşur. Belirli analiz sonucunda elde edilen kararlar ile gerçekteki uygulaması incelenir. İlgili uygulamada bir aksaklık varsa tekrar başa dönülerek probleme ilişkin değerlendirmeler tekrarlanır.

Analitik: AHP'de problem hiyerarşik olarak belirlendikten sonra hiyerarşiyi oluşturan elemanların nispi öncelikleri hesaplanır. Nispi öncelikler karar verme sürecinde matrislerle ifade edilen rakamsal ifadelere dönüştürülür. Bu aşamadan

sonra problemin çözümü için matematik kullanılır. Bu şekilde kararı tanımlamaya çalışan metotlar analitiktir [Barbeau 1987].

Hiyerarşi: Hiyerarşi kelimesinin sözlük anlamı kademe, makam sırası, basamak, silsile ve derece olarak geçmektedir. Hiyerarşi, insan beyninin karmaşık durumları analiz ettiğini gösteren bir modeldir. Uygulamada hiyerarşiye dahil edilecek ölçüt ve öğeleri oluşturmak için belirli bir yöntem olmamasına karşın, konu ile ilgili tüm kaynakların gözden geçirilmesi veya konu ile ilgili kişiler ile beyin fırtınası yapılması önerilebilir [Aladağ ve Ulusoy 1995].

Karar vericinin amacı doğrultunda kriterler ve alt kriterler belirlenerek problem tanımlanır. Uzman kişilerin görüşleri alınabilir. Karar problemine ait hiyerarşi modeli Şekil 2.1.'de verildiği gibidir.



Şekil 2.1. Hiyerarşi Modeli

Hiyerarşik yapıdaki alternatifler kriterler temelinde birbirleriyle Saaty önem skalasına göre kıyaslanır ve ağırlıklar hesaplanmış olur. Saaty'nin önem skalası Çizelge 2.1.'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Saaty Önem Skalası

Önem Değerleri	Tanım
1	Her iki faktör eşit derecede önemli
3	1.faktör 2.faktörden daha önemli
5	1.faktör 2.faktörden çok önemli
7	1.faktör 2.faktöre göre çok fazla önemli
9	1.faktör 2.faktöre göre mutlak üstün
2, 4, 6, 8	Ara değerler

Daha sonra bu değerlerle oluşturulan matrislerin tutarlılık indeksi hesaplanır. Bu tutarlılık indeksinin 0,1'den düşük olması istenir. Eğer yüksek bir değer bulunursa matris tutarlı değildir, yani karar verici tutarlı kararlar vermemiş demektir ve işlemler tekrarlanmalıdır.

Proses: Önemli bazı kararlar tek bir aşamada sonuçlandırılamaz. Kararlar belli aşamalardan geçerek verilebilir. Çok kriterli karar problemleri detaylı bir araştırma, öğrenme, tartışma ve kişinin önceliklerini gözden geçirme sürecini kapsar. Bu süreçlerin değerlendirilmesi belli bir zaman alabilir. AHP, bu sürece yardım etmek ve süreci kısaltmak için kullanılmaktadır [Uyar 2001].

Literatür Araştırması

ÇKKV çalışmaları birçok alanda başarı ile uygulanmaktadır. Uygulaması kolay olduğu için tercih edilmektedir. Literatürde konu ile ilgili yapılmış olan pek çok çalışma olmakla beraber çalışmada 1997-2011 yıllarında farklı alanlarda yapılmış olan çalışmalar incelenmiştir. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir:

Diakoulaki ve ark. (1997) tarafından yapılmış bir çalışmada ülkeler sosyo ekonomik kriterlerine, yapısal karakteristiklerine, enerji karışımlarına göre değerlendirilmiş ve enerji yoğunluğu değerlerine göre sınıflandırılmıştır.

Escobar ve Jımenaz (2000), yaptıkları çalışmada AHP'de karşılıklı dağıtımı incelemişler ve verilen öncelikler temelinde en iyi dağıtım planının çıkarılabileceğini iddia etmişlerdir.

Bevilacqua ve Braglia (2000), yaptıkları çalışmada bakım stratejilerinin seçimi için AHP'yi uygulamışlardır.

Chan ve Lau (2001), yaptıkları çalışmada malzeme ve ekipman seçim sisteminin dizaynı için AHP ile uzman sistemlerin entegrasyonunu sağlamışlardır.

Badri (2001), yaptığı çalışmada kalite kontrol sistemleri için amaç programlamayı ve AHP'yi birlikte incelemiş ve bu iki yöntemin birleşimi olan bir model geliştirmiştir.

Tam ve Tummala (2001), telekom endüstrisinin tedarikçi seçimi problemine AHP'yi uygulamışlar ve yapılan uygulamanın farklı kriterler temelinde farklı sektörler için uygulanabilir bir yaklaşım olduğunu belirtmişlerdir.

Doumpos ve Zopounidis (2002) tarafından yapılmış bir çalışmada Yunanistan'daki endüstriyel gelişim bankasının finanse ettiği firmaların iflas etme riski değerlendirilmiştir.

Pohekar ve Ramachandran'ın (2004) gözden geçirme makalesinde de belirtildiği gibi enerji planlamadaki çok kriterli karar verme uygulamaları; yenilenebilir enerji planlama, enerji kaynak planlaması, yapı enerji yönetimi, enerji taşıma yönetimi, enerji projeleri için planlamalar konularında yer almaktadır.

Yedla ve Shrestha (2003) çalışmalarında AHP yöntemini kullanarak üç alternatif taşıma seçeneğini, belirledikleri altı farklı kriter açısından değerlendirmişlerdir.

Vannieuwenhuyse ve ark. (2003) ise belirledikleri kriterler çerçevesinde en uygun ulaştırma modunun seçimine yönelik çalışmışlar ve online bir karar destek yazılımı geliştirmişlerdir.

Topcu ve Ulengin (2004) çalışmalarında Türkiye'deki mevcut enerji üretim kaynaklarını fiziksel, çevresel, ekonomik, politik ve diğer kontrol edilemeyen faktörler açısından değerlendirilmiştir.

Sağlam ve ark. (2006) kümeleme tabanlı matematiksel bir model geliştirilmiştir. Çalışmada bir dijital platform şirketinin müşterileri 18 demografik kriter üzerinden değerlendirilerek geliştirilmiş model ile kümelenmiştir.

Soner ve Önüt (2006) birden fazla nitel ve nicel kriter göz önüne alarak en uygun tedarikçinin seçilmesini amaçlar. Kriteri değerlendirmek için ELECTRE ve AHP teknikleri kullanılmıştır.

Sözen ve Nalbant (2007) çalışmalarında Avrupa birliği ülkeleri ve Türkiye'yi bazı enerji kriterleri açısından değerlendirilmiş ve bu ülkeler arasında Türkiye'nin yerini araştırmışlardır.

Patlitzianas ve ark. (2007) çalışmalarında 14 ülkeyi yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimi ile ilgili olarak değerlendirmişlerdir.

Dağdeviren'in (2007) çalışmasında bir iş pozisyonu için alternatif adaylar farklı kriterler bazında değerlendirilmiş ve en iyi aday belirlenmiştir.

Ediger ve Çamdalı (2007) tarafından yapılan bir çalışmada Türkiye taşıma sektörü 1988–2004 yılları arasında enerji etkinlikleri açısından değerlendirilmiştir.

Bulut ve Soylu (2007) bir mühendislik fakültesinde tam zamanlı çalışan öğretim üyelerini incelemiş ve iş yükü seviyelerine etki eden faktörleri belirleyerek bir analitik ağ modeli oluşturmuştur.

Aydoğan, Gencer ve Aytürk (2009) hafif makinalı tüfek seçiminde AHP uygulaması yapmışlardır.

Amiri (2010) alternatif projeleri değerlendirmek ve belirlenen altı kriteri kullanarak karar vericinin İran Milli Petrol Şirketi için en uygun olanı seçmesine yardımcı olmak için AHP ve bulanık TOPSIS teknikleriyle yeni bir yöntem önermiştir.

Heo ve ark. (2010) bulanık AHP yöntemi kullanarak ekonomik fizibilite önemi konusunda teknolojik, piyasa, çevre, politika ve ekonomik olmak üzere 5 kriter ve 17 faktörü dikkate alan her bir faktörün önemini değerlendirilen bir karar verme tabanı önenerek dört farklı sonuç elde etmişlerdir.

Chamodrakas ve ark. (2010) elektronik pazarlarda etkili tedarikçi seçim süreçlerini sağlayan karar destek sistemleri için bulanık-AHP yöntemini kullanarak yeni bir yaklaşım önermişlerdir.

Vencheh ve Mohamadghasemi (2011) çok kriterli ABC stok sınıflandırma için bulanık AHP ile entegre bir veri zarflama analizi çalışması yapmışlardır.

Jung (2011) üretim planlama problemini çözmek için bulanık AHP-Amaç Programlama entegre edilmiş bir yaklaşım önermiştir.

2.2.2. PROMETHEE yöntemi

PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Encrichment Evaluations) yöntemi 1982 yılında Brans tarafından ortaya konmuş, 1985 yılında Brans ve Vincke tarafından geliştirilmiş çok ölçütlü bir öncelik belirleme yöntemidir. PROMETHEE yöntemi, alternatifleri farklı tercih fonksiyonları temelinde değerlendirerek ve alternatiflere ilişkin hem kısmi önceliklerin, hem de tam önceliklerin elde edilmesini sağlayarak daha ayrıntılı analizlerin yapılmasını sağlamaktadır.

PROMETHEE birbirleriyle çelişen kriterleri dikkate alarak, belirli sayıdaki alternatiften oluşan alternatif kümesi içindeki elemanlardan en iyisini seçmeye yönelik bir yöntemdir. Buna göre her bir kriter için bir tercih fonksiyonu belirlenmektedir. Temel olarak 6 çeşit tercih fonksiyonu tanımlanmıştır. Bunlar aşağıda verilmiştir:

1. Olağan,
2. U-tipi,
3. V-tipi,
4. Doğrusal,
5. Seviyeli,
6. Gaussian.

PROMETHEE I kısmi sıralama yaparken, PROMETHEE II tam bir sıralama yapar. PROMETHEE I ve PROMETHEE II yöntemlerinden sonra PROMETHEE III, VI, V, VI ve TRI versiyonları da geliştirilmiştir.

PROMETHEE yöntemi 7 adımdan oluşmaktadır [Dağdeviren 2007]:

Adım 1: w=(w1,w2,…,wk) ağırlıkları ile k kriter c=(f1,f2,…,fk) tarafından değerlendirilen alternatiflere A=(a,b,c,…) ilişkin veri matrisi, Çizelge 2.2.'de verilen şekilde oluşturulur.

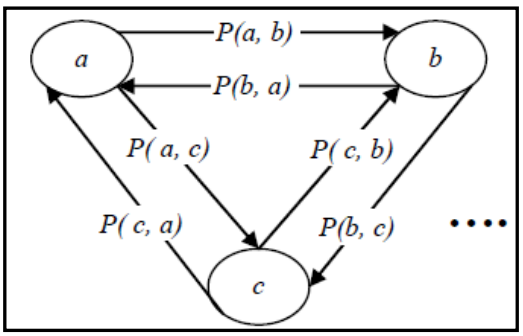
Çizelge 2.2. Veri Matrisi

Kriterler	*a*	*b*	*c*	...	*w*
f1	*f1(a)*	*f1(b)*	*f1(c)*	...	*w1*
f2	*f2(a)*	*f2(b)*	*f2(c)*	...	*w2*
…	…	…	…	...	…
fk	*fk(a)*	*fk(b)*	*fk(c)*	...	*wk*

Adım 2: Kriterler için tercih fonksiyonları tanımlanır. Yöntemin uygulanmasında kullanılacak 6 farklı tercih fonksiyonu Çizelge 2.3.'te gösterilmiştir.

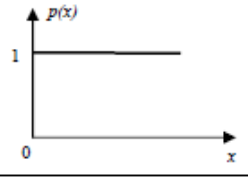
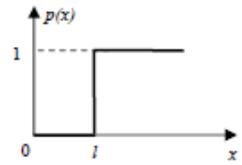
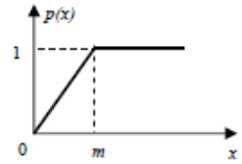
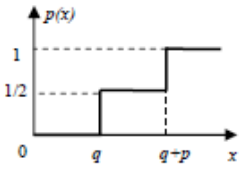
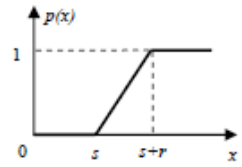
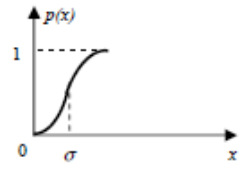
Adım 3: Tercih fonksiyonları temel alınarak alternatif çiftleri için ortak tercih fonksiyonları belirlenir. Alternatifler için belirlenen ortak tercih fonksiyonlarının şematik gösterimi Şekil 2.2.'de verilmiş olup *a* ve *b* alternatifleri için ortak tercih fonksiyonu aşağıdaki eşitlik ile belirlenir.

$$P(a,b) = \begin{cases} 0, & f(a) \le f(b) \\ p[f(a) - f(b)], & f(a) > f(b) \end{cases}$$



Şekil 2.2. Ortak tercih fonksiyonlarının şematik gösterimi

Çizelge 2.3. Tercih Fonksiyonları

Birinci Tip (olağan)	-	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \le 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases}$	
İkinci Tip (U-tipi)	l	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \le l \\ 1, & x > l \end{cases}$	
Üçüncü Tip (V-tipi)	m	$p(x) = \begin{cases} x/m, & x \le m \\ 1, & x \ge m \end{cases}$	
Dördüncü Tip (Seviyeli)	q, p	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \le q \\ 1/2, & q < x \le q+p \\ 1, & x > q+p \end{cases}$	
Beşinci Tip (Lineer)	s, r	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \le s \\ (x-s)/r, & s \le x \le s+r \\ 1, & x \ge s+r \end{cases}$	
Altıncı Tip (Gaussian)	σ	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \le 0 \\ 1 - e^{-x^2/2\sigma^2}, & x \ge 0 \end{cases}$	

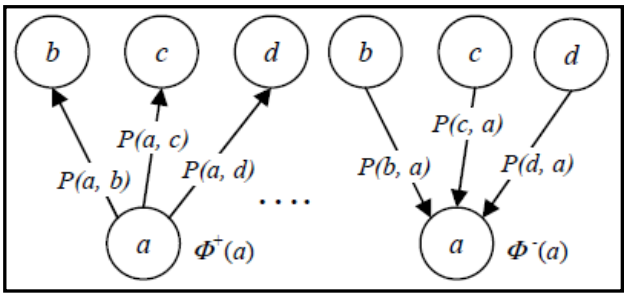
Adım 4: Ortak tercih fonksiyonlarından hareketle her alternatif çifti için tercih indeksleri belirlenir. wi (i=1,2,…k) ağırlıklarına sahip olan k kriter tarafından değerlendirilen a ve b alternatiflerinin tercih indeksi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$\pi(a,b) = \frac{\sum_{i=1}^{k} wi * Pi(a,b)}{\sum_{i=1}^{k} wi}$$

Adım 5: Alternatifler için pozitif (Φ^+) ve negatif (Φ^-) üstünlükler belirlenir. *a* alternatifi için pozitif ve negatif üstünlük şematik olarak Şekil 2.3.'te gösterilmiş olup; pozitif üstünlük ve negatif üstünlük aşağıdaki eşitliklerle hesaplanır.

$\Phi^+(a) = \Sigma\, \pi\,(a, x) \quad x = (b,c,d,\ldots)$

$\Phi^-(a) = \Sigma\, \pi\,(x, a) \quad x = (b,c,d,\ldots)$



Şekil 2.3. *a* alternatifi için hesaplanan pozitif ve negatif üstünlük

Adım 6: PROMETHEE I ile kısmi öncelikler belirlenir. Kısmi öncelikler alternatiflerin birbirlerine göre tercih edilme durumlarının, birbirinden farksız olan alternatiflerin ve birbirleriyle karşılaştırılamayacak olan alternatiflerin belirlenmesini sağlar. *a* ve *b* gibi iki alternatif için kısmi önceliklerin belirlenmesinde aşağıda verilen durumlar söz konusudur.

• Aşağıdaki koşullardan herhangi biri sağlanıyorsa, *a* alternatifi *b* alternatifine tercih edilir.

i. $\Phi^+(a) > \Phi^+(b)$ ve $\Phi^-(a) < \Phi^-(b)$

ii. $\Phi^+(a) > \Phi^+(b)$ ve $\Phi^-(a) = \Phi^-(b)$

iii. $\Phi^+(a) = \Phi^+(b)$ ve $\Phi^-(a) < \Phi^-(b)$

• Aşağıda verilen koşul sağlanıyor ise *a* alternatifi ile *b* alternatifi farksızdır.

i. $\Phi^+(a) = \Phi^+(b)$ ve $\Phi^-(a) = \Phi^-(b)$

• Aşağıdaki koşullardan herhangi biri sağlanıyor ise, *a* alternatifi *b* alternatifi ile karşılaştırılamaz.

i. $\Phi^{+}(a) > \Phi^{+}(b)$ ve $\Phi^{-}(a) > \Phi^{-}(b)$
ii. $\Phi^{+}(a) < \Phi^{+}(b)$ ve $\Phi^{-}(a) < \Phi^{-}(b)$

Adım 7: PROMETHEE II ile alternatifler için tam öncelikler hesaplanır. Hesaplanan tam öncelik değerleri ile bütün alternatifler aynı düzlemde değerlendirerek tam sıralama belirlenir.

$$\Phi(a) = \Phi^{+}(a) - \Phi^{-}(a)$$

a ve *b* gibi iki alternatif için hesaplanan tam öncelik değerine bağlı olarak aşağıda verilen kararlar alınır.

• $\Phi(a) > \Phi(b)$ ise, *a* alternatifi daha üstündür,
• $\Phi(a) = \Phi(b)$ ise, *a* ve b alternatifleri farksızdır.

Literatür Araştırması

Etkin bir sıralama yöntemi olan PROMETHEE yönetmi ile ilgili olarak literatürde yapılmış pek çok çalışma vardır. Bu nedenle literatür taraması 2000 yılı sonrasını kapsayacak şekilde sınırlandırılarak yapılmıştır.

Olson (2001) PROMETHEE I ve II beş kriter temelinde sekiz beysbol takımının yeteneklerinin sıralamasını ve değerlendirmesini gerçekleştirmiştir.

Rekiek ve ark. (2002) PROMETHEE II'yi çok amaçlı gruplama genetik algoritması ve dal sınır metodu ile birleştirerek her montaj istasyonu için en iyi kombinasyonu seçmiştir.

Yatırım analizi ve portfolyo yönetimi kapsamında Baourakis ve ark. (2002) PROMETHEE II'yi tarımsal yiyecek üretimi ve pazarlaması alanında çalışan şirketlerinin sürdürülebilirliğini değerlendirmek için kullanmıştır.

Yenilenebilir enerji projelerini değerlendirmek amacıyla, Hyde ve ark. (2003) PROMETHEE yöntemini kullanmışlardır.

Albadvi (2004) PROMETHEE II'yi ulusal bilişim teknolojisi stratejileri oluşturmak amacıyla kullanmıştır.

Johnson (2005) iskân seçim belgesi programı altında PROMETHEE'yi önceliklerine en iyi uyan komşuluk ve iskân birimlerini seçmek amacıyla kullanmıştır.

Kimya konusundaki çalışmalara örnek olarak Zhang ve ark. (2006) ürünlerin performans kalitesinin çok yönlü bir göstergesi olarak yağ nesnelerini sıralamak amacıyla kullanmışlardır.

Albadvi ve ark. (2007) PROMETHEE I ve II'yi Tahran Borsası'nda yatırım yapmak için bir karar verme aracı olarak uygulamıştır.

Araz ve Özkarahan (2007) tedarikçi değerlendirmede ve Araz ve ark. (2006) dış kaynak kullanımında PROMETHEE yöntemini kullanmışlardır.

Chou ve ark. nın (2007) yaptıkları çalışmada inovatif süreçler geliştirmek amacıyla en uygun eko teknoloji metodunun seçimi kapsamında PROMETHEE yöntemi kullanılarak sıralama ve değerlendirme yapılmıştır.

Queiruga ve ark. (2008) PROMETHEE'yi atık geri dönüşüm fabrikalarının kurulması için sıralamak amacıyla kullanmıştır.

Lojistik ve taşıma konu başlığı altındaki çalışmalarda ise, Iniestra ve Gutiérrez (2009) çalışmalarında kuadratik amaç fonksiyonlu bir kısıtlandırılmış çok amaçlı optimizasyon problemi olan çok amaçlı taşıma altyapısı proje seçimini PROMETHEE yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Mohamadabadi ve ark. (2009) çalışmalarında PROMETHEE metodunu kullanarak farklı karayolu taşımacılığı araçlarını sıralamak için çok kriterli değerlendirme modeli geliştirmişlerdir.

2.2.3. MOORA algoritması

MOORA (Multi-objective Optimization By Ratio Analysis) metodu; ilk olarak Willem Karel M. Brauers ve Edmundas Kazimieras Zavadskas tarafından bir bütün olarak 2006 yılında 'Control and Cybernetics' adlı çalışmaları ile tanıtılmıştır. Bu metodun üstünlükleri; tüm amaçları dikkate ve değerlendirmeye alması, alternatifler ve amaçlar arası tüm etkileşimler parça parça değil, aynı anda göz önüne alması, sübjektif ağırlıklı normalleştirme yerine sübjektif olmayan yönsüz değerler kullanmasıdır.

ÇKKV problemlerinde sınırlı sayıda ya da sonsuz sayıda alternatifler arasından karar vericinin karar vermesi istenmektedir. Sonsuz sayıda alternatifler arasından karar vermeye destek olmak maksadıyla ÇKKV, sınırlı sayıda alternatiften ise ÇKKV yöntemleri geliştirilmiştir. Sınırlı sayıda alternatifi değerlendirmesine rağmen literatürde ÇKKV modeli olarak değerlendirilen MOORA metodu da bunlardan birisidir.

MOORA metodunun öne çıkan üstünlükleri şu şekildedir:

- ✓ Tüm amaçları dikkate ve değerlendirmeye alması,
- ✓ Alternatifler ve amaçlar arası tüm etkileşimler parça parça değil, aynı anda göz önüne alması,

- ✓ Sübjektif ağırlıklı normalleştirme yerine sübjektif olmayan yönsüz değerler kullanmasıdır.

MOORA metodu; aşağıda sıralanan dayanıklılığın 7 koşulunu sağlamaktadır.

- ✓ Tüm etkilenenler hesaba katılmaktadır (Karar verici,müşteri,...)
- ✓ Tüm amaçlar dikkate alınmaktadır.
- ✓ Alternatifler ve amaçlar arası tüm ilişkiler dikkate alınır.
- ✓ Öznel değildir.
- ✓ Sıralı olmaması üstünlüğü (cardinal).
- ✓ En güncel verilerin kullanılması.
- ✓ Farklı MOORA tekniklerinin uygulanarak beraber değerlendirilebilmesi.

Literatürde çeşitli MOORA metotları bulunmaktadır.

- MOORA-Oran Metodu
- MOORA-Referans Noktası Yaklaşımı
- MOORA-Önem Katsayısı
- MOORA-Tam Çarpım Formu
- MULTI-MOORA

MULTI – MOORA kendi başına bir metot ya da model olmayıp; farklı MOORA metotları sonucu yapılan sıralamaları en son baskınlıklarına göre değerlendirerek son bir değerlendirme yapılmasını sağlamakta ve mevcut çok kriterli karar verme metotları arasında dayanıklılık (robustness) açısından en üst noktaya taşımıştır.

MOORA metotları; farklı alternatiflerin farklı amaçlara karşılık gelen değerlerinden oluşan matrisin hazırlanması ile başlar. Matrisin hazırlanmasından sonra, MOORA metotlarının aşağıdaki üçünde kullanılan normalleştirilmiş değerler için hesaplamalar yapılır:

- ✓ Oran Sistemi Metodu (Ratio system)
- ✓ Referans Noktası Yaklaşımı (Reference point approach).
- ✓ Önem Katsayısı Metodu (Significance Coefficient)

Normalleştirilmiş yönsüz değerlerin bulunması aşağıda yer alan işlem adımlarının takip edilmesiyle gerçekleşir.

- ✓ X_{ij} değerlerinin kareleri alınarak her bir amaç için karelerin toplamı alınır,
- ✓ Her bir X_{ij} değeri , ait olduğu amaca ait kareler toplamına bölünerek X^*_{ij} 'ler bulunur.

$$X^*_{ij} = \frac{Xij}{\sqrt{\sum_{j=1}^{m} x^2 ij}}$$

X^*_{ij} : i alternatifinin j. kriterdeki değerinin normalleştirilmiş halidir.

Yukarıda anlatılan hesaplamalar tamamlandığında, Oran Metodu için tablo ve değerler hazırlanmış olmaktadır. Optimizasyon için; bu değerler maksimizasyon ya da minimizasyon amaçlarına ait olma durumlarına göre toplanırlar.

$$y^*_j = \sum_{i=1}^{i=g} x * \text{ij} - \sum_{i=g+1}^{i=n} x * ij$$

y^*_j : i alternatifinin tüm amaçlar yönünden normalleştirilmiş değerlendirilmesi.
j= 1,2,…,g : maksimize edilecek amaçlar
j= g+1,g+2,…,n : minimize edilecek amaçlar
y^*_j lerin sıralanması ile karara esas tercihler son sıralanmış halini alır.

Oran sistemi metoduna ek olarak her amaç için ayrı olarak 'Maksimal Amaç Referans Noktaları ' belirlenir. Bu noktalar amaç minimizasyon ise min, maksimizasyon ise max noktalardır. Belirlenen bu noktalardan , her x^*_{ij} için uzaklıklar aşağıdaki gibi bulunur :
($r_j - x^*_{ij}$)

Bulunan bu mesafelerle hazırlanan matris, "Tchebycheff ' in min-max matrisi" işlemlerine tabidir:

$$\min_j \max_i (r_j - x^*_{ij})$$

Amaçların değerleri ve anlamları, çarpımlar şeklinde ifade edildiğinde; x_{ij} değerleri aşağıdaki eşitlikler yardımıyla normalleştirilir :

$$U'j = \frac{Aj}{Bj} \quad , \qquad Aj = \prod_{g=1}^{i} Xgi \quad , \qquad Bj = \prod_{k=i+1}^{n} Xkj$$

$U'j$: j. kriterin kullanılabilirliği.

Uygulanan MOORA metotlarının sonunda, yapılan sıralamalar toplu bir şekilde değerlendirilir ve bir baskınlık karşılaştırması yapılarak sıralamaya konulur.

Literatür araştırması

Çok yeni bir yaklaşım olan Moora algoritması ile ilgili literatürde yapılmış olan sadece 9 tane çalışma vardır.

Brauers ve Zavadskas (2006) geçiş ekonomisinde özelleştirme ile ilgili yapmış oldukları çalışmada MOORA oran analizi yöntemini kullanmışlardır.

Brauers ve diğerleri(2008) yüklenici firmalar için sıralandırma ile ilgili yaptıkları çalışmada MULTI MOORA metodunu kullanmışlardır.

Kalibatas ve Turskis (2008) MOORA algoritmasını bina içi havalandırma çok kriterli değerlendirmesini yapmışlardır.
Brauers ve diğerleri (2008) karayoluyol dizaynı optimizasyonu ile ilgili yapmış oldukları çalışmada Moora yöntemi uygulamışlardır.

Brauers ve diğerleri (2009) tesis bölgelerinin değerlendirilmesinde MOORA metodundan yararlanmışlar, aynı yıl Brauers ve diğerleri (2009) bölgesel gelişim değerlendirmesi Litvanya uygulaması için MULTI-MOORA metodunu tercih etmişlerdir.

Brauers ve diğerleri (2010) geçiş ekonomisi için proje yönetiminde fayda-zarar analizini yaparken MULTI-MOORA kullanmışlardır.

Kracka ve diğerleri (2010) bina ısı kayıplarının sıralanmasında, Brauers ve Zavadskas (2011) gayrimenkul satın alınırken banka kredisine karar verme ile ilgili yapmış oldukları çalışmada MULTI-MOORA yöntemini kullanmışlardır.

2.3. Gri İlişkisel Analiz Yöntemi

Gri teori ilk defa 1982 yılında Tayland'daki Hua Chung Bilim ve Teknoloji Üniversitesi öğretim üyelerinden Prof. Dr. Julong Deng tarafından ortaya atılmıştır. Stokastik veya bulanık karar verme yöntemleriyle çözülemeyen problemlerin modellenmesini ve çözülmesini sağlamaktadır.

- Sistemler arası analiz,
- Model kurulması
- Tahmin ve karar verme problemleri için sıkça başvurulan bir yöntemdir.

Buna ek olarak gri teori, kesikli veri setleri arasındaki çeşitli ilişkileri analiz etmede ve çok nitelikli durumlarda karar vermede kullanılan popüler bir yöntemdir. Bu yöntemin temel avantajları; sonuçların orjinal verilere dayanması, hesaplamaların basit ve kolay anlaşılabilir olması ve işletmenin bulunduğu çevrede karar vermek üzere en iyi yöntemlerden biri olmasıdır [Wu 2002].

Sistem bilimi içerisinde, gri sistem teorisi belirsiz ve karmaşık problemlerle ilgilenmektedir. Gri sistem teorisinde;

- ✓ Belirsizliğin olmadığı kusursuz bilgiye sahip olan sistemler beyaz,
- ✓ Tam zıt özelliklere sahip olan sistemler siyah,
- ✓ Yalnızca kısmi bilgiye sahip olan sistemler ise gri sistemler olarak nitelendirilmiştir.

Yani bilgi var ve tam ise beyaz, bilgi yok ise siyah, eksik bilgi var ise gri sistemdir.

Gri ilişkisel analiz, "Gri Teori" ana başlığı altında literatürde yerini almış bir karar verme ve analiz aracıdır. Yöntem; birden fazla alternatifin, birden fazla kriterin varlığında değerlendirildiği bir problemde; her bir kriter için bir alternatifin tüm alternatifler arasında sahip olunabilecek en iyi alternatife olan yakınlığına bağlı olarak, tüm kriterler için en iyi alternatifin seçilmesini sağlar.

Gri bir sistemdeki her bir faktör ile kıyas yapılan faktör serisi (referans serisi) arasındaki ilişki derecesi belirlenir. Her bir faktör bir dizi (satır veya sütun) olarak tanımlanır. Faktörler arası etki derecesi gri ilişkisel derece olarak isimlendirilir. Gri ilişkisel derecenin büyüklüğü faktörler arasında kuvvetli bir ilişki olduğunun göstergesidir.

Gri İlişkisel Analizi'nde; siyah, bilgiye sahip olmadığını, beyaz, bilgiye tamamen sahip olduğunu gösterir. Gri sistem ise, siyah ile beyaz arasındaki bilginin seviyesini gösterir. Diğer bir deyişle gri sistemde bazı bilgiler bilinirken bazı bilgiler bilinmez. Beyaz sistemde, sistem içerisindeki ilişkiler arası faktörler kesindir. Gri sistemde ise sistem içerisindeki ilişkiler arası faktörler kesin değildir [Tosun 2006].

Gri ilişkisel analiz adımları aşağıda verilmiştir [Chang ve ark. 2001]:

Adım 1: n uzunluğundaki referans seri şu şekilde belirlenir:

$\chi_0 = (\chi_0(1), \chi_0(2), \chi_0(3), \ldots, \chi_0(n))$

Adım 2: Veriler normalize edilir. (Gri İlişkisel Oluşum)

- ✓ Daha yüksek daha iyi,
- ✓ Daha düşük daha iyi,
- ✓ İdeal değer daha iyi kriterlerinden hangisi serinin özelliğini yansıtmaktadır.

Daha yüksek daha iyi durumunda normalizasyon:

$$\chi i(k) = \frac{\chi i^{\circ}(k) - \min \chi i^{\circ}(k)}{\max \chi i^{\circ}(k) - \min \chi i^{\circ}(k)}$$

Daha düşük daha iyi durumunda normalizasyon:

$$\chi i(k) = \frac{\max \chi i^{\circ}(k) - \chi i^{\circ}(k)}{\max \chi i^{\circ}(k) - \min \chi i^{\circ}(k)}$$

İdeal değer daha iyi durumunda normalizasyon:

$$\chi i(k) = 1 - \frac{|\chi i^{\circ}(k) - \chi^{\circ}|}{\max \chi i^{\circ}(k) - \chi^{\circ}}$$

Adım 3: χ^0 serisi ile karşılaştırılacak m tane seri tanımlanır:

$\chi_i = (\chi_i(1), \chi_i(2), \chi_i(3), \ldots, \chi_i(n))$, i=1,2,…,m

Adım 4: k, n uzunluğundaki seride k. sırayı göstermek üzere;

$$\varepsilon(\chi 0(k), \chi i(k)) = \frac{\Delta \min + \xi \Delta \max}{\Delta 0i(k) + \xi \Delta \max}$$

$\Delta_{0i}(k) = | \chi_0(k) - \chi_i(k) |$

$\Delta_{min} = \min_j \min_k | \chi_0(k) - \chi_j(k) |$

$\Delta_{max} = \max_j \max_k | \chi_0(k) - \chi_j(k) |$

Adım 5: Gri ilişkisel derece şu şekilde hesaplanır:

$$\gamma(\chi 0, \chi \mathrm{i} = \frac{1}{\mathrm{n}} \sum_{\mathrm{k}=1}^{\mathrm{n}} \varepsilon\ (\chi 0\ (\mathrm{k}) - \ \chi \mathrm{i}\ (\mathrm{k}))$$

Bulunan değer, gri bir sistemdeki χ_i serisi ile χ_0 referans serisi arasındaki geometrik benzerliğin bir ölçüsüdür.

Kriter ağırlıkları verildiyse, gri ilişki derecesi şu şekilde bulunur:

$$\gamma(\chi 0, \chi \mathrm{i} = \sum_{\mathrm{k}=1}^{\mathrm{n}} \varepsilon \left(\chi 0\ (\mathrm{k}) - \ \chi \mathrm{i}\ (\mathrm{k})\right) * \mathrm{Wi}(\mathrm{k})$$

Gri ilişkisel derecenin büyüklüğü, i alternatifinin referans seriye (kriterlerden alınan en iyi değerlere göre oluşturulmuş ideal ürün özelliklerini gösteren seriye) olan benzerliğinin göstergesidir.

Gri ilişkisel analiz yöntemi,

- ✓ Kriterlerin birbirleri ile olan ilişkilerinin dikkate alınmasında,
- ✓ Kriterlerin en iyi seviyelerine olan yakınlıklarının ölçülmesinde başarılıdır.

Yukarıda bahsedilen avantajlarının yanı sıra gri ilişkisel analiz yöntemi, kriterlerin hiyerarşik olması konusunda yetersiz kalmaktadır.

Literatür Araştırması

Gri İlişkisel Analiz, her geçen gün kendine daha fazla yer bulan ve farklı alanlarda uygulamalarda kullanılan bir yöntemdir. Literatür araştırması 2000 yılı sonrasını kapsayacak şekilde yapılmıştır.

Hsu ve Wen (2000) yaptıkları çalışmada, Gri İlişkisel Analiz yönteminden yararlanarak belirsizlik ortamında en az sayıda veriyle havayolu trafiği konusunda tahmin ve buna dayalı olarak uçuş frekanslarının belirlenmesi yoluyla havayolu ağ tasarımı gerçekleştirmiştir.

Chang ve ark. (2001) risk faktörleri tüm bu yukarıda sayılan özelliklere sahip olduğu için gri teorinin bu yönteme uygulanabileceğini ortaya koymuştur.

Lin ve Lin (2002) yaptıkları çalışmada, çoklu performans karakteristikleri ile tel erozyon işleminin optimizasyonu için Gri İlişkisel Analiz ve ortogonal diziyi kullanmışlardır.

Fung (2003) gri ilişkisel analiz yöntemi kullanılarak enjeksiyon kalıplama prosesine ait parametrelerinin optimizasyonu ile ilgili bir çalışma yapmıştır.

Lai ve ark.(2005) bir kelime çifti tarafından temsil edilen belli bir ürünün görüntü eşleşen ürün form elemanlarının en iyi tasarım kombinasyonunu belirlemek için gri ilişkisel analiz yöntemi kullanılarak yeni bir yaklaşım önermişlerdir.

Palanikumar ve ark. (2006) çalışmalarında karbür (KIO) takımını kullanarak GFRP (glass fiber-reinforced polymer) malzemesinin işlenmesinde, işleme parametrelerinin çoklu performanslarını optimizasyonunu yapmışlardır. Bunun için de Gri İlişkisel Analiz'den faydalanmışlardır.

Lu ve ark. (2009) çalışmalarında, yüksek hızlı frezede kesme parametrelerinin optimum dizaynı için temel bileşenler analizi ile Gri İlişkisel Analiz bir arada kullanılmıştır.

Tseng (2010) belirsizlik ve bilgi eksikliği olan bir durumda çevresel bilgi yönetim kapasitesinin tedarikçi değerlendirme ile kombine bulanık gri ilişkisel analiz yöntemi önermiştir.

Zheng ve ark. (2010) en uygun bina kabuğu alternatifini seçmek için geliştirilmiş gri ilişkisel yöntemi kullanılarak bir yaklaşım bir önerilmiştir.

Zhang ve Liu (2011) personel seçimi ile ilgili karar verme sürecinde çözüm için yeni bir yöntem geliştirmek amacıyla gri ilişkisel analiz yöntemini uygulamışlardır.

2.4. Fuzzy Gri İlişkisel Analiz Yöntemi

Kesikli veri setleri arasındaki ilişkileri analiz etmede ve çok nitelikli durumlarda karar vermede kullanılan bir yöntem olan Gri İlişkisel Analiz yönteminin bulanık sayılar kullanarak uygulanması literatürde "Fuzzy Gri İlişkisel Analiz Yöntemi" olarak adlandırılır.

Gri İlişkisel Analiz yönteminin sonuçların orjinal verilere dayanması, hesaplamaların basit ve kolay anlaşılabilir olması ve işletmenin bulunduğu çevrede karar vermek üzere en iyi yöntemlerden biri olması gibi tüm avantajlarını taşır. Bölüm 2.3.'te anlatıldığı gibi Gri İlişkisel Analiz yönteminin işlem adımları aynen Fuzzy Gri İlişkisel Analiz yönteminde de geçerlidir.

Literatür Araştırması

Chou ve ark. (2009) gri tabanlı bulanık algoritma kullanarak paralel soğutucu fanların optimum tasarımın parametrelerini bulmak için birden fazla performans özelliklerini değerlendirmede gri tabanlı bulanık algoritma önermişlerdir.

Moran ve ark. (2009) çevre fizibilite değerlendirmesi için kombine bulanık gri ilişkisel analizi sunmaktadırlar.

Wei (2011) ağırlıklar hakkında sezgisel bulanık bilgi mevcutken çok kriterli karar verme problemine gri ilişkisel analiz yöntemini uygulamıştır.

3. UYGULAMA

3.1. Örnek Problem Tanıtımı

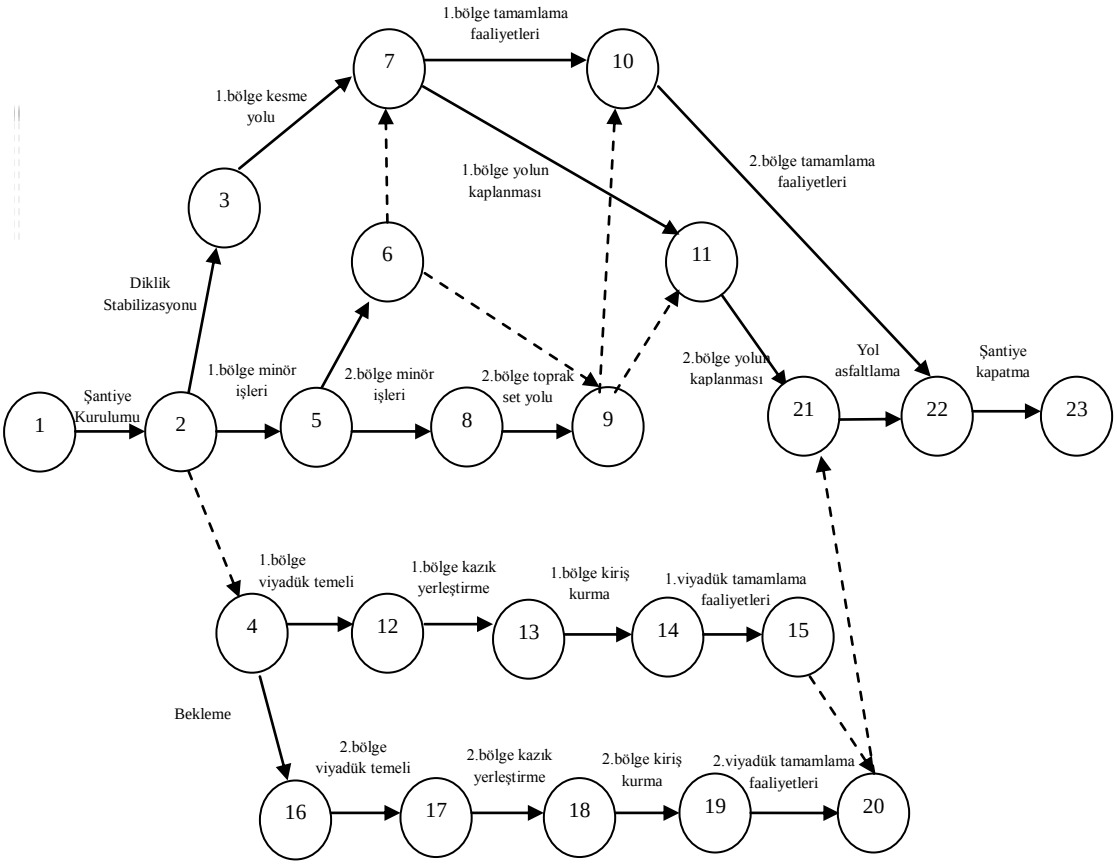
2009 yılında Francesco A. Zammori ve ark. tarafından "A fuzzy multi-criteria approach for critical path" ismiyle yayınlanan çalışmada, örnek bir inşaat projesi şebekesine ait kritik yolun bulunması amaçlanmıştır. Geleneksel proje çizelgelemenin sınırlarını genişletmek için Bulanık Mantık ve ÇKKV tekniklerini birleştiren yeni bir metot sunmuşlardır. Bir faaliyet, malzeme sıkıntısı (tedarikçiden kaynaklı) ya da makinelerdeki bir arıza sonucu gecikmiş olabilir. Benzer şekilde beklenmedik tasarım değişiklikleri ya da olumsuz çevre koşulları proje faaliyetlerinin uzamasına veya kalitesinin bozulmasına neden olabilir. Proje yönetiminin karar kalitesini artırmak ve kolaylaştırmak için bu tür olayların oluşma olasılığını da kritik yolu tanımlarken dikkate almak gerekir.

İlgili çalışmada, tek kritiklik göstergesi olarak yolların uzunluğunu kullanmak yerine, çeşitli risk kriterleri göz önünde bulundurularak kritik yolun tespit edilmesine olanak sağlayan bir yöntem geliştirilmek istenmiştir. Teknik, literatürde bu yönü ele alan ne stokastik ne de bulanık bir yöntem önerilmediği için böyle bir metodolojinin geliştirilmesi çalışmanın esas amacını ortaya koyar [Zammori ve ark. 2009]. Yayınlanan çalışmada, maliyet, yolun uzunluğu, ortak kaynak kullanımı, mevcut koruma, tasarımdaki herhangi bir revizyon riski ve dış riskler kriterleri dikkate alınarak ÇKKV yöntemlerinden biri olan TOPSIS yönetimi kullanılmıştır. Kriterler tamamen projeye özgün olarak belirlenmiştir.

TOPSIS ilk olarak 1981 yılında Hwang ve Yoon tarafından ELECTRE yöntemine alternatif olarak geliştirilmiştir. Metodun temel yapısı; seçilmiş alternatifin bir nevi geometrik anlamda ideal çözüme en kısa mesafede ve negatif-ideal çözümden en uzak mesafede olmasıdır. TOPSIS metodu her bir kriterin tekdüze bir şekilde artan ya da azalan fayda eğilimine sahip olduğunu varsaymaktadır. Bundan dolayı, ideal ve negatif-ideal çözümleri tanımlamak kolaydır. [Özkan 2007]. İdeal çözüm, fayda

kriterini maksimum, maliyet kriterini minimum yapan çözümdür. Negatif ideal çözüm ise maliyet kriterini maksimum, fayda kriterini minimum yapar. Seçilen alternatifin pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak uzaklıkta olması gerektiği mantığına dayanır. TOPSIS'de alternatiflerin sıralanması "ideal çözüme göreli benzerlik" yaklaşımına dayanır [Çitli 2006]. TOPSIS yöntemi literatürde birçok alanda uygulanmıştır.

Şekil- 3.1'de çalışmadaki şebeke verilmiştir.



Şekil 3.1. Örnek uygulamaya ait proje şebekesi

Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi iki kent merkezini bağlayan yolların yapımı projesine ait şebekede 23 düğüm vardır. Düğümleri birbirine bağlayan oklar faaliyetleri göstermektedir. Ana faaliyetler; demiryolu yapımı, iki viyadük yapımı ve yolların kaplanmasıdır. Faaliyetler öncüllük-ardıllık ilişkisine göre değerlendirilerek şebeke diyagramı oluşturulmuştur.

Yollar ve faaliyetler şu şekildedir:

Yollar	Faaliyetler	Yollar	Faaliyetler
1-2	Şantiye Kurulumu	12-13	1.bölge kazık yerleştirme
2-3	Diklik stabilizasyonu	13-14	1. bölge kiriş kurma
2-5	1. bölge minör işleri	14-15	1.viyadük tamamlama faaliyetleri
3-7	1.bölge kesme yolu	4-16	Bekleme
7-10	1. bölge tamamlama faaliyetleri	16-17	2.bölge viyadük temeli
7-11	1. bölge yolun kaplanması	17-18	2.bölge kazık yerleştirme
5-8	2.bölge minör işleri	18-19	2. bölge kiriş kurma
8-9	2.bölge toprak set yolu	19-20	2.viyadük tamamlama faaliyetleri
11-21	2. bölge yolun kaplanması	21-22	Yol asfaltlama
10-22	2. bölge tamamlama faaliyetleri	22-23	Şantiye kapatma
4-12	1.bölge viyadük temeli		

Kesikli çizgili oklarla gösterilen 2-4, 6-7, 6-8, 9-10, 9-11, 15-20, 20-21 yolları ise kukla (gölge) faaliyetlerdir. Kukla (gölge) faaliyetlerin maliyetleri ve zamanları sıfırdır.

Çalışmada ÇKKV yöntemlerine göre belirlenen amaç, yedi adet kriter ve on adet alternatifler aşağıdadır:

Amaç: Şebekedeki kritik yolun belirlenmesidir.

Kriter: Genelde dikkate alınan karar kriteri sadece zaman veya maliyet olurken, çalışmada ek kritik göstergelere de yer verilmiştir. Dikkate alınan 7 adet karar kriteri aşağıda belirtilmiştir:

Kriter 1: Yolun Uzunluğu (Path Lenght)

En yaygın olarak kullanılan kritik yolun belirlenmesi için kriter yolun uzunluğudur.

Bu kriterin amacı en uzun tamamlanma zamanına sahip olan yolu bulmaktır (max).

Kriter 2: Yolun Kritikliği (Path Criticality)

Yolun uzunluğu ile proje tamamlanma zamanına bağlıdır.

Yolun kritikliği= Yolun uzunluğu/Proje tamamlanma zamanı

Proje tamamlanma zamanından en uzak (en son düğüm) yolun uzunluğu, yol kritikliğinin alt değeridir.

Bu kriterin amacı yolun kritiği en düşük olanı bulmaktır (min).

Kriter 3: Yolun Beklenen Maliyeti (Expected Path Cost)

Beklenen tamamlanma maliyeti de dikkate alınması gereken diğer önemli bir parametredir.

Bu kriterin amacı en uzun tamamlanma zamanına sahip olan yolun maliyetini bulmaktır (max).

Kriter 4: Mevcut Koruma (Available Protection)

Bazı durumlarda süreyi azaltmak için ek veya alternatif kaynaklar (fazla mesai, daha fazla işgücü, donanımlı proje ekibi, dış kaynak kullanımı gibi) kullanarak, maliyeti artırmak mümkündür. Bu seçenek genelde proje tamamlanma zamanını kısaltmak yada hedef tarihten önce proje bitirildiğinde sunulan teşvikleri almak için kullanılır. Bu nedenle her yolun mevcut koruması gerçek kritik yolun belirlenmesi için ek parametre olarak kullanılır.

Bu kriterin amacı en düşük korumaya sahip olan yolu bulmaktır (min).

Kriter 5: Tasarım Değişikliği Riski (Risk of Major Design Revisions)

Bazen çıktıdaki hatalar nedeniyle ardıl faaliyetler başlayamaz ve problemler ortaya çıkar. Böyle durumlarda büyük değişiklikler gereklidir. Kaliteden ödün verilmek istenmezse hataya sebep olan tüm faaliyetler yeniden başlatılabilir. Bu nedenle proje yöneticisi, erken uyarı sistemi geliştirilmesi, kaynaklar arasındaki ilişkinin teşviki gibi geri dönüşümlerden projeyi korumalıdır.

Gerçek kritik yolu belirlemek için kritiklik derecesine göre ek risk kriteri olarak proje revizyonlarının yaratacağı ilk faaliyeti belirlemek istenir. Projenin ilerleyen aşamalarında, hedef bitiş tarihi ve beklenen maliyeti korumak ve geri dönüşümü önlemek için bu faaliyetler proje yöneticisi tarafından dikkatle kontrol edilmelidir. Doğru bir şekilde uygulanırsa hatayı önlemek mümkündür ve geri dönüşüm faaliyetlerinin önlenmesi planlanabilir.

Risk=Olasılık * Etki Tekrarlanması gereken öncül faaliyetlerin %si

Olasılık: Erken uyarı sistemi hazırlanmamış ve izleme yapılmamışsa ilk dönem faaliyet geri dönüşüm olma olasılığı
Etki: Tekrarlanması gereken öncül faaliyetlerin %si

Bu kriterin amacı tasarımdaki ana revizyon riski yüksek olan yolun bulmaktır (max).

Kriter 6: Ortak Kaynak Kritikliği (Shared Resources Criticality)

Projenin etkin planlanmasından önce, projelerde kaynak sıkıntısı olduğunda kaynakları seviyelendirmeye ihtiyaç vardır. İki bağımsız faaliyet öncelik ilişkisi yoluyla bağlandığı için kaynaklar paylaşılabilir ve sınırlı kaynaklar bağımlı olabilir. Bu nedenle birçok faaliyet aynı kaynak için yarışır. Aynı projenin faaliyetleri arasında bu sorun çözülebilir. Ancak organizasyonlarda aynı zamanda birden çok proje devam ediyor olabilir ya da herhangi bir zamanda yeni projeler başlayabilir. Bu

şartlarda paylaşılan kaynakların proje tamamlanma zamanı üzerindeki etkisi önemlidir. Kıdemli bir mühendis veya bir tedarikçi darboğaz kaynak olabilir. Ortak kaynak kritikliğini tespit etmek gerçek kritik yolu tespit etmek için ek kriter olarak kullanılmalıdır.

Ortak kaynak Kritikliği = Bir kaynağın kritikliği * Kaynağın kullanım %si

Bu kriterin amacı ortak kaynak kullanımı en yüksek olan yolun bulmaktır (max).

Kriter 7: Dış riskler (External risks)

Proje ortamında süreyi etkileyebilen ve belirlenmesi zor çeşitli durumlar vardır.

Örneğin;

- ✓ Lojistik/taşıma problemleri
- ✓ Makine arızaları
- ✓ Tedarikçi güvensizlikleri
- ✓ Olumsuz çevre koşulları

Potansiyel etkileri ölçmek için projenin her faaliyeti değerlendirilir.

Bu kriterin amacı dış riskleri en yüksek olan yolun bulmaktır (max).

Alternatif: Bu problemde alternatifler yollar başlangıç düğümünden sonuç düğümüne ulaşan yollar olarak belirlenmiştir. 10 adet farklı yol ile sonuç düğümüne ulaşılabilmektedir.

Bu yollar aşağıdaki gibidir:

Alternatif 1 : 1-2-3-7-10-22-23
Alternatif 2 : 1-2-3-7-11-21-22-23
Alternatif 3 : 1-2-5-6-7-10-22-23
Alternatif 4 : 1-2-5-6-7-11-21-22-23
Alternatif 5 : 1-2-5-6-8-9-10-22-23
Alternatif 6 : 1-2-5-6-8-9-11-21-22-23
Alternatif 7 : 1-2-5-8-9-10-22-23
Alternatif 8 : 1-2-5-8-9-11-21-22-23
Alternatif 9 : 1-2-4-12-13-14-15-20-21-22-23
Alternatif 10 : 1-2-4-16-17-18-19-20-21-22-23

Bu tezde, Zammori ve ark. tarafından yapılmış projede aynı kriterlerle TOPSIS yöntemi dışında farklı ÇKKV teknikleri kullanarak kritik yolun belirlenmesi üzerine çalışılmıştır. Farklı yöntemlerle elde edilen sonuçların karşılaştırılabilmesi için anketlerin aynı kişiler tarafından değerlendirilmesi gerekir. Bu bağlamda makaledeki bulanık değerler, α-cut kesme metodu ile durulaştırılarak AHP, PROMETHEE, MOORA, Gri İlişkisel Analiz ve Fuzzy Gri İlişkisel Analiz yöntemleri uygulanmıştır.

3.2. AHP Uygulaması

Birinci uygulanacak yöntem AHP ‘dir. AHP’nin seçilmesinin nedeni, tutarsızlığın ölçülebilmesi, amacın bir hiyerarşi içinde analiz edilebilmesi ve kullanımı kolay olmasıdır. Zammori ve ark. tarafından yapılan çalışmada AHP seçilmemesinin nedeni olarak, “AHP yönteminin bulanık sayılarla değil net sayılarla ilgilenmesi” şeklinde ifade edilmiştir. Oysa bu durum için Fuzzy AHP yöntemi kullanılabilir veya durulaştırılma işlemi yapılarak devam edilebilirdi.

Bu kapsamda kriterlerle alternatifler, Zammori ve ark. tarafından bulunan ağırlıklar dikkate alınarak durulaştırma işleminin ardından önem derecelendirme skalası

kullanılarak ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. Daha sonra tüm kriterler temelinde alternatif yollar yine önem derecelendirme skalası kullanılarak karşılaştırılmıştır. Expert Choice paket programı kullanılarak oluşturulan matris değerleri sonucunda alternatif yolların ağırlıkları bulunmuştur.

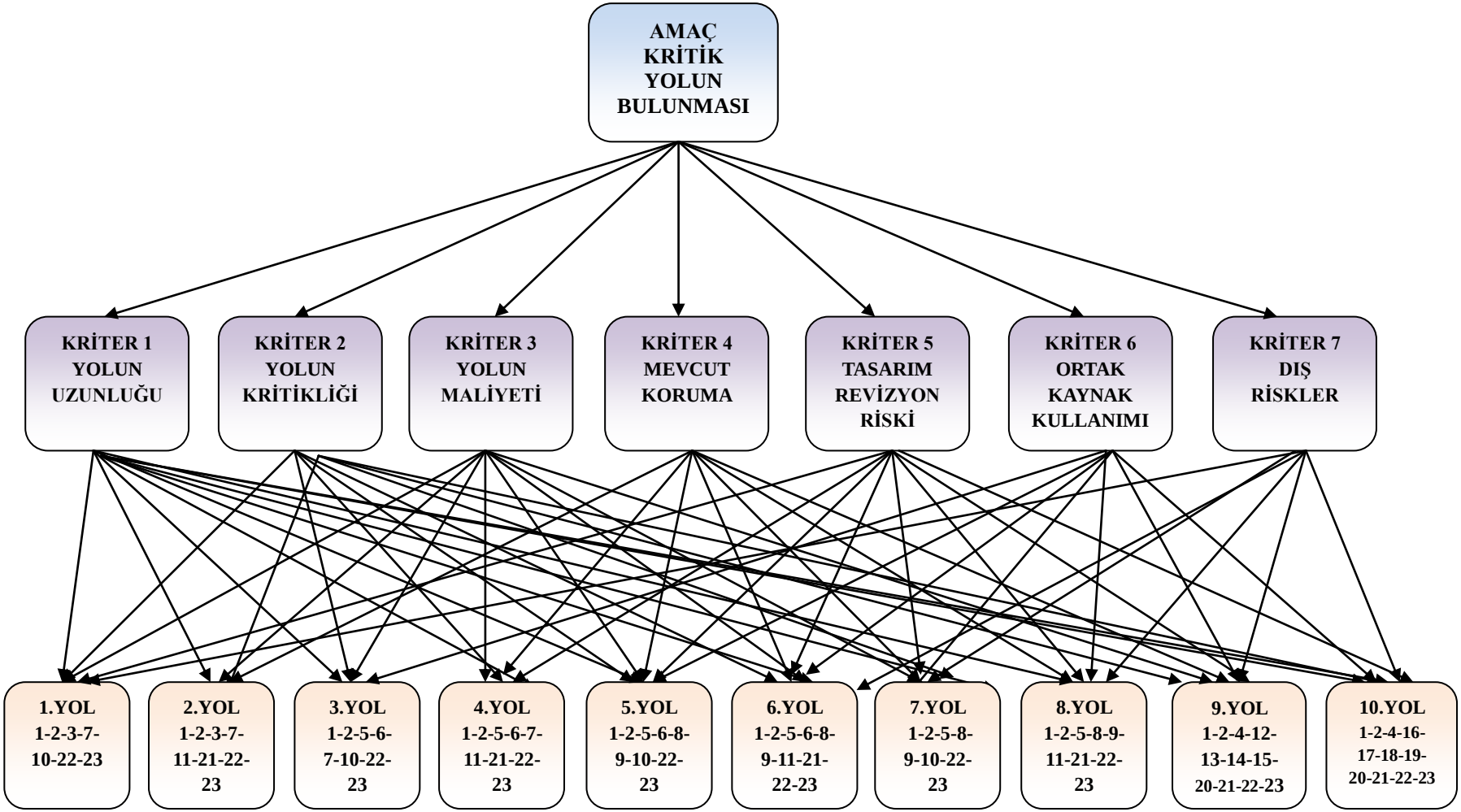
3.2.1. Hiyerarşi modeli

Çalışmada kullanılan amaç, kriter, alternatif gibi çok ölçütlü karar değişkenleri bu bölümde anlatılmaktadır. Amaçlar kriterleri, kriterler alternatifleri etkiler. Alternatifler sadece kriterlerden, kriterlerde sadece amaçtan etkilenir. Aralarında tek yönlü ilişki vardır.

Örnek uygulamaya ait hiyerarşi modeli diyagramı Şekil 3.2.'de verilmiştir.

Çalışmadaki AHP akışı 4 ana adımdan oluşur:

1. Problemin tanımlanması ve modelin kurulması
2. İkili karşılaştırma matrislerin düzenlenmesi
3. Önceliklerin/ağırlıkların belirlenmesi
4. En iyi alternatifin seçilmesi



Şekil 3.2. Örnek Uygulamanın Hiyerarşi Modeli

3.2.2. AHP için yapılan hazırlık işlemler

Bir bulanık sayıyı %100 temsil eden net sayı yoktur. Durulaştırma işlemi yapılırken α-cut metodu kullanılmıştır. Bu yöntemin kullanılmasının nedeni, α-cut kesme metodunun bulanık sayıları en yüksek temsil etme derecesine sahip yöntem olmasıdır. α-cut yöntemi aşağıda kısaca özetlenmiştir:

(l_i, m_i, u_i) bir bulanık sayı olsun.
l_i: en kötümser değer,
m_i: en olası değer,
u_i: en iyimser değer.

Adım 1: α- kesme değeri için bir grafik değer belirlenir.
$W_i\alpha=(W_{ia}\alpha, W_{iü}\alpha)$ $i=1,2,\ldots k$ $0 \leq \alpha \leq 1$
a: alt sınır
ü: üst sınır

Adım2: Bulunan aralık değeri λ indeksi ile birleştirilir.
$0 \leq \lambda \leq 1$
λ =1:iyimser karar verici
λ=0,5: ılımlı karar verici
λ=0: kötümser karar verici

AS= α*(m-l)+l
ÜS= u- α*(u-m)

Örnek uygulamada bulanık sayılar λ =0,5 ve α=0,1, α=0,5, α=0,9 kesme değerleri dikkate alınarak birleştirilmiş durulaştırma işlemleri yapılmıştır.

$$WkA = \sum_{l=1}^{L} \alpha l\ (\text{ASk})l \Big/ \sum_{l=1}^{L} \alpha l$$

$$Wk\ddot{\text{U}} = \sum_{l=1}^{L} \alpha l\ (\ddot{\text{U}}\text{Sk})l \Big/ \sum_{l=1}^{L} \alpha l$$

$W_{dk}= \lambda * W_{k\ddot{U}} + (1-\lambda) * W_{kA} \quad \lambda \in [0,1]$

Çizelge 3.1. Kriter ağırlıklarının α-cut ile durulaştırılması

Kriterlerin ağırlıklarının α-cut ile durulaştırılması																	
KRİTER		**li**	**mi**	**ui**	**α=0,1**	**α=0,5**	**α=0,9**	**0,1 alt sınır**	**0,5 alt sınır**	**0,9 alt sınır**	**0,1 üst sınır**	**0,5 üst sınır**	**0,9 üst sınır**	**WkA**	**WkÜ**	**λ**	**W**
1	**PL**	0,56	0,66	0,93	0,1	0,5	0,9	0,57	0,61	0,65	0,9	0,8	0,69	0,631	0,737	0,5	**0,68**
2	**PCr**	0,23	0,43	0,63	0,1	0,5	0,9	0,25	0,33	0,41	0,61	0,53	0,45	0,373	0,487	0,5	**0,43**
3	**PC**	0,7	0,9	1	0,1	0,5	0,9	0,72	0,8	0,88	0,99	0,95	0,91	0,843	0,929	0,5	**0,89**
4	**AP**	0,63	0,83	0,96	0,1	0,5	0,9	0,65	0,73	0,81	0,95	0,9	0,84	0,773	0,867	0,5	**0,82**
5	**RMR**	0,36	0,56	0,76	0,1	0,5	0,9	0,38	0,46	0,54	0,74	0,66	0,58	0,503	0,617	0,5	**0,56**
6	**SRC**	0,43	0,63	0,83	0,1	0,5	0,9	0,45	0,53	0,61	0,81	0,73	0,65	0,573	0,687	0,5	**0,63**
7	**ER**	0,16	0,36	0,56	0,1	0,5	0,9	0,18	0,26	0,34	0,54	0,46	0,38	0,303	0,417	0,5	**0,36**

Kriter 1: Yolun Uzunluğu (Path Lenght) temelinde durulaştırma

Çizelge 3.2. PL kriterinin durulaştırılması

YOL	α=0,1	α=0,5	α=0,9	λ=0,5	PL=Uzunluk											
					li	mi	ui	0,1 alt sınır	0,5 alt sınır	0,9 alt sınır	0,1 üst sınır	0,5 üst sınır	0,9 üst sınır	WkA	WkÜ	net sayı
A1	0,1	0,5	0,9	0,5	108	123	134	110	116	122	133	129	124	118,7	126,2	**122**
A2	0,1	0,5	0,9	0,5	106	124	139	108	115	122	138	132	126	118,8	128,3	**124**
A3	0,1	0,5	0,9	0,5	111	124	133	112	118	123	132	129	125	120,3	126,6	**123**
A4	0,1	0,5	0,9	0,5	109	125	138	111	117	123	137	132	126	120,4	128,7	**125**
A5	0,1	0,5	0,9	0,5	112	124	133	113	118	123	132	129	125	120,6	126,6	**124**
A6	0,1	0,5	0,9	0,5	111	127	137	113	119	125	136	132	128	122,4	129,9	**126**
A7	0,1	0,5	0,9	0,5	90	101	111	91,1	95,5	99,9	110	106	102	97,85	103,9	**101**
A8	0,1	0,5	0,9	0,5	89	104	115	90,5	96,5	103	114	110	105	99,7	107,2	**103**
A9	0,1	0,5	0,9	0,5	105	124	140	107	115	122	138	132	126	118,6	128,6	**124**
A10	0,1	0,5	0,9	0,5	107	121	139	108	114	120	137	130	123	117	126,2	**122**

Kriter 2: Yolun Kritikliği (Path Criticality) temelinde durulaştırma

Çizelge 3.3. PCr kriterinin durulaştırılması

YOL	α=0,1	α=0,5	α=0,9	λ=0,5	PCr=Kritiklik											
					li	mi	ui	0,1 alt sınır	0,5 alt sınır	0,9 alt sınır	0,1 üst sınır	0,5 üst sınır	0,9 üst sınır	WkA	WkÜ	net sayı
A1	0,1	0,5	0,9	0,5	0,77	0,97	1,2	0,79	0,87	0,95	1,18	1,09	0,99	0,91	1,04	**0,97**
A2	0,1	0,5	0,9	0,5	0,76	0,98	0,99	0,78	0,87	0,96	0,99	0,99	0,98	0,92	0,98	**0,95**
A3	0,1	0,5	0,9	0,5	0,79	0,98	1,19	0,81	0,89	0,96	1,17	1,09	1	0,93	1,04	**0,98**
A4	0,1	0,5	0,9	0,5	0,78	0,98	1,23	0,8	0,88	0,96	1,21	1,11	1,01	0,92	1,05	**0,99**
A5	0,1	0,5	0,9	0,5	0,8	0,98	1,19	0,82	0,89	0,96	1,17	1,09	1	0,93	1,04	**0,98**
A6	0,1	0,5	0,9	0,5	0,79	1	1,22	0,81	0,9	0,98	1,2	1,11	1,02	0,94	1,06	**1,00**
A7	0,1	0,5	0,9	0,5	0,64	0,795	0,99	0,66	0,72	0,78	0,97	0,89	0,81	0,75	0,85	**0,80**
A8	0,1	0,5	0,9	0,5	0,64	0,82	1,02	0,66	0,73	0,8	1	0,92	0,84	0,77	0,88	**0,82**
A9	0,1	0,5	0,9	0,5	0,75	0,98	1,25	0,77	0,87	0,96	1,22	1,12	1,01	0,91	1,06	**0,99**
A10	0,1	0,5	0,9	0,5	0,76	0,95	1,24	0,78	0,86	0,93	1,21	1,1	0,98	0,9	1,03	**0,96**

Kriter 3: Yolun Beklenen Maliyeti (Expected Path Cost) temelinde durulaştırma

Çizelge 3.4. PC kriterinin durulaştırılması

YOL	α=0,1	α=0,5	α=0,9	λ=0,5	PC=Maliyet											
					li	mi	ui	0,1 alt sınır	0,5 alt sınır	0,9 alt sınır	0,1 üst sınır	0,5 üst sınır	0,9 üst sınır	WkA	WkÜ	net sayı
A1	0,1	0,5	0,9	0,5	495	520	539	498	508	518	537	530	522	513	525	**519**
A2	0,1	0,5	0,9	0,5	1084	1116	1148	1087	1100	1113	1145	1132	1119	1107	1125	**1116**
A3	0,1	0,5	0,9	0,5	525	554	577	528	540	551	575	566	556	546	561	**553**
A4	0,1	0,5	0,9	0,5	1114	1150	1186	1118	1132	1146	1182	1168	1154	1140	1160	**1150**
A5	0,1	0,5	0,9	0,5	650	682	712	653	666	679	709	697	685	673	691	**682**
A6	0,1	0,5	0,9	0,5	1037	1075	1116	1041	1056	1071	1112	1096	1079	1064	1087	**1075**
A7	0,1	0,5	0,9	0,5	361	390	422	364	376	387	419	406	393	382	399	**390**
A8	0,1	0,5	0,9	0,5	748	783	826	752	766	780	822	805	787	773	795	**784**
A9	0,1	0,5	0,9	0,5	1182	1214	1249	1185	1198	1211	1246	1232	1218	1205	1224	**1214**
A10	0,1	0,5	0,9	0,5	804	835	865	807	820	832	862	850	838	826	844	**835**

Kriter 4: Mevcut Koruma (Available Protection) temelinde durulaştırma

Çizelge 3.5. AP kriterinin durulaştırılması

YOL	α=0,1	α=0,5	α=0,9	λ=0,5	AP=Koruma											
					li	mi	ui	0,1 alt sınır	0,5 alt sınır	0,9 alt sınır	0,1 üst sınır	0,5 üst sınır	0,9 üst sınır	WkA	WkÜ	net sayı
A1	0,1	0,5	0,9	0,5	1,24	2,24	4,9	1,34	1,74	2,14	4,63	3,57	2,51	1,95	3	**2,48**
A2	0,1	0,5	0,9	0,5	0,97	1,88	4,03	1,06	1,43	1,79	3,82	2,96	2,1	1,62	2,5	**2,06**
A3	0,1	0,5	0,9	0,5	1,29	2,25	4,68	1,39	1,77	2,15	4,44	3,47	2,49	1,97	2,95	**2,46**
A4	0,1	0,5	0,9	0,5	0,24	1,88	3,85	0,4	1,06	1,72	3,65	2,87	2,08	1,41	2,44	**1,93**
A5	0,1	0,5	0,9	0,5	1,23	2,13	4,35	1,32	1,68	2,04	4,13	3,24	2,35	1,87	2,77	**2,32**
A6	0,1	0,5	0,9	0,5	1,06	1,9	3,8	1,14	1,48	1,82	3,61	2,85	2,09	1,66	2,44	**2,05**
A7	0,1	0,5	0,9	0,5	1,21	3,08	6,94	1,4	2,15	2,89	6,55	5,01	3,47	2,54	4,19	**3,37**
A8	0,1	0,5	0,9	0,5	1,03	2,84	6,68	1,21	1,94	2,66	6,3	4,76	3,22	2,32	3,94	**3,13**
A9	0,1	0,5	0,9	0,5	0,97	1,96	4,92	1,07	1,47	1,86	4,62	3,44	2,26	1,68	2,81	**2,24**
A10	0,1	0,5	0,9	0,5	1,42	2,82	7,08	1,56	2,12	2,68	6,65	4,95	3,25	2,42	4,04	**3,23**

Kriter 5: Tasarım Değişikliği Riski (Risk of Major Design Revisions) temelinde durulaştırma

Çizelge 3.6. RMR kriterinin durulaştırılması

YOL	α=0,1	α=0,5	α=0,9	λ=0,5	RMR=Revizyon riski											
					li	mi	ui	0,1 alt sınır	0,5 alt sınır	0,9 alt sınır	0,1 üst sınır	0,5 üst sınır	0,9 üst sınır	WkA	WkÜ	net sayı
A1	0,1	0,5	0,9	0,5	38,1	65,2	69,3	40,8	51,6	62,5	68,9	67,2	65,6	57,4	66,3	**62**
A2	0,1	0,5	0,9	0,5	43,1	66	69,7	45,4	54,5	63,7	69,3	67,8	66,4	59,4	67,1	**63**
A3	0,1	0,5	0,9	0,5	57,6	69,3	71,3	58,7	63,4	68,1	71,1	70,3	69,5	65,9	69,9	**68**
A4	0,1	0,5	0,9	0,5	62,6	70	71,7	63,3	66,3	69,3	71,5	70,8	70,2	67,9	70,5	**69**
A5	0,1	0,5	0,9	0,5	64,6	73	74,7	65,4	68,8	72,2	74,5	73,8	73,2	70,6	73,5	**72**
A6	0,1	0,5	0,9	0,5	67,6	73,8	75	68,2	70,7	73,2	74,9	74,4	73,9	72	74,1	**73**
A7	0,1	0,5	0,9	0,5	10	43,4	67,7	13,3	26,7	40,1	65,2	55,6	45,9	33,9	50,4	**42**
A8	0,1	0,5	0,9	0,5	13	44,2	68	16,1	28,6	41,1	65,6	56,1	46,6	35,3	51	**43**
A9	0,1	0,5	0,9	0,5	40,6	42	66,2	40,8	41,3	41,9	63,8	54,1	44,4	41,6	48,9	**45**
A10	0,1	0,5	0,9	0,5	30,7	54	60,1	33	42,3	51,7	59,5	57,1	54,6	47,3	55,8	**52**

Kriter 6: Ortak Kaynak Kritikliği (Shared Resources Criticality) temelinde durulaştırma

Çizelge 3.7. SRC kriterinin durulaştırılması

YOL	α=0,1	α=0,5	α=0,9	λ=0,5	SRC=Ortak kaynak											
					li	mi	ui	0,1 alt sınır	0,5 alt sınır	0,9 alt sınır	0,1 üst sınır	0,5 üst sınır	0,9 üst sınır	WkA	WkÜ	net sayı
A1	0,1	0,5	0,9	0,5	3	5,6	6,6	3,26	4,3	5,34	6,5	6,1	5,7	4,85	5,38	**5,1**
A2	0,1	0,5	0,9	0,5	2	5	8	2,3	3,5	4,7	7,7	6,5	5,3	4,14	5,16	**4,7**
A3	0,1	0,5	0,9	0,5	1,3	4,3	7	1,6	2,8	4	6,73	5,65	4,57	3,44	4,4	**3,9**
A4	0,1	0,5	0,9	0,5	3	5,6	8,6	3,26	4,3	5,34	8,3	7,1	5,9	4,85	5,83	**5,3**
A5	0,1	0,5	0,9	0,5	0,6	3,6	6	0,9	2,1	3,3	5,76	4,8	3,84	2,74	3,63	**3,2**
A6	0,1	0,5	0,9	0,5	1,3	4,3	7	1,6	2,8	4	6,73	5,65	4,57	3,44	4,4	**3,9**
A7	0,1	0,5	0,9	0,5	0	2	4,3	0,2	1	1,8	4,07	3,15	2,23	1,43	2,18	**1,8**
A8	0,1	0,5	0,9	0,5	0	2	4,3	0,2	1	1,8	4,07	3,15	2,23	1,43	2,18	**1,8**
A9	0,1	0,5	0,9	0,5	0	0	3	0	0	0	2,7	1,5	0,3	0	0,68	**0,3**
A10	0,1	0,5	0,9	0,5	0	1	3,6	0,1	0,5	0,9	3,34	2,3	1,26	0,71	1,42	**1,1**

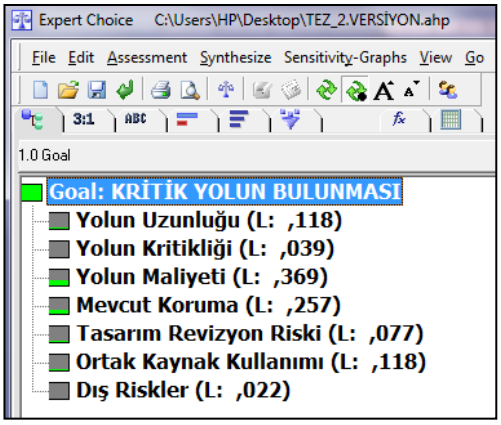
Kriter 7: Dış riskler (External risks) temelinde durulaştırma

Çizelge 3.8. ER kriterinin durulaştırılması

YOL	α=0,1	α=0,5	α=0,9	λ=0,5	ER=Dış riskler										
					li	mi	ui	0,1 alt sınır	0,5 alt sınır	0,9 alt sınır	0,1 üst sınır	0,5 üst sınır	0,9 üst sınır	WkA	WkÜ	net sayı
A1	0,1	0,5	0,9	0,5	0	2,4	3	0,24	1,2	2,16	2,94	2,7	2,46	1,71	2,57	**2,1**
A2	0,1	0,5	0,9	0,5	0	2,4	3	0,24	1,2	2,16	2,94	2,7	2,46	1,71	2,57	**2,1**
A3	0,1	0,5	0,9	0,5	0	0	3	0	0	0	2,7	1,5	0,3	0	0,86	**0,4**
A4	0,1	0,5	0,9	0,5	1,3	4,3	7	1,6	2,8	4	6,73	5,65	4,57	3,44	5,07	**4,3**
A5	0,1	0,5	0,9	0,5	0	2,4	3	0,24	1,2	2,16	2,94	2,7	2,46	1,71	2,57	**2,1**
A6	0,1	0,5	0,9	0,5	0,6	3,6	6	0,9	2,1	3,3	5,76	4,8	3,84	2,74	4,29	**3,5**
A7	0,1	0,5	0,9	0,5	1,6	4,3	6,6	1,87	2,95	4,03	6,37	5,45	4,53	3,53	4,96	**4,2**
A8	0,1	0,5	0,9	0,5	0,6	3,6	6	0,9	2,1	3,3	5,76	4,8	3,84	2,74	4,29	**3,5**
A9	0,1	0,5	0,9	0,5	2	5	8	2,3	3,5	4,7	7,7	6,5	5,3	4,14	5,86	**5,0**
A10	0,1	0,5	0,9	0,5	3	5,6	8,6	3,26	4,3	5,34	8,3	7,1	5,9	4,85	6,46	**5,7**

3.2.3. Uygulama

AHP uygulaması Expert Choice paket programı kullanılarak yapılmıştır. Bu sayede önem derecelendirmeye göre oluşturulan ikili karşılaştırma matrisleri programa veri olarak giriş yapıldıktan sonra ağırlıklar çıktı olarak elde edilmiştir. Ayrıca paket programda duyarlılık analizleri de yapılabilmektedir. Yapılan işlemlere ait ekran çıktıları aşağıda sırasıyla verilmiştir. Resimlerde ikili karşılaştırma matrisine ait tutarlılık oranları da görülmektedir.



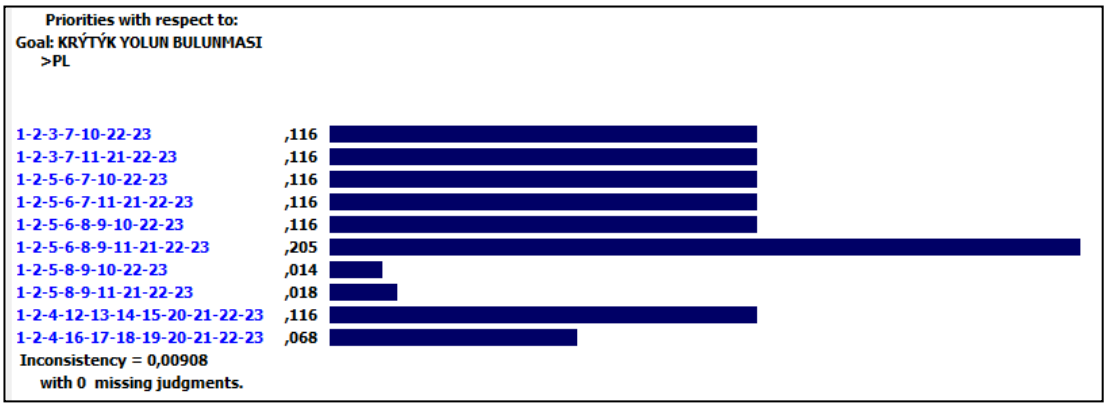
Resim 3.1. Kriterlerin programda tanımlanması

Kriter 1 temelinde alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan ikili karşılaştırma matrisi ve bulunan ağırlıklar aşağıdaki gibidir:

Compare the relative preference with respect to: PL

	1-2-3-7-10-:	1-2-3-7-	1-2-5-6	1-2-5-6	1-2-5-6	1-2-5-6	1-2-5-8-	1-2-5-8	1-2-4-1	1-2-4-1
1-2-3-7-10-22-23		1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	8,0	7,0	1,0	2,0
1-2-3-7-11-21-22-23			1,0	1,0	1,0	2,0	8,0	7,0	1,0	2,0
1-2-5-6-7-10-22-23				1,0	1,0	2,0	8,0	7,0	1,0	2,0
1-2-5-6-7-11-21-22-23					1,0	2,0	8,0	7,0	1,0	2,0
1-2-5-6-8-9-10-22-23						2,0	8,0	7,0	1,0	2,0
1-2-5-6-8-9-11-21-22-23							9,0	8,0	2,0	3,0
1-2-5-8-9-10-22-23								2,0	8,0	7,0
1-2-5-8-9-11-21-22-23									7,0	6,0
1-2-4-12-13-14-15-20-21-22-23										2,0
1-2-4-16-17-18-19-20-21-22-23	Incon: 0,01									

Resim 3.2. PL kriteri temelinde İKM



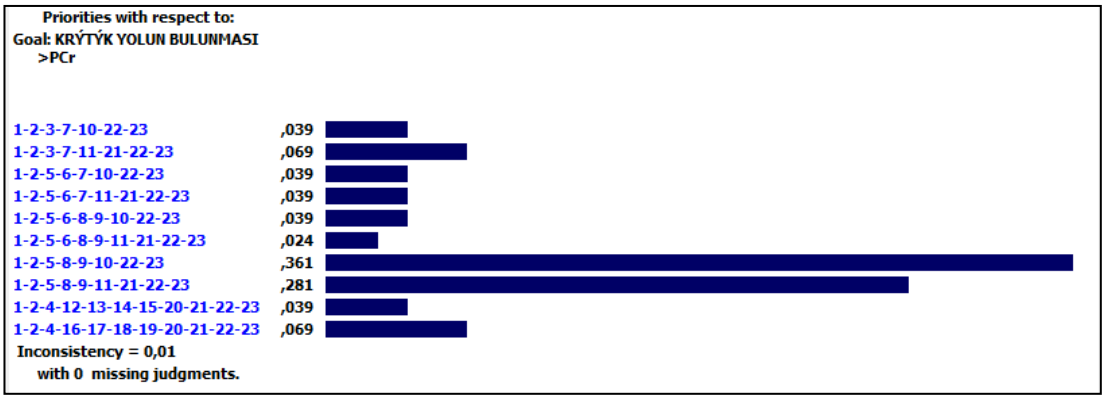
Resim 3.3. PL temelinde alternatif ağırlıkları

Kriter 2 temelinde alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan ikili karşılaştırma matrisi ve bulunan ağırlıklar aşağıdaki gibidir:

Compare the relative preference with respect to: PCr

	1-2-3-7-10-;	1-2-3-7-	1-2-5-6-	1-2-5-6	1-2-5-6	1-2-5-6	1-2-5-8-	1-2-5-8	1-2-4-1	1-2-4-1
1-2-3-7-10-22-23		2,0	1,0	1,0	1,0	2,0	8,0	7,0	1,0	2,0
1-2-3-7-11-21-22-23			2,0	2,0	2,0	3,0	7,0	6,0	2,0	1,0
1-2-5-6-7-10-22-23				1,0	1,0	2,0	8,0	7,0	1,0	2,0
1-2-5-6-7-11-21-22-23					1,0	2,0	8,0	7,0	1,0	2,0
1-2-5-6-8-9-10-22-23						2,0	8,0	7,0	1,0	2,0
1-2-5-6-8-9-11-21-22-23							9,0	8,0	2,0	3,0
1-2-5-8-9-10-22-23								2,0	8,0	7,0
1-2-5-8-9-11-21-22-23									7,0	6,0
1-2-4-12-13-14-15-20-21-22-23										2,0
1-2-4-16-17-18-19-20-21-22-23	Incon: 0,01									

Resim 3.4. PCr kriteri temelinde İKM



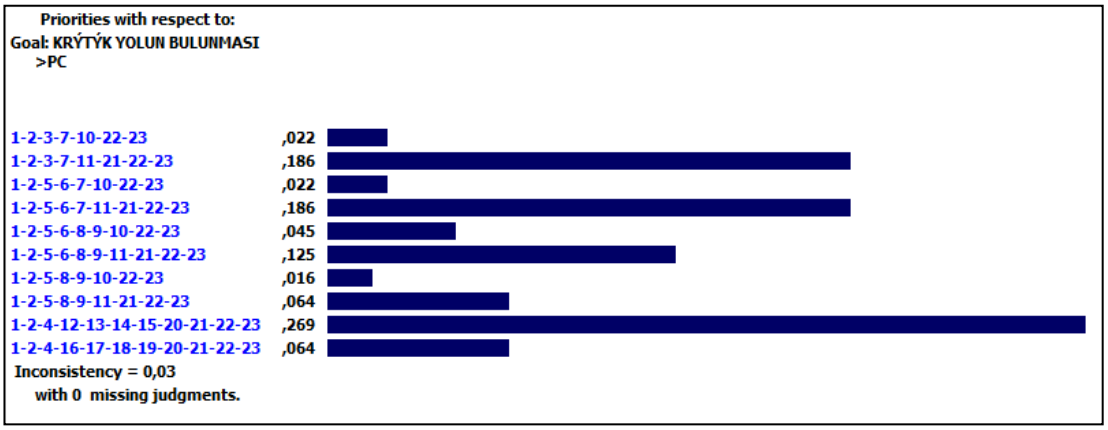
Resim 3.5. PCr temelinde alternatif ağırlıkları

Kriter 3 temelinde alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan ikili karşılaştırma matrisi ve bulunan ağırlıklar aşağıdaki gibidir:

Compare the relative preference with respect to: PC

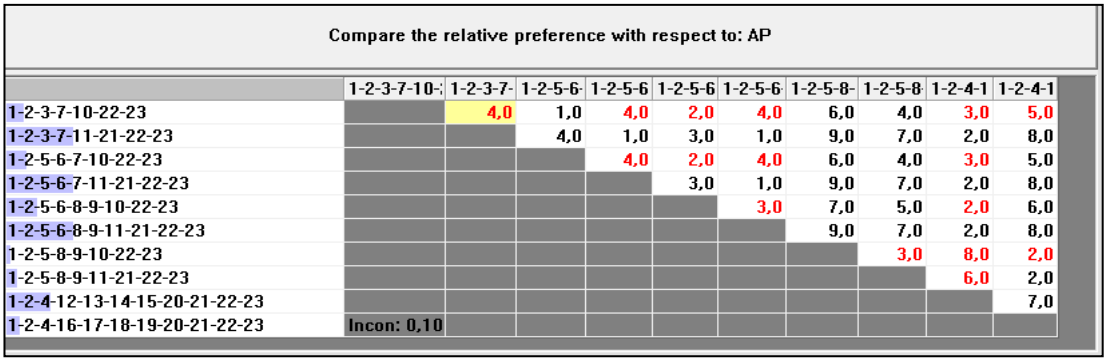
	1-2-3-7-10-;	1-2-3-7-	1-2-5-6-	1-2-5-6	1-2-5-6	1-2-5-6	1-2-5-8-	1-2-5-8	1-2-4-1	1-2-4-1
1-2-3-7-10-22-23		7,0	1,0	7,0	3,0	6,0	2,0	4,0	8,0	4,0
1-2-3-7-11-21-22-23			7,0	1,0	5,0	2,0	8,0	4,0	2,0	4,0
1-2-5-6-7-10-22-23				7,0	3,0	6,0	2,0	4,0	8,0	4,0
1-2-5-6-7-11-21-22-23					5,0	2,0	8,0	4,0	2,0	4,0
1-2-5-6-8-9-10-22-23						3,0	4,0	2,0	6,0	2,0
1-2-5-6-8-9-11-21-22-23							7,0	3,0	3,0	3,0
1-2-5-8-9-10-22-23								5,0	9,0	5,0
1-2-5-8-9-11-21-22-23									5,0	1,0
1-2-4-12-13-14-15-20-21-22-23										5,0
1-2-4-16-17-18-19-20-21-22-23	Incon: 0,03									

Resim 3.6. PC kriteri temelinde İKM



Resim 3.7. PC temelinde alternatif ağırlıkları

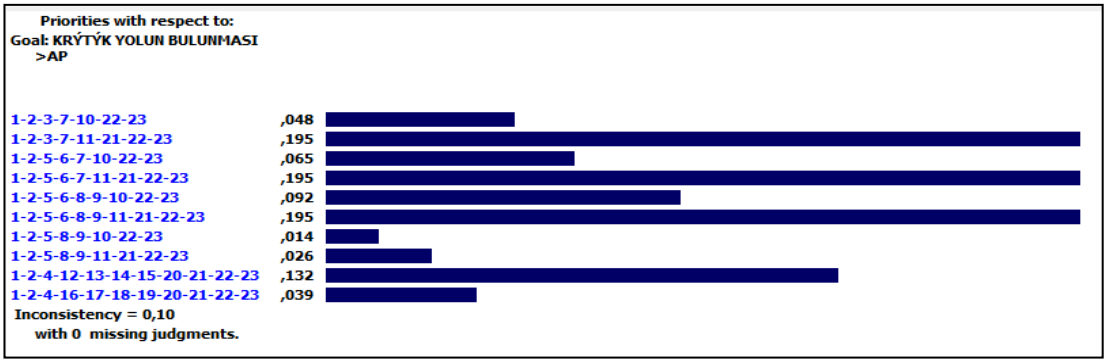
Kriter 4 temelinde alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan ikili karşılaştırma matrisi ve bulunan ağırlıklar aşağıdaki gibidir:



Compare the relative preference with respect to: AP

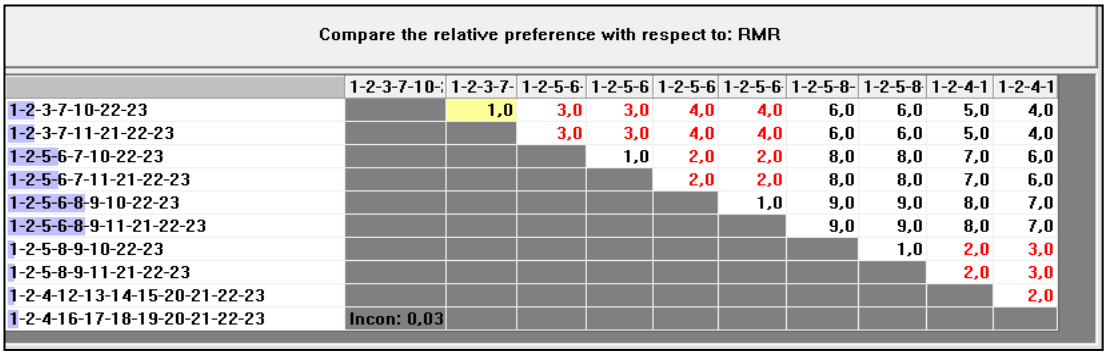
	1-2-3-7-10-;	1-2-3-7-	1-2-5-6	1-2-5-6	1-2-5-6	1-2-5-6	1-2-5-8-	1-2-5-8	1-2-4-1	1-2-4-1
1-2-3-7-10-22-23		4,0	1,0	4,0	2,0	4,0	6,0	4,0	3,0	5,0
1-2-3-7-11-21-22-23			4,0	1,0	3,0	1,0	9,0	7,0	2,0	8,0
1-2-5-6-7-10-22-23				4,0	2,0	4,0	6,0	4,0	3,0	5,0
1-2-5-6-7-11-21-22-23					3,0	1,0	9,0	7,0	2,0	8,0
1-2-5-6-8-9-10-22-23						3,0	7,0	5,0	2,0	6,0
1-2-5-6-8-9-11-21-22-23							9,0	7,0	2,0	8,0
1-2-5-8-9-10-22-23								3,0	8,0	2,0
1-2-5-8-9-11-21-22-23									6,0	2,0
1-2-4-12-13-14-15-20-21-22-23										7,0
1-2-4-16-17-18-19-20-21-22-23	Incon: 0,10									

Resim 3.8. AP kriteri temelinde İKM



Resim 3.9. AP temelinde alternatif ağırlıkları

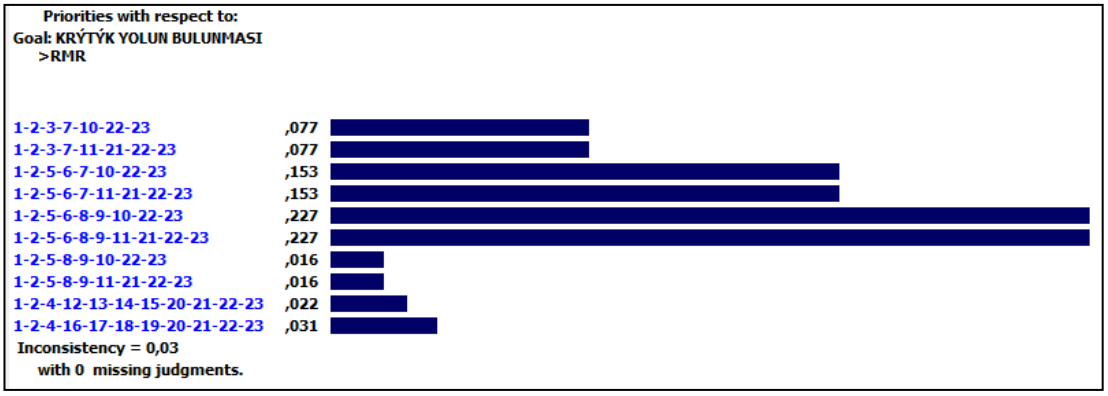
Kriter 5 temelinde alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan ikili karşılaştırma matrisi ve bulunan ağırlıklar aşağıdaki gibidir:



Compare the relative preference with respect to: RMR

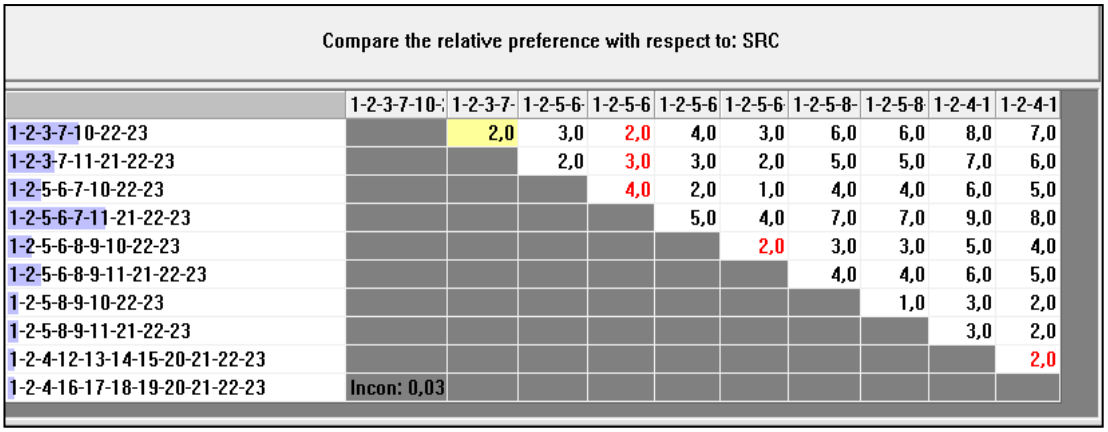
	1-2-3-7-10-;	1-2-3-7-	1-2-5-6	1-2-5-6	1-2-5-6	1-2-5-6	1-2-5-8-	1-2-5-8	1-2-4-1	1-2-4-1
1-2-3-7-10-22-23		1,0	3,0	3,0	4,0	4,0	6,0	6,0	5,0	4,0
1-2-3-7-11-21-22-23			3,0	3,0	4,0	4,0	6,0	6,0	5,0	4,0
1-2-5-6-7-10-22-23				1,0	2,0	2,0	8,0	8,0	7,0	6,0
1-2-5-6-7-11-21-22-23					2,0	2,0	8,0	8,0	7,0	6,0
1-2-5-6-8-9-10-22-23						1,0	9,0	9,0	8,0	7,0
1-2-5-6-8-9-11-21-22-23							9,0	9,0	8,0	7,0
1-2-5-8-9-10-22-23								1,0	2,0	3,0
1-2-5-8-9-11-21-22-23									2,0	3,0
1-2-4-12-13-14-15-20-21-22-23										2,0
1-2-4-16-17-18-19-20-21-22-23	Incon: 0,03									

Resim 3.10. RMR kriteri temelinde İKM



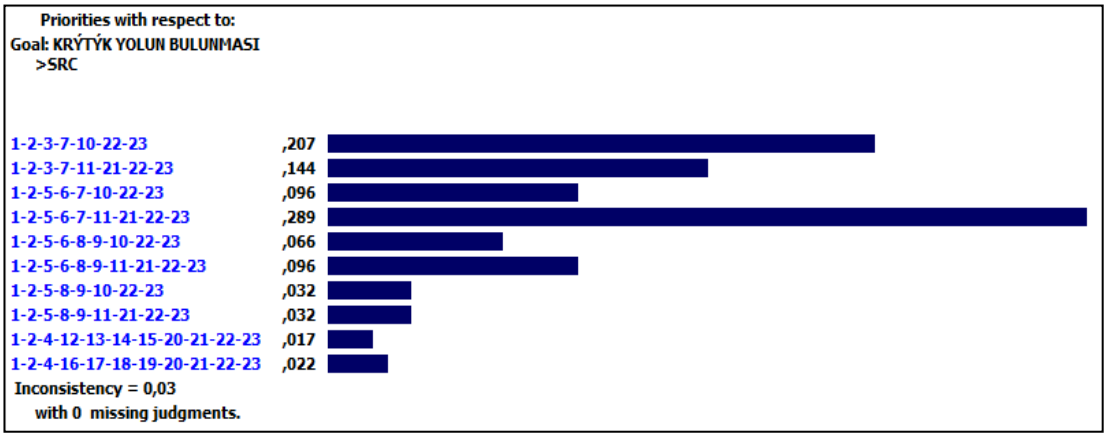
Resim 3.11. RMR temelinde alternatif ağırlıkları

Kriter 6 temelinde alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan ikili karşılaştırma matrisi ve bulunan ağırlıklar aşağıdaki gibidir:



	1-2-3-7-10-:	1-2-3-7-	1-2-5-6-	1-2-5-6	1-2-5-6	1-2-5-6	1-2-5-8-	1-2-5-8	1-2-4-1	1-2-4-1
1-2-3-7-10-22-23		2,0	3,0	2,0	4,0	3,0	6,0	6,0	8,0	7,0
1-2-3-7-11-21-22-23			2,0	3,0	3,0	2,0	5,0	5,0	7,0	6,0
1-2-5-6-7-10-22-23				4,0	2,0	1,0	4,0	4,0	6,0	5,0
1-2-5-6-7-11-21-22-23					5,0	4,0	7,0	7,0	9,0	8,0
1-2-5-6-8-9-10-22-23						2,0	3,0	3,0	5,0	4,0
1-2-5-6-8-9-11-21-22-23							4,0	4,0	6,0	5,0
1-2-5-8-9-10-22-23								1,0	3,0	2,0
1-2-5-8-9-11-21-22-23									3,0	2,0
1-2-4-12-13-14-15-20-21-22-23										2,0
1-2-4-16-17-18-19-20-21-22-23	Incon: 0,03									

Resim 3.12. SRC kriteri temelinde İKM



Resim 3.13. SRC temelinde alternatif ağırlıkları

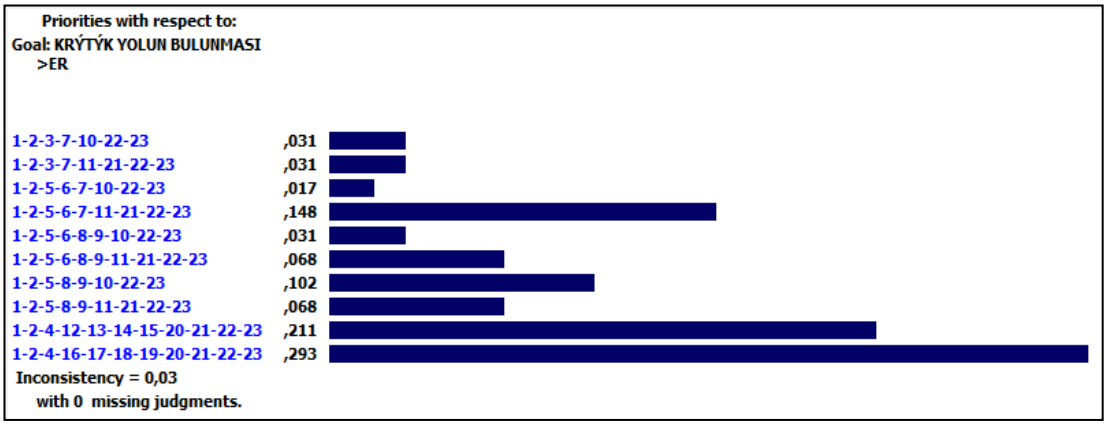
Kriter 7 temelinde alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan ikili karşılaştırma matrisi ve bulunan ağırlıklar aşağıdaki gibidir:

Compare the relative preference with respect to: ER

	1-2-3-7-10-;	1-2-3-7-	1-2-5-6-	1-2-5-6	1-2-5-6	1-2-5-6	1-2-5-8-	1-2-5-8	1-2-4-1	1-2-4-1
1-2-3-7-10-22-23		1,0	3,0	5,0	1,0	3,0	4,0	3,0	6,0	7,0
1-2-3-7-11-21-22-23			3,0	5,0	1,0	3,0	4,0	3,0	6,0	7,0
1-2-5-6-7-10-22-23				7,0	3,0	5,0	6,0	5,0	8,0	9,0
1-2-5-6-7-11-21-22-23					5,0	3,0	2,0	3,0	2,0	3,0
1-2-5-6-8-9-10-22-23						3,0	4,0	3,0	6,0	7,0
1-2-5-6-8-9-11-21-22-23							2,0	1,0	4,0	5,0
1-2-5-8-9-10-22-23								2,0	3,0	4,0
1-2-5-8-9-11-21-22-23									4,0	5,0
1-2-4-12-13-14-15-20-21-22-23										2,0
1-2-4-16-17-18-19-20-21-22-23	Incon: 0,03									

Resim 3.14. ER kriteri temelinde İKM

Priorities with respect to:
Goal: KRÝTÝK YOLUN BULUNMASI
>ER



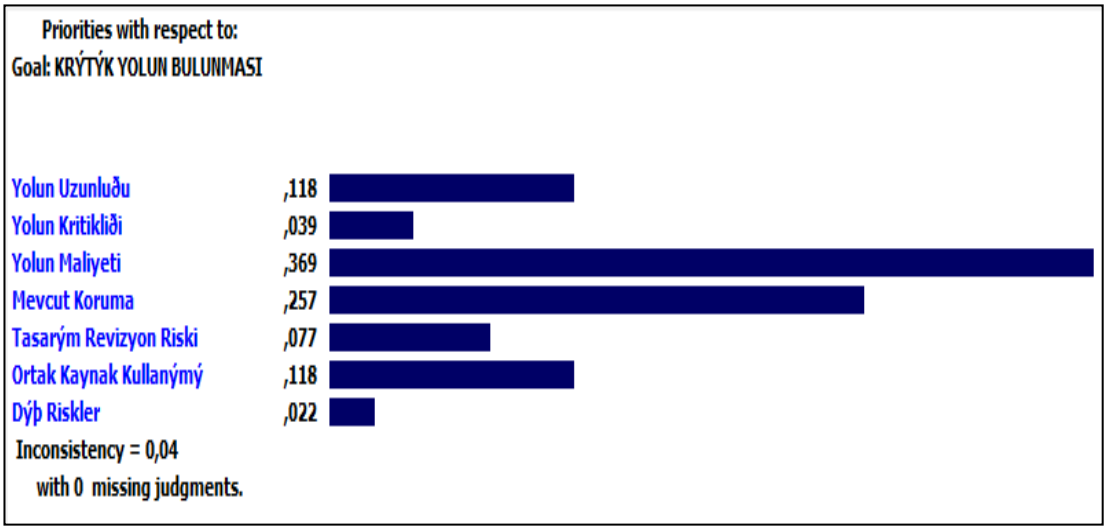
Resim 3.15. ER temelinde alternatif ağırlıkları

Ele alınan 7 adet kriter temelinde tüm alternatif yollar değerlendirilerek ağırlıklar bulunduktan sonra kriterlerle kriterler kendi aralarında değerlendirilmiştir. Önem derecelendirme ölçeğine göre oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi oluşturularak aşağıdaki gibi programa girişi yapılmıştır ve sonuç olarak kriter ağırlıkları bulunmuştur.

Compare the relative importance with respect to: Goal: KRİTİK YOLUN BULUNMASI

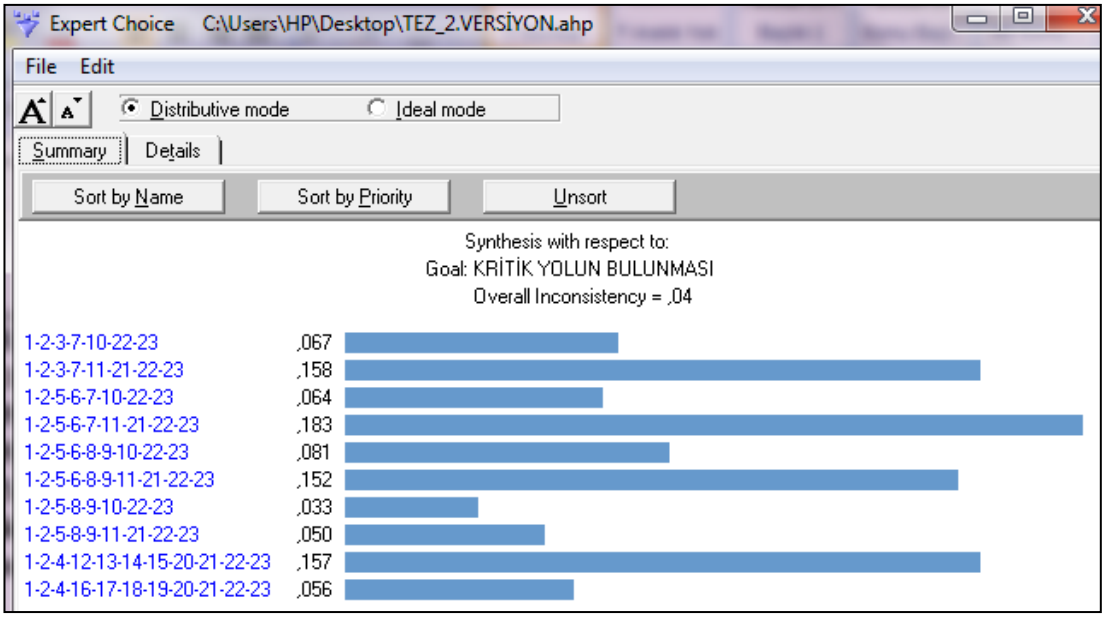
	Yolun Uzu	Yolun K	Yolun K	Mevcu	Tasarı	Ortak K	Dış Ris
Yolun Uzunluğu		4,0	4,0	3,0	2,0	1,0	6,0
Yolun Kritikliği			7,0	6,0	3,0	4,0	3,0
Yolun Maliyeti				2,0	5,0	4,0	9,0
Mevcut Koruma					4,0	3,0	8,0
Tasarım Revizyon Riski						2,0	5,0
Ortak Kaynak Kullanımı							6,0
Dış Riskler	Incon: 0,04						

Resim 3.16. Kriterlere ait İKM

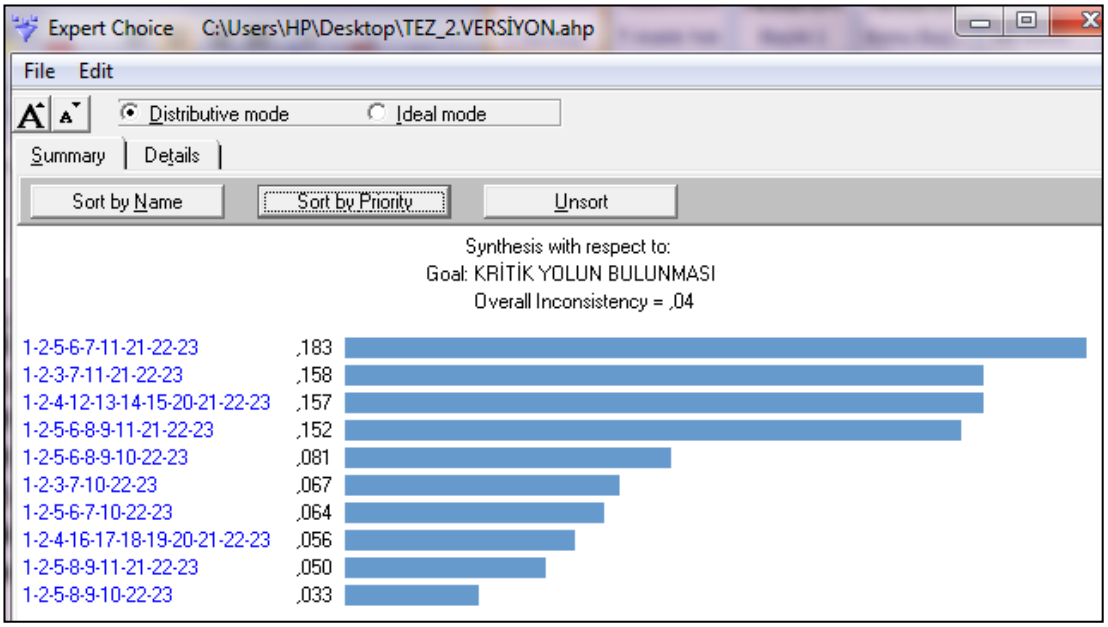


Resim 3.17. Kriter Ağırlıkları

Oluşturulan tüm ikili karşılaştırma matrisleri yardımıyla alternatifler kriterler temelinde tek tek değerlendirilmiştir. Sonuç olarak kritik yolun belirlenmesi için alternatiflere ait ağırlıklar bulunmuştur. Alternatiflere (yollar) ait ağırlıklar verilen yol sırasına göre Resim 3.18'de; ağırlıkların sırasına göre Resim 3.19'da verilmiştir.



Resim 3.18. Alternatiflere ait ağırlıklar



Resim 3.19. Alternatiflere ait ağırlıkların sıralanmış şekli

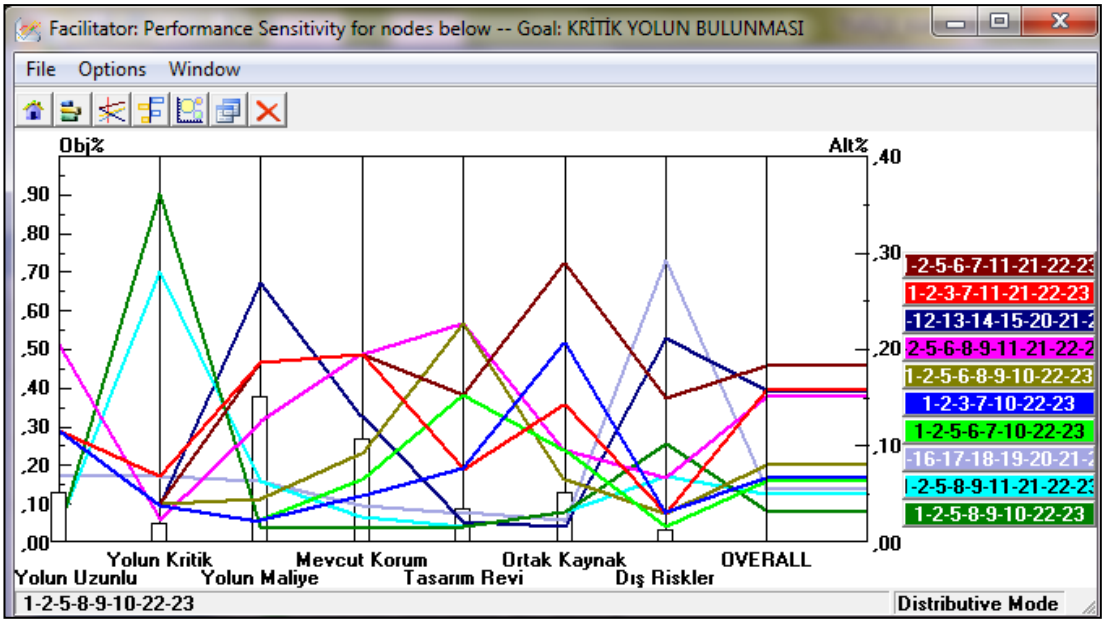
Ağırlıkları büyükten küçüğe doğru sıraladığı Resim 3.19 incelendiğinde, 4.yolun (1-2-5-6-7-11-21-22-23) en yüksek ağırlığa sahip olan yol olduğunu, 7.yolun (1-2-5-8-9-10-22-23) ise en düşük ağırlığa sahip yol olduğu görülmektedir.

2009 yılında Francecso A. Zammori ve ark. tarafından yapılan çalışmada TOPSIS yöntemi ile bulunan sonuçta 7.yolun (1-2-5-8-9-10-22-23) en yüksek ağırlığa sahip yol olduğu, 5.yolun (1-2-5-6-8-9-10-22-23) ise en düşük ağırlığa sahip olan yol olduğu görülmektedir.

Çalışmanın ilerleyen kısımlarında kriterlerdeki küçük bir değişikliğin alternatifleri nasıl etkilediğini daha iyi analiz etmek adına yapılan duyarlılık analizleri yer almaktadır. Expert Choice programı yardımıyla yapılan farklı duyarlılık analizleri yer almaktadır.

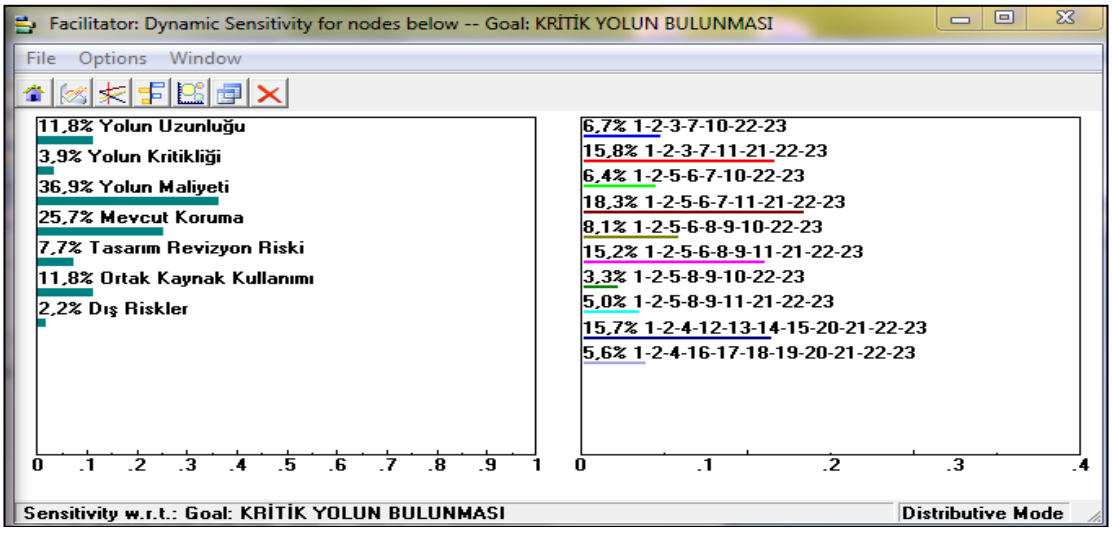
3.2.4. Duyarlılık analizleri

Performans Duyarlılığı: Yollar farklı kriterlerde farklı performans değerlerine sahiptirler. Aynı kriterde bile alternatiflerin performansları değişiklik arz etmektedir. Alternatiflerin kriterlerden nasıl etkilendiği aşağıdaki göreceli önem grafiğinde belirgin bir şekilde gözlemlenmektedir. Bir alternatif yol kriter 1'den çok fazla etkilenirken başka bir alternatif yol kriter 6'dan çok fazla etkilenebilmektedir.



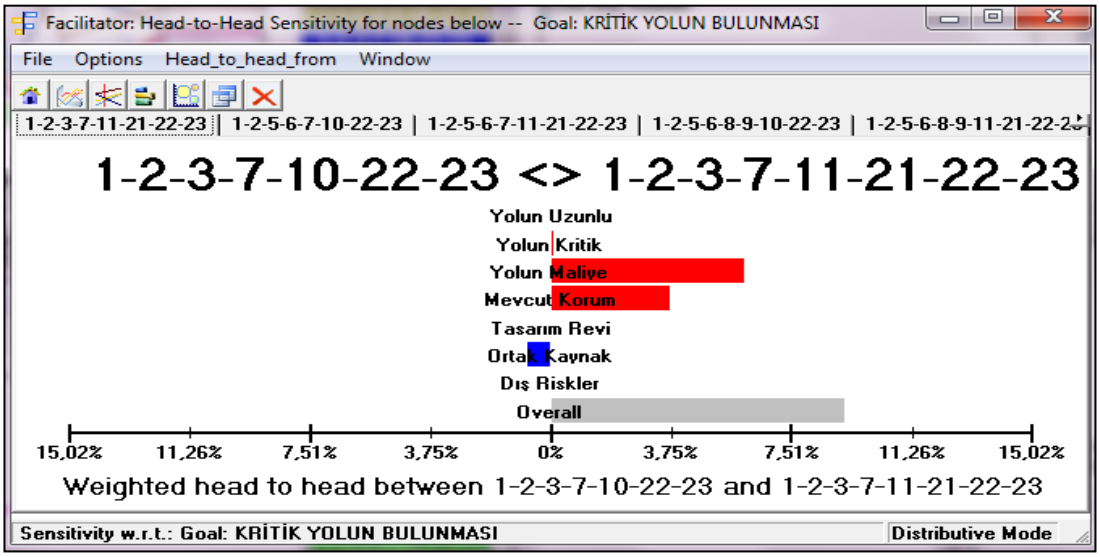
Resim 3.20. Alternatif-Göreceli Önem Grafiği

Dinamik duyarlılık: Kritik yolun bulunmasında dikkate alınan kriterlere ait ağırlıkların yollar üzerindeki etkileri incelenmiştir. İlk grafikte kriterlere ait ağırlıklar, diğer grafikte ise yolların etkilenme oranları yer almaktadır.



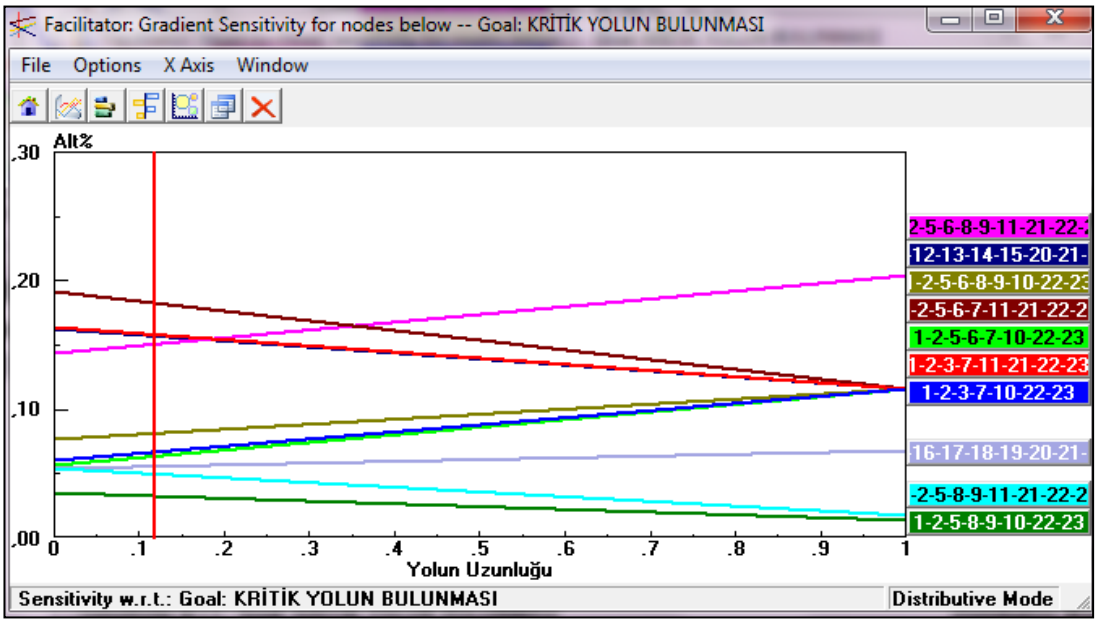
Resim 3.21. Dinamik duyarlılık analizi

Başa baş Analizi: Yollar arasında yapılan değerlendirmede ağırlıkların başa baş analizleri ile duyarlılıkları değerlendirilmiş, karşılaştırılan iki yol arasında hangi kriterde baskın oldukları grafiklendirilmiştir.



Resim 3.22. Başabaş analizi

Gradient Duyarlılık: Herhangi bir kriter temelinde ağırlıklardaki değişmenin etkilerini keskin olarak gösteren grafik aşağıdaki gibidir.



Resim 3.23. Gradient duyarlılık analizi

3.3. PROMETHEE Uygulaması

Zammori ve ark. tarafından yapılan çalışmada TOPSIS ile bulunan kritik yol ile AHP ile bulunan kritik yol sonuçları birbirinden farklı olduğu için farklı ÇKKV teknikleriyle çözüm aranmaya devam edilmiştir. Bu nedenle, literatürde pek çok uygulaması olan, başarılı sonuçlar veren, etkin bir sıralama yöntemi olan PROMETHEE yöntemi uygulanmıştır.

3.3.1. Uygulama

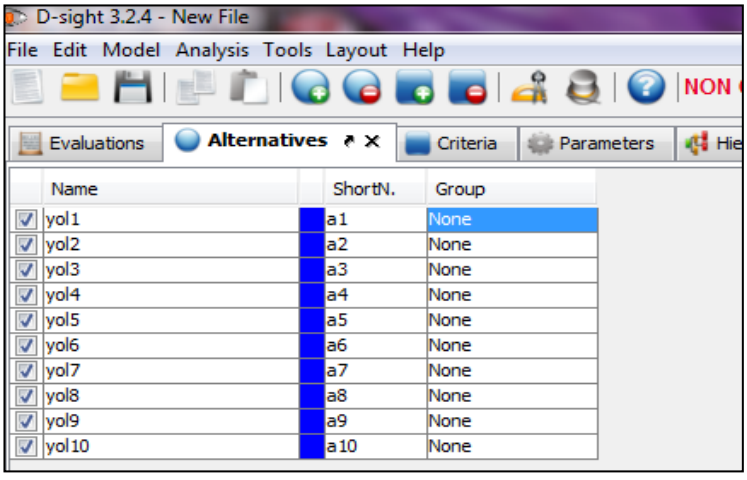
Alternatiflerin birbirlerine olan üstünlüklerine göre belirlenen ve önem skalasından yararlanılarak oluşturulan göre matris değerleri aşağıdaki gibidir. Ayrıca kriterin amacı, kriterler için tercih fonksiyonlarından hangisinin seçildiği ve belirlenen parametre değerleri Çizelge 3.9'da yer almaktadır.

Çizelge 3.9. Başlangıç Verileri

Kriter		ALTERNATİF										Max/ Min	Kriter Tipi	Parametre
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10			
K1	PL	7	8	8	8	8	9	1	1	8	7	max	2	l=6
K2	PCr	2	4	2	2	2	1	9	9	2	2	min	2	l=3
K3	PCr	2	8	2	8	4	7	1	5	9	5	max	5	s=1, r=5
K4	AP	6	8	6	9	7	8	1	2	7	1	min	4	q=1, p=6
K5	RMR	6	7	8	8	9	9	1	2	3	4	max	6	σ=1
K6	SRC	8	8	7	9	6	7	3	3	1	2	max	4	q=1, p=5
K7	ER	3	3	1	7	3	2	7	5	8	9	max	6	σ=1

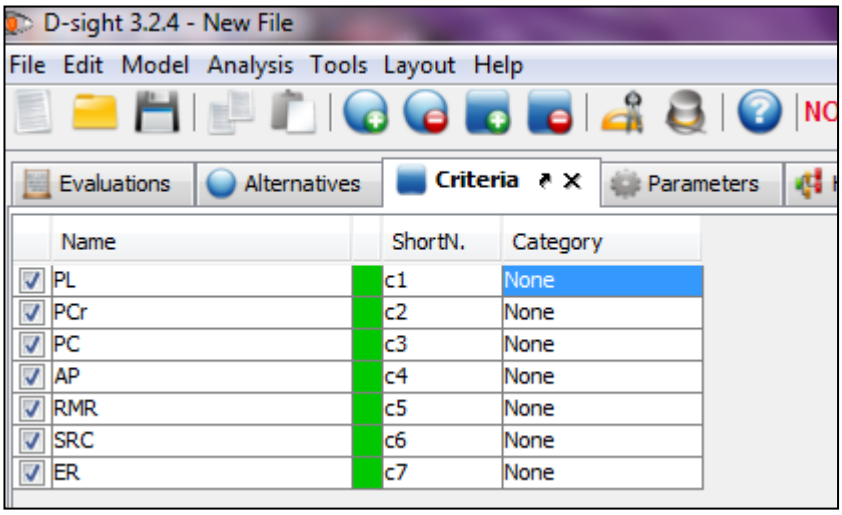
PROMETHEE yöntemini çözüme ulaştıran farklı yazılımlar vardır. Bu çalışmada ele alınan problemin PROMETHEE yöntemi ile çözümü yapılırken Decision Sight programının D-sight 3.2.4 versiyonu kullanılmıştır. Programın çözüm zamanı oldukça kısadır ve çok farklı analizleri yapabilme kapasitesine sahiptir.

Çözüm aşamasında uygulanan işlemler ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. İlk etapta verilerin programa girişleri yapılmıştır. Birinci olarak alternatifler D-sight programına tanımlanmıştır. Ekran çıktısı Resim 3.24'te verilmiştir.



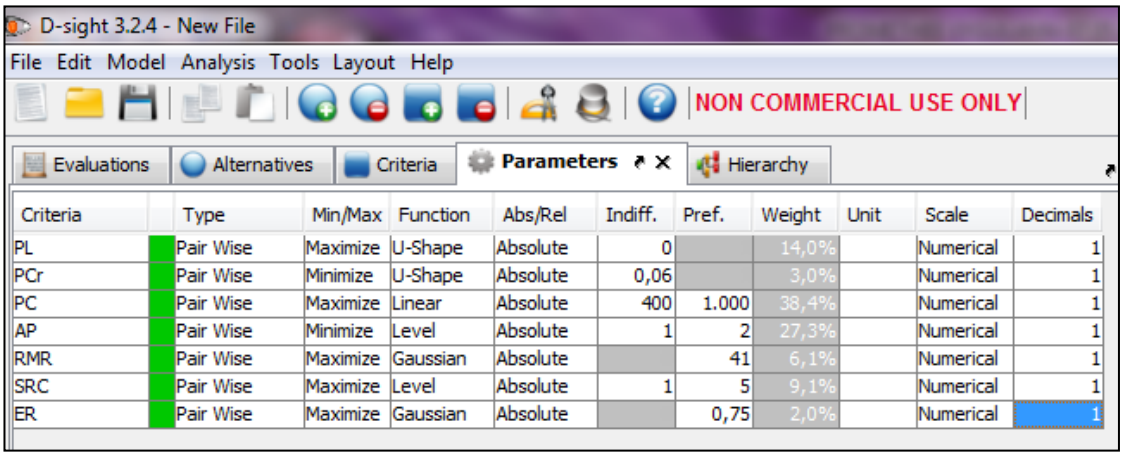
Resim 3.24. Alternatifler

İkinci olarak kriterler D-sight programına tanımlanmıştır. Ekran çıktısı aşağıda yer almaktadır.



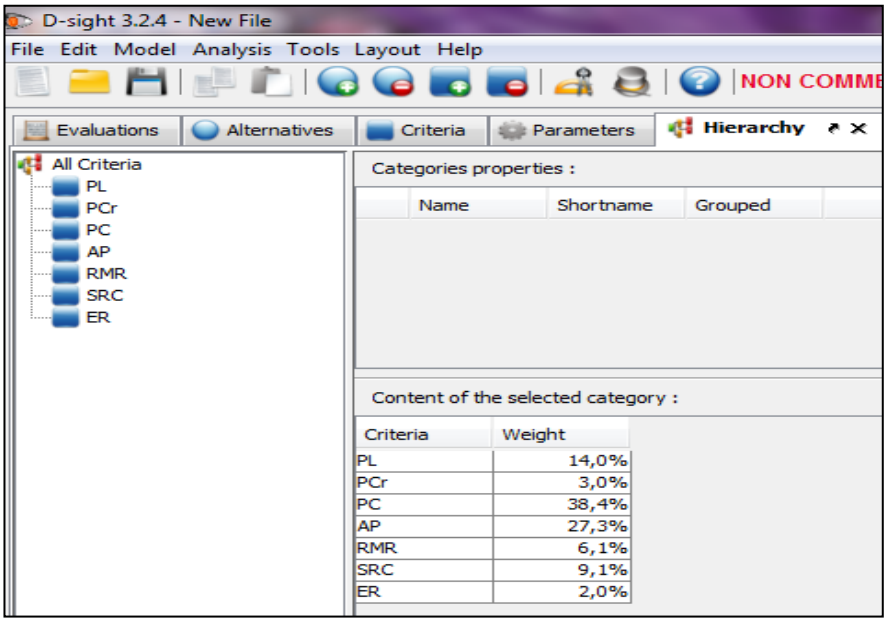
Resim 3.25. Kriterler

Alternatif ve kriterlerin tanımlanmasının ardından önceden belirlenmiş olan tercih fonksiyonlarının parametrelerinin aldıkları değerler programa girilmiştir. Resim 3.26'da ekran çıktısı gösterilmiştir.



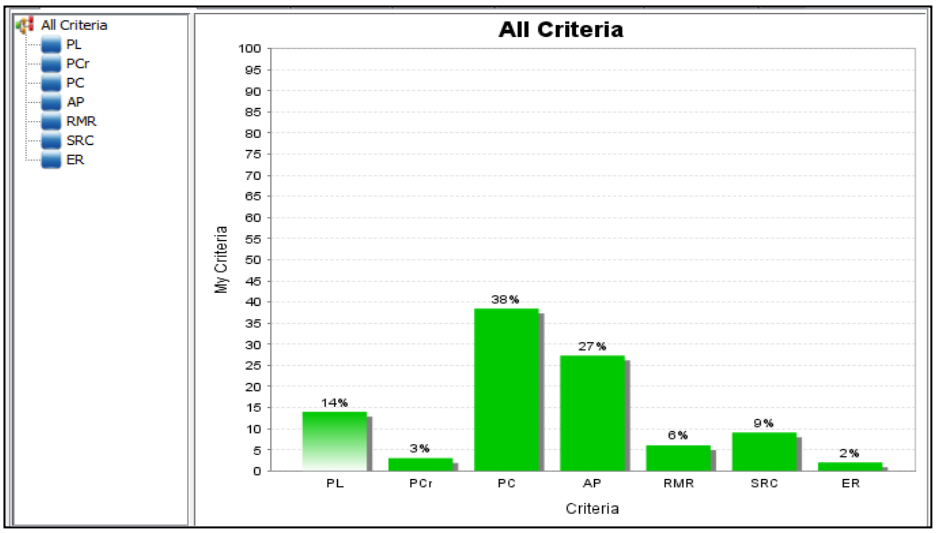
Resim 3.26. Parametreler

Kriterlerin ağırlıkları AHP yöntemi kullanılarak Expert Choice programı yardımıyla daha önce bulunmuştur. Elde edilen kriterlerin ağırlıkları PROMETHEE yöntemine çözüm arayan D-sight programında kullanılmıştır.



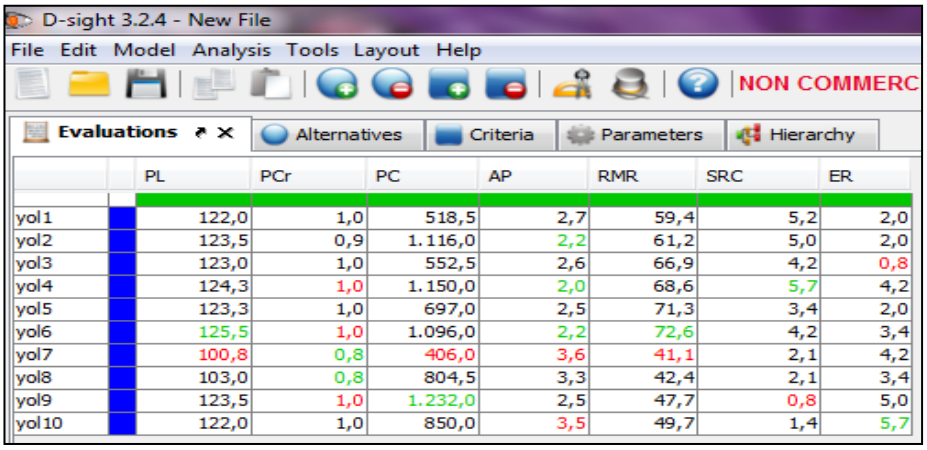
Resim 3.27. Kriter Ağırlıkları

AHP yönteminin kullanılmasıyla elde edilen kriterlere ait ağırlıkların grafiksel olarak gösterimi aşağıda yer almaktadır.



Resim 3.28. Kriter Ağırlıklarının Grafiksel Gösterimi

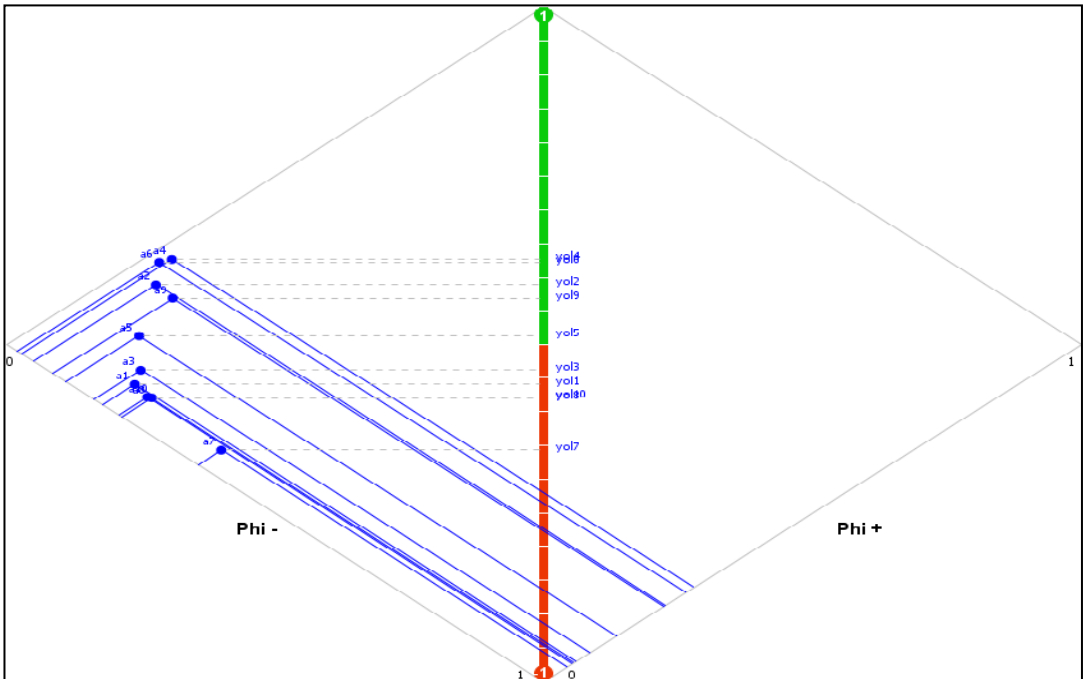
Zammori ve ark. tarafından yapılan çalışmada elde edilen alternatiflerin kriterlere göre aldıkları bulanık değerlerin durulaştırılmasıyla elde edilen net sayılar aşağıda görüldüğü üzere programa başlangıç verileri olarak girilmiştir.



	PL	PCr	PC	AP	RMR	SRC	ER
yol1	122,0	1,0	518,5	2,7	59,4	5,2	2,0
yol2	123,5	0,9	1.116,0	2,2	61,2	5,0	2,0
yol3	123,0	1,0	552,5	2,6	66,9	4,2	0,8
yol4	124,3	1,0	1.150,0	2,0	68,6	5,7	4,2
yol5	123,3	1,0	697,0	2,5	71,3	3,4	2,0
yol6	125,5	1,0	1.096,0	2,2	72,6	4,2	3,4
yol7	100,8	0,8	406,0	3,6	41,1	2,1	4,2
yol8	103,0	0,8	804,5	3,3	42,4	2,1	3,4
yol9	123,5	1,0	1.232,0	2,5	47,7	0,8	5,0
yol10	122,0	1,0	850,0	3,5	49,7	1,4	5,7

Resim 3.29. Başlangıç Verileri

D-sight programı girilen veriler doğrultusunda çalıştırıldığında pek çok analiz yapar. Promethee-1 çalıştırıldığında elde edilen sonuç Resim 3.30'da gösterilmiştir.



Resim 3.30. Promethee-1 Grafiği

3.3.2. Uygulama sonuçları

Programa tanımlanana veriler doğrultusunda Decision sight programı çalıştırıldığında elde edilen sonuçlar bu bölümde verilmiştir.

VA | Weights | Scores | Profiles | Stability

Alternative	Rank	Score	Positive Fl...	Negative F...
yol1	7	-0,120	0,060	0,179
yol2	3	0,176	0,227	0,051
yol3	6	-0,078	0,086	0,164
yol4	1	0,251	0,279	0,029
yol5	5	0,024	0,136	0,112
yol6	2	0,242	0,263	0,021
yol7	10	-0,315	0,043	0,357
yol8	9	-0,159	0,056	0,215
yol9	4	0,136	0,223	0,087
yol10	8	-0,157	0,053	0,210

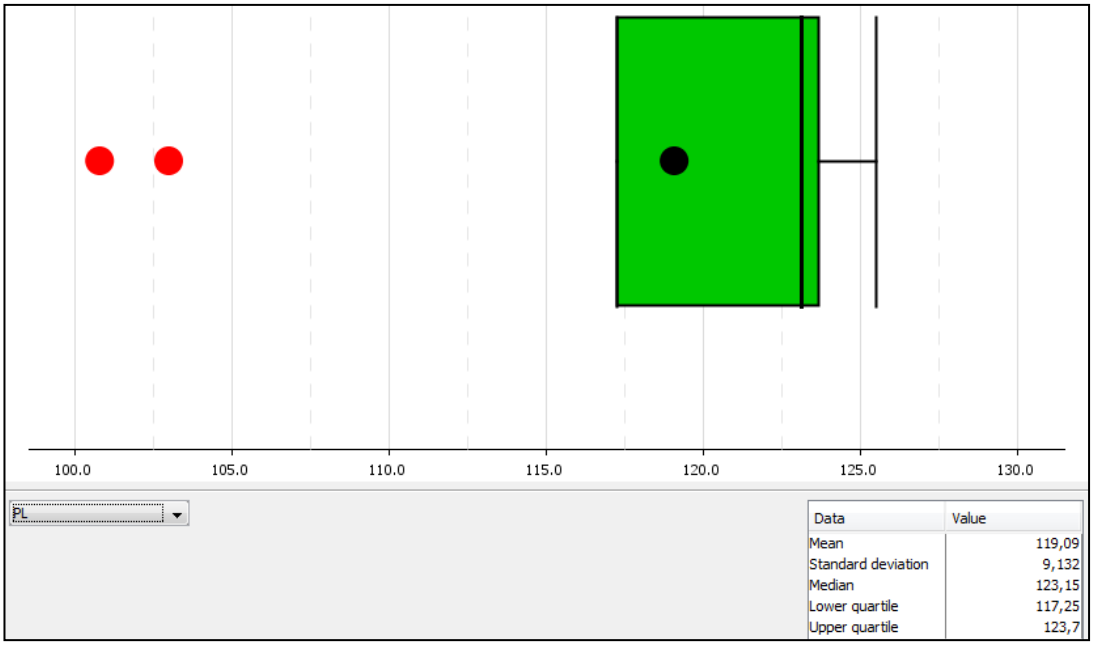
Resim 3.31. Skor Tablosu

es | Stability | U-Score Viewer | All to One | BoxPlot | Thermo | Weights Intervals | Diamond | Preference Degrees | U-Scor

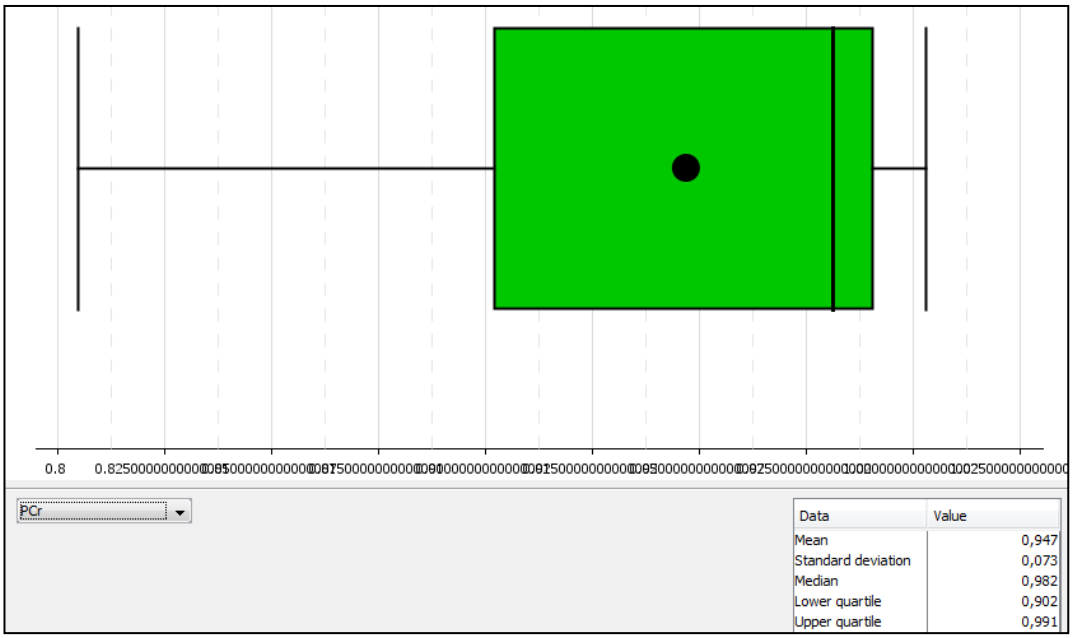
	yol1	yol2	yol3	yol4	yol5	yol6	yol7	yol8	yol9	yol10
yol1	0,000	0,000	0,015	0,000	0,046	0,000	0,191	0,191	0,048	0,047
yol2	0,267	0,000	0,259	0,030	0,198	0,030	0,528	0,328	0,079	0,324
yol3	0,141	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,196	0,195	0,052	0,191
yol4	0,310	0,161	0,332	0,000	0,240	0,054	0,555	0,342	0,193	0,328
yol5	0,142	0,002	0,155	0,000	0,000	0,000	0,337	0,199	0,055	0,330
yol6	0,274	0,160	0,253	0,140	0,158	0,000	0,523	0,337	0,196	0,331
yol7	0,050	0,050	0,051	0,030	0,050	0,038	0,000	0,008	0,076	0,030
yol8	0,048	0,048	0,051	0,030	0,048	0,030	0,140	0,000	0,076	0,030
yol9	0,361	0,020	0,339	0,008	0,247	0,018	0,559	0,176	0,000	0,277
yol10	0,020	0,020	0,020	0,017	0,020	0,020	0,187	0,161	0,007	0,000

Resim 3.32. Tercih Dereceleri Matrisi

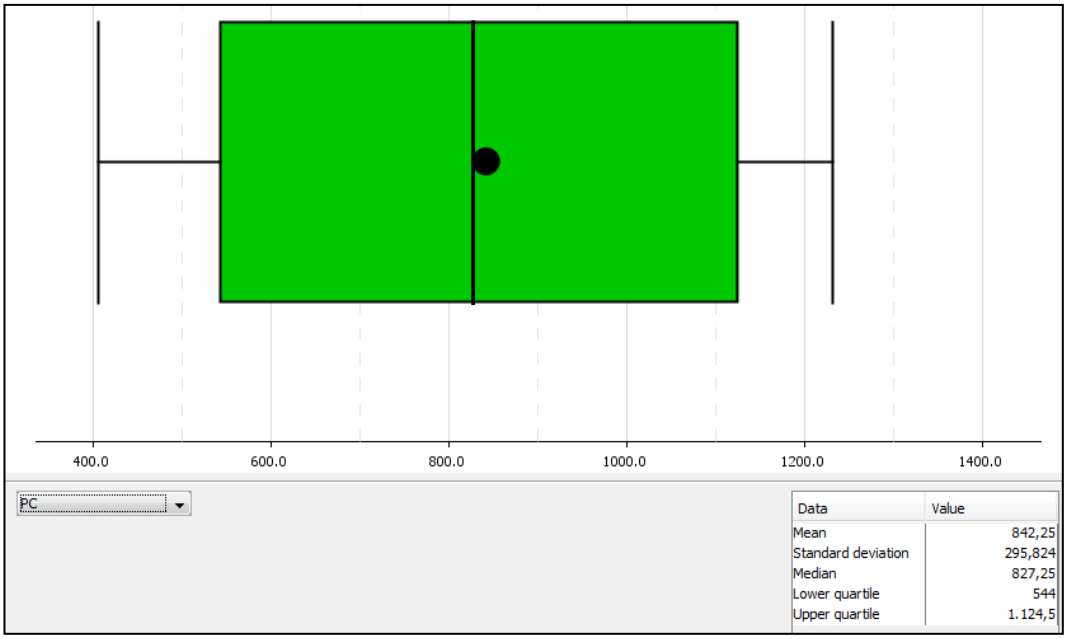
Decision sight programı her kritere ait ortalama, standart sapma, median gibi sonuçları da vermektedir. Aşağıdaki resimlerde bu sonuçlar yer almaktadır.



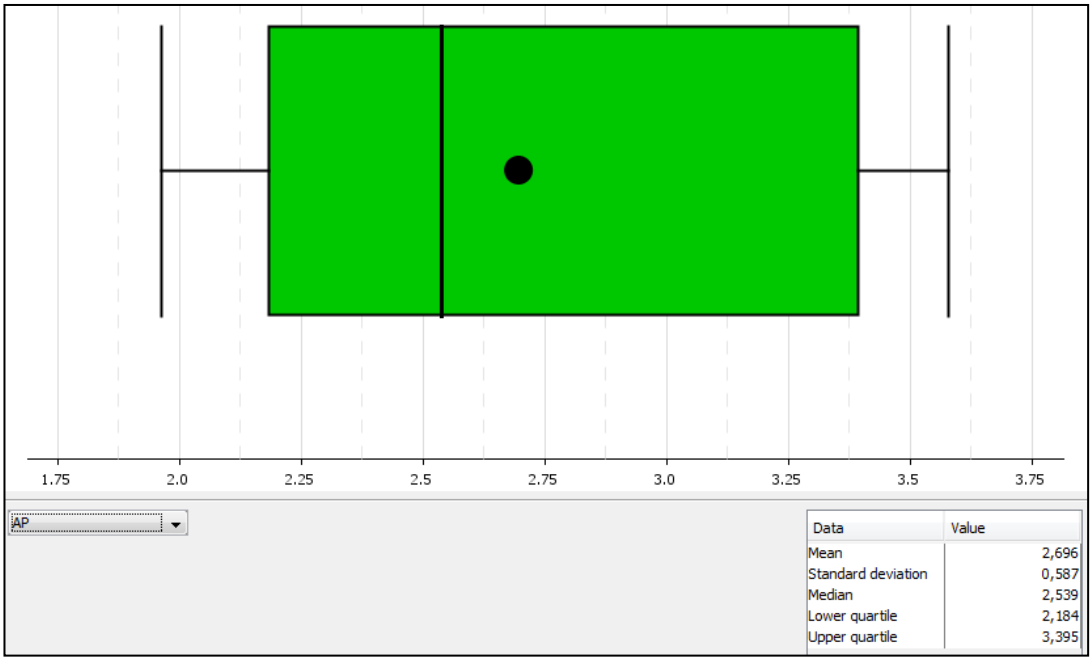
Resim 3.33. Kriter 1'e ait istatistiksel göstergeler



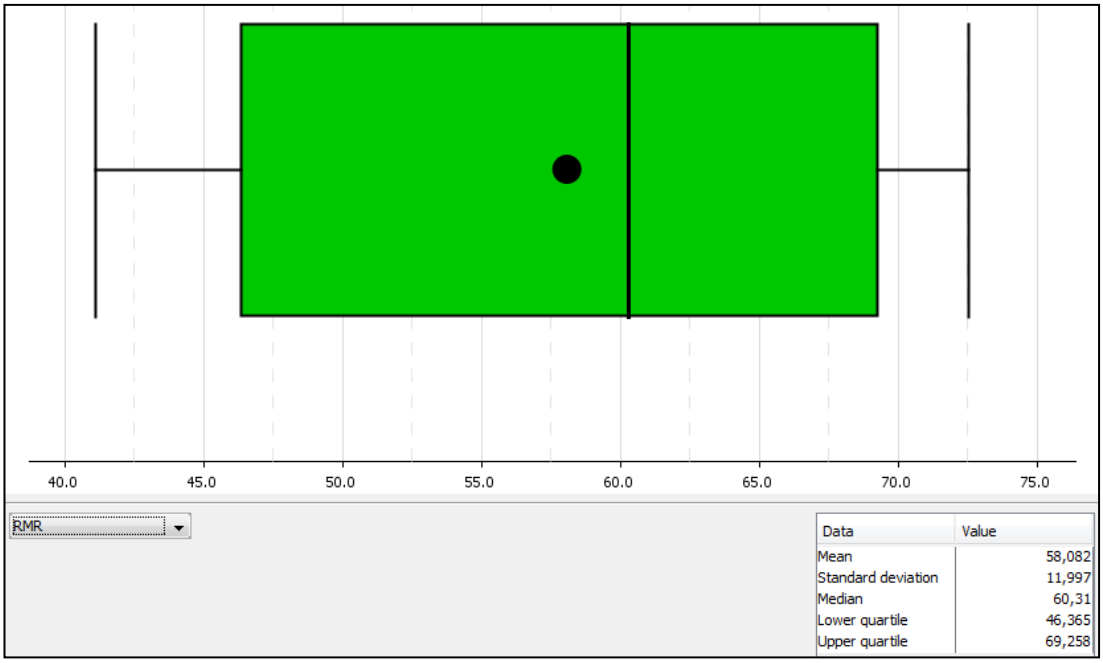
Resim 3.34. Kriter 2'ye ait istatistiksel göstergeler



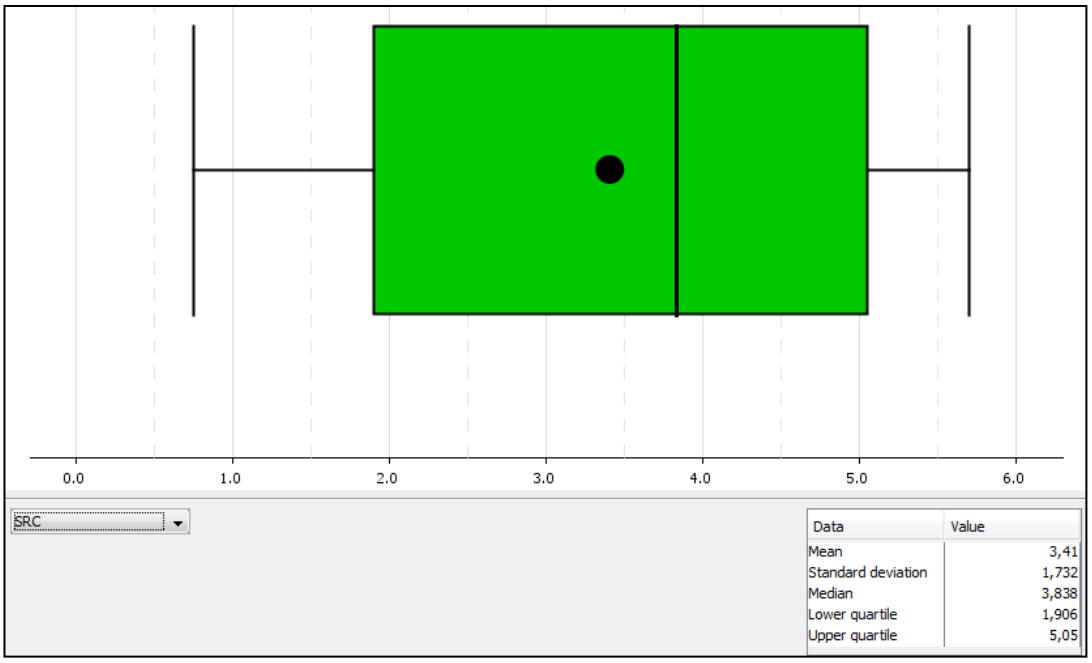
Resim 3.35. Kriter 3'e ait istatistiksel göstergeler



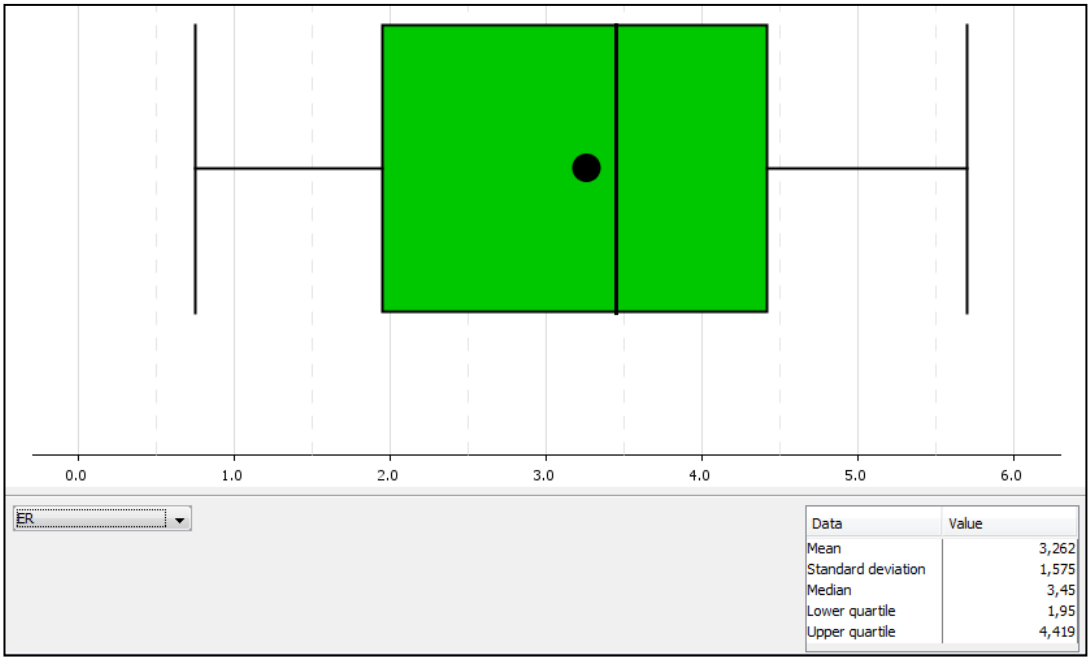
Resim 3.36. Kriter 4'e ait istatistiksel göstergeler



Resim 3.37. Kriter 5'e ait istatistiksel göstergeler

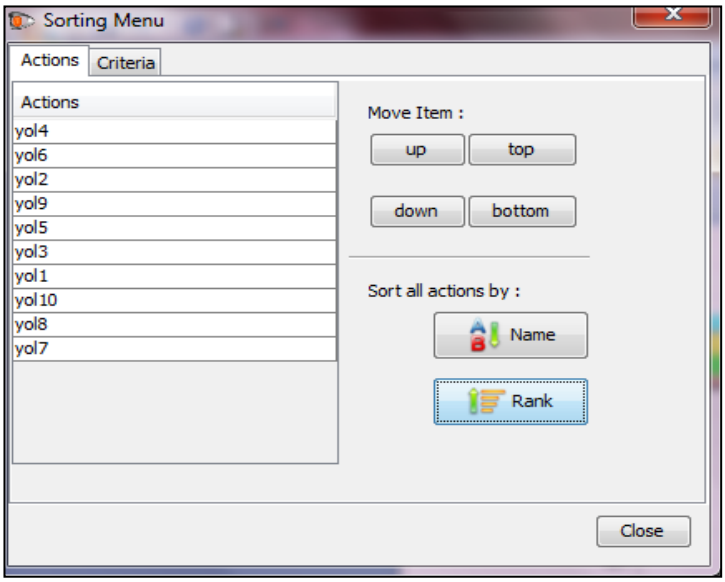


Resim 3.38. Kriter 6'ya ait istatistiksel göstergeler



Resim 3.39. Kriter 7'ye ait istatistiksel göstergeler

Alternatiflerin sıralanmasının grafiksel gösterimine ek olarak karar vericilere çeşitli istatistiksel analizler yapabilme imkanı tanıyan Decision-Sight programında yapılan tüm analiz işlemleri duyarlılık analizi bölümünde ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Sonuç olarak elde edilen alternatiflerin rank sıralamasını şu şekildedir:



Resim 3.40. Sonuç Tablosu

Resim 3.40'da görüldüğü gibi yapılan tam sıralama sonucu en kritik yol yine 4.yol olarak belirlenmiş, diğer alternatifler ise 6.yol-.2yol- 9.yol-5.yol-3.yol-1.yol-10.yol-8.yol-7.yol şeklinde sıralanmıştır.

3.3.3. Duyarlılık analizleri

Stability Intervals: Kriterler arasındaki aralıkların değişme durumunu analiz eder. Kriter ağırlıklarına göre, minimum ve maximum ağırlık aralığı belirlenir.

Stability level : 1

Criteria	Min Weight	Value	Max Weight
PL	0,0%	14,0%	17,2%
PCr	0,0%	3,0%	17,0%
PC	21,7%	38,4%	77,6%
AP	0,0%	27,3%	100,0%
RMR	0,0%	6,1%	27,2%
SRC	5,5%	9,1%	100,0%
ER	0,0%	2,0%	28,9%

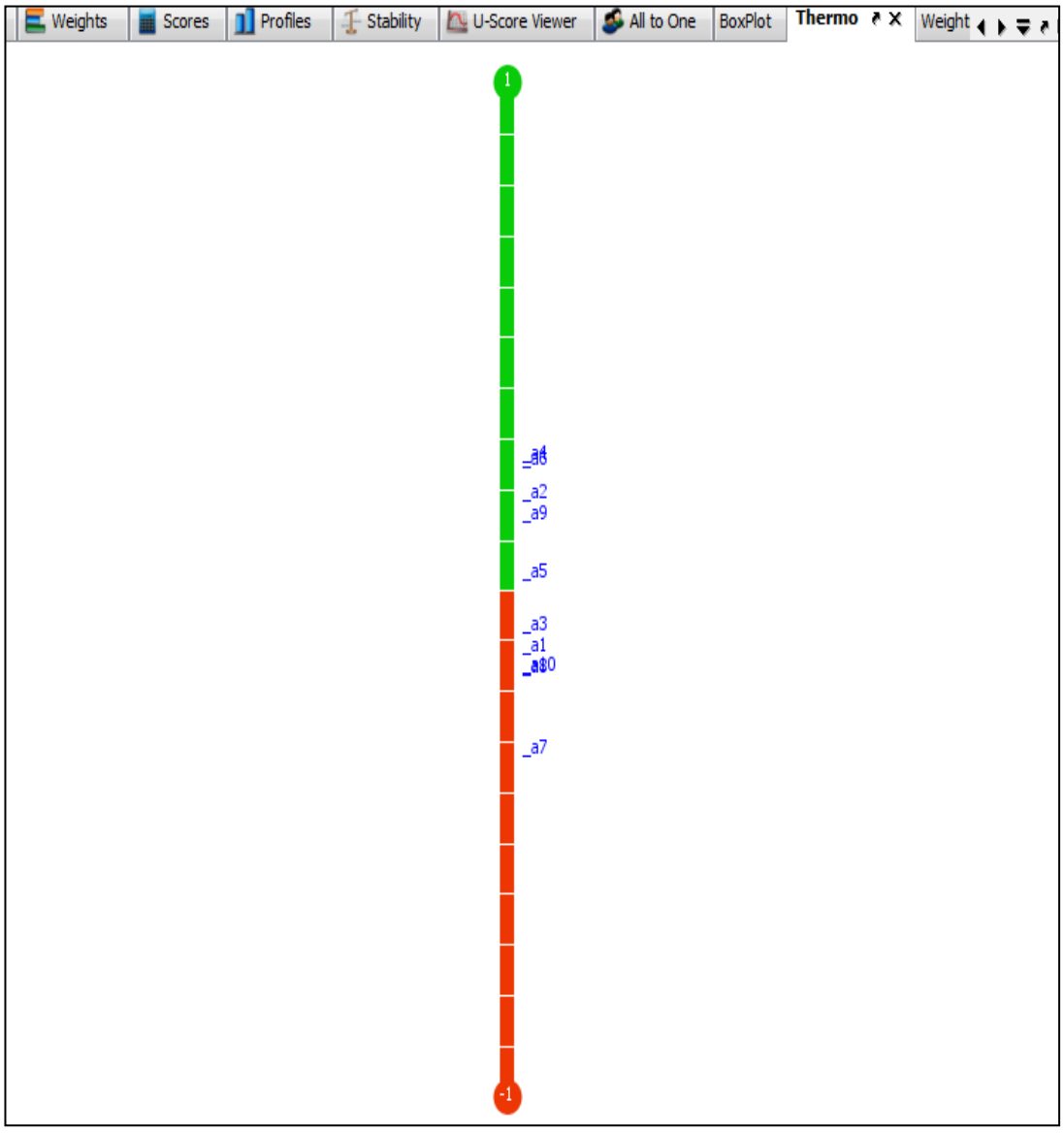
Resim 3.41. Kriter ağırlıkları aralığı

Weigths Uncertainty: Kriterlere ait ağırlıkların belirsizliğini gösteren bu analiz, ağırlıkların alt ve üst sınırlarını belirler.

Criterion	Lower bound	Weight	Upper bound
PL	11,2%	14,0%	16,8%
PCr	2,4%	3,0%	3,6%
PC	30,8%	38,4%	46,1%
AP	21,9%	27,3%	32,8%
RMR	4,9%	6,1%	7,3%
SRC	7,3%	9,1%	10,9%
ER	1,6%	2,0%	2,4%

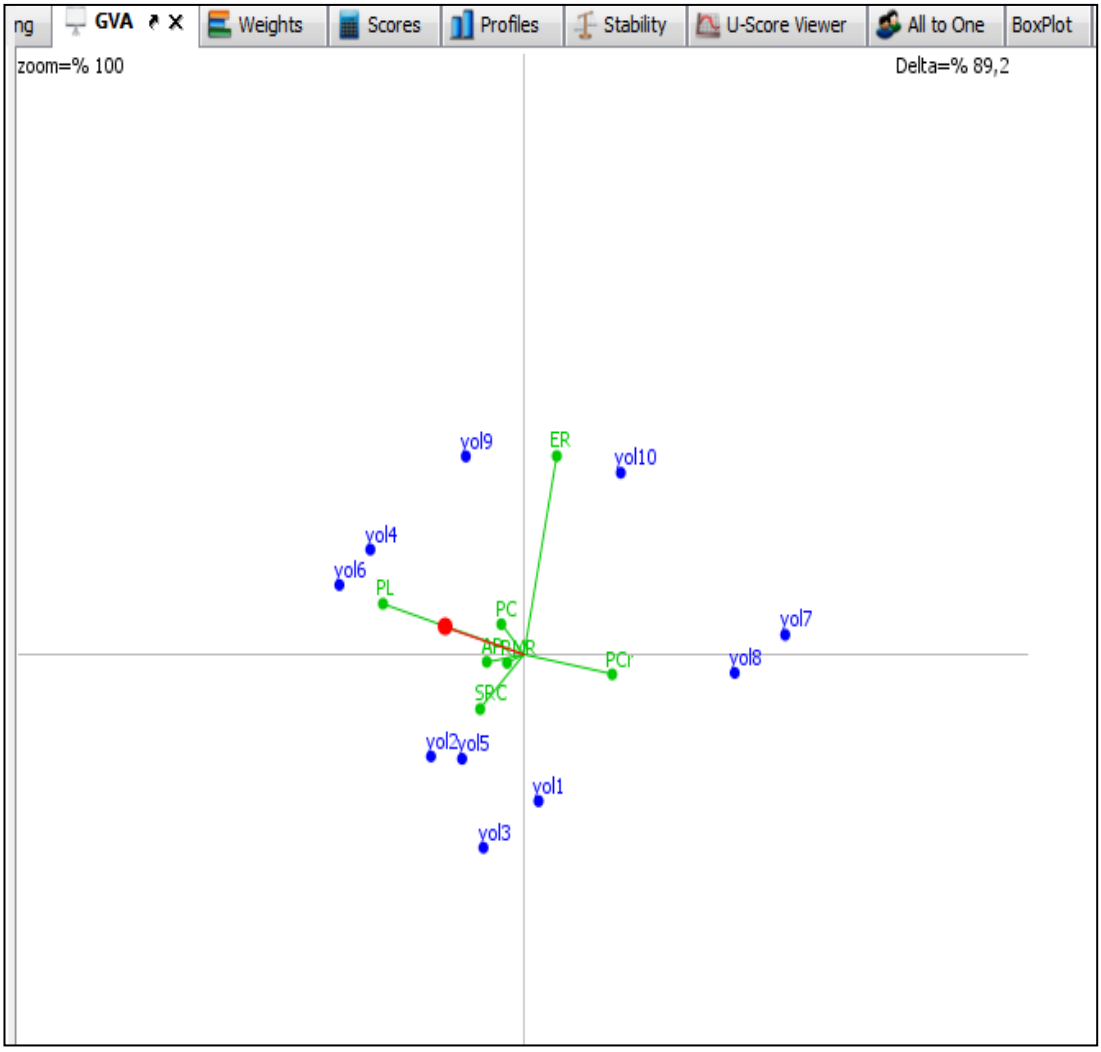
Resim 3.42. Kriter ağırlıkları sınırları

Termo-Grafik: Aşağıda verilen termo-grafik adı verilen grafik program çalıştırıldığında elde edilen grafiklerden bir tanesidir.



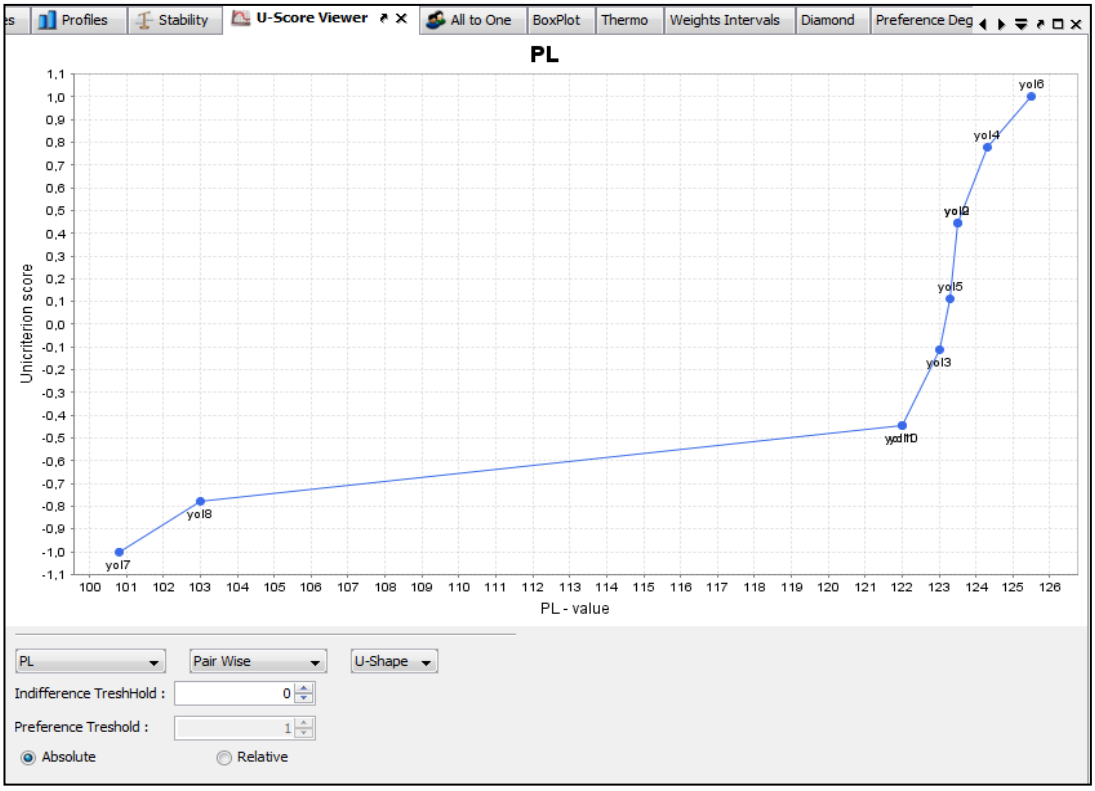
Resim 3.43. Termo-Grafik

Global Visual Analysize: Bu analiz genel olarak yapılan analizin görseli aşağıda yer almaktadır.

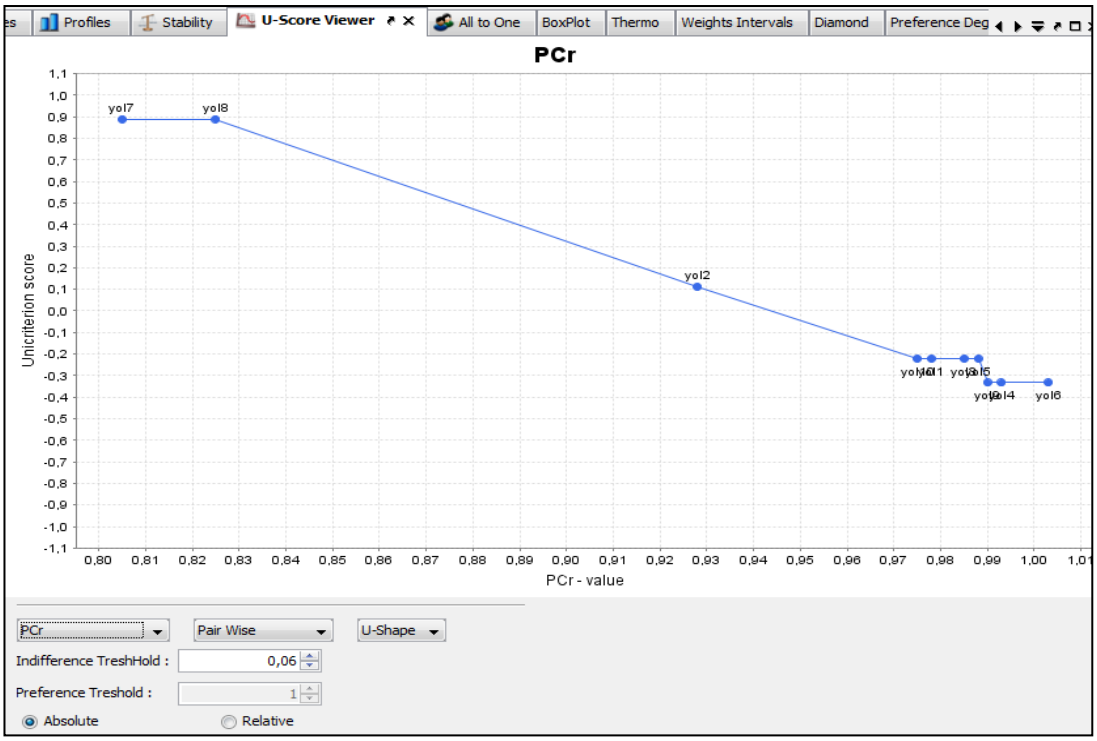


Resim 3.44. Küresel Grafik

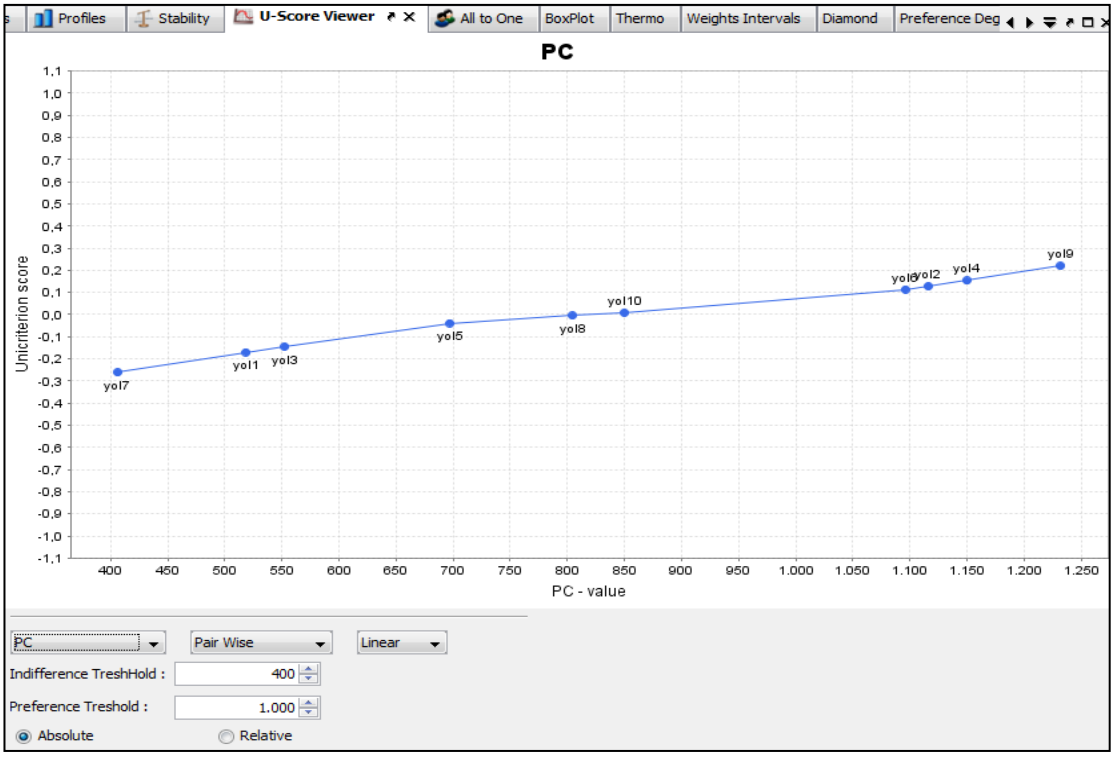
Unicriterion Scores Wiewer: Bu analiz ise kriterlerin tercih fonksiyonlarına göre tek tek alternatiflerden aldıkları puanların grafiksel olarak gösterimini verir.



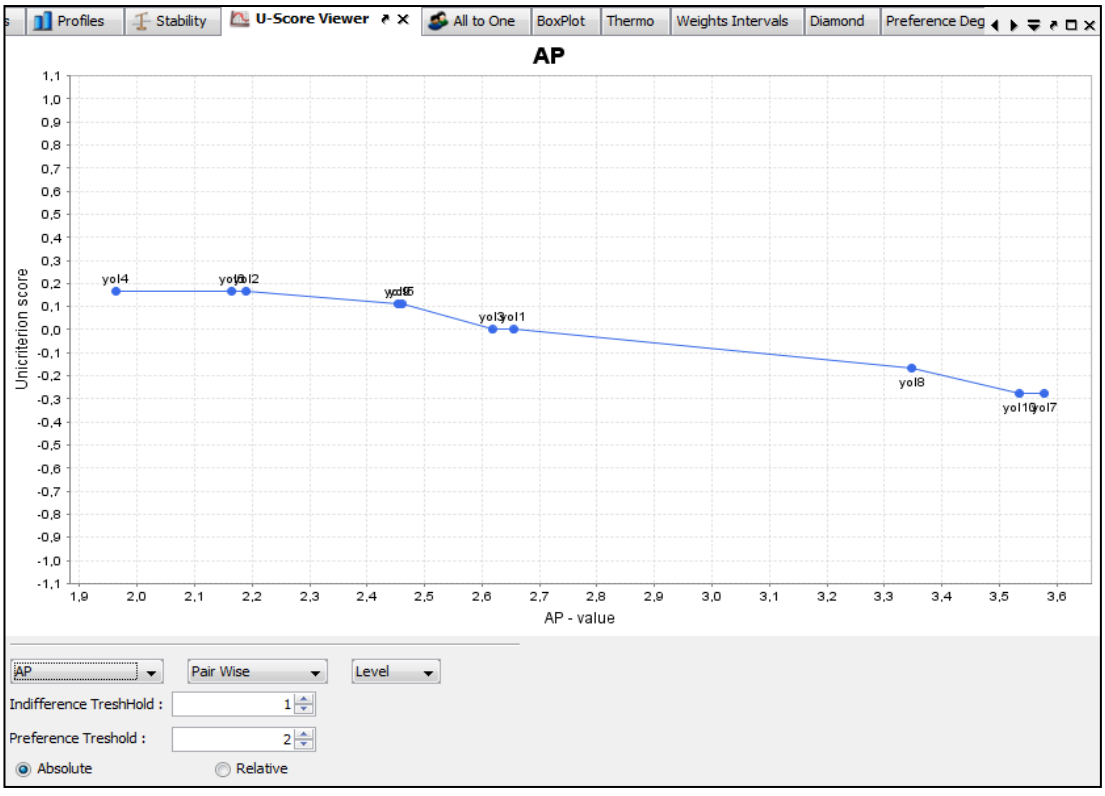
Resim 3.45. Kriter 1 puan grafiği



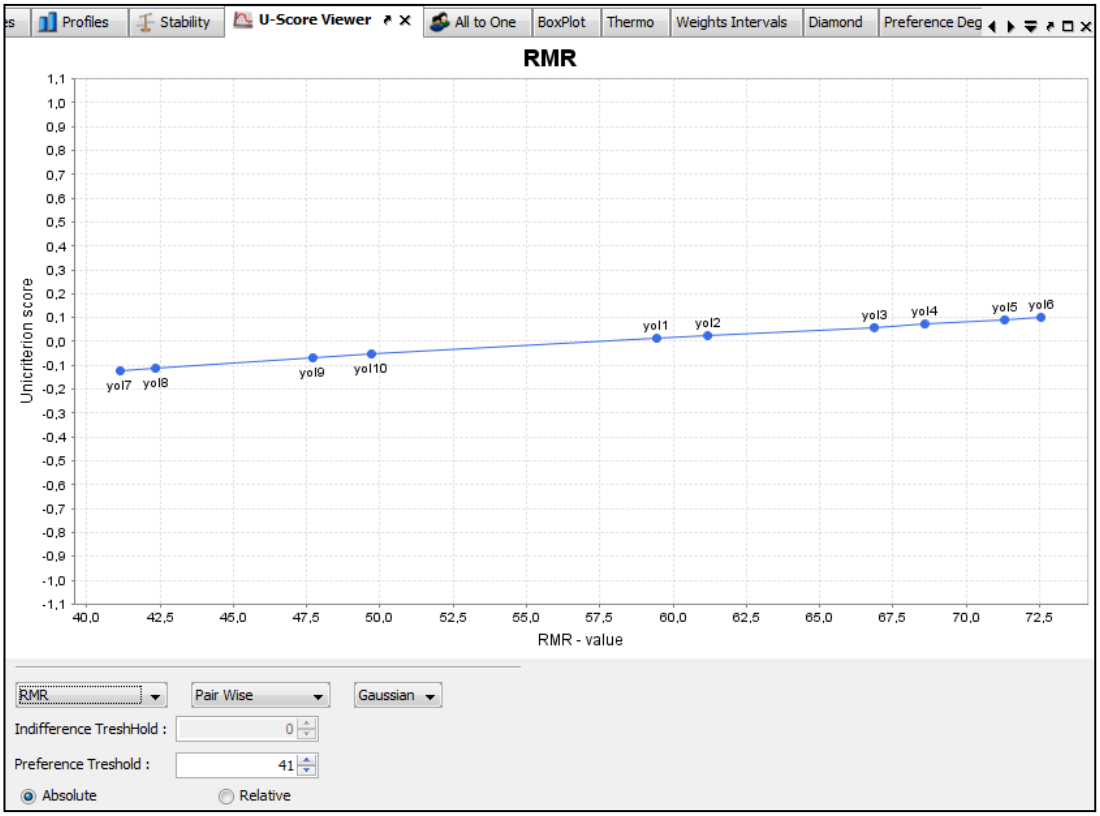
Resim 3.46. Kriter 2 puan grafiği



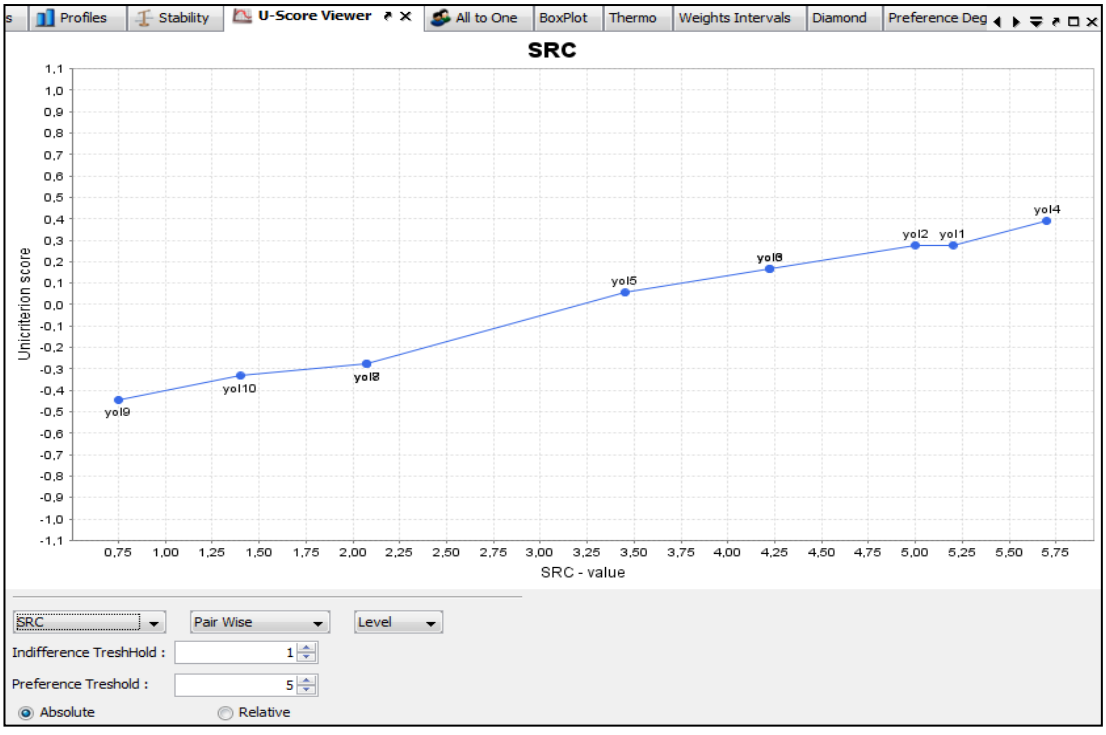
Resim 3.47. Kriter 3 puan grafiği



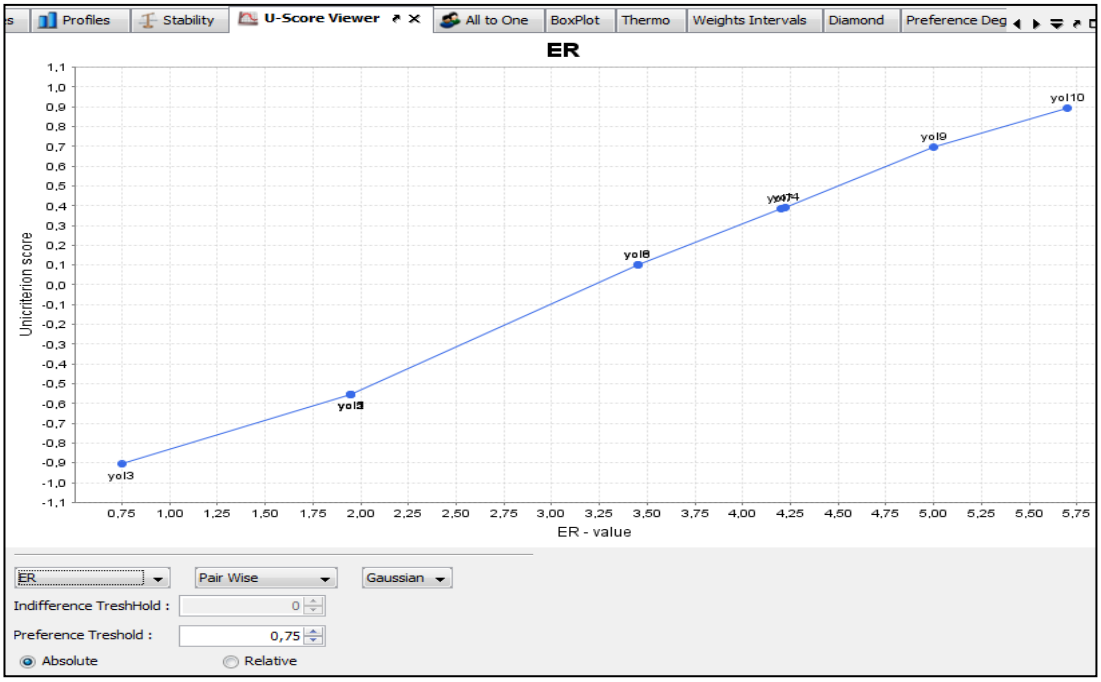
Resim 3.48. Kriter 4 puan grafiği



Resim 3.49. Kriter 5 puan grafiği

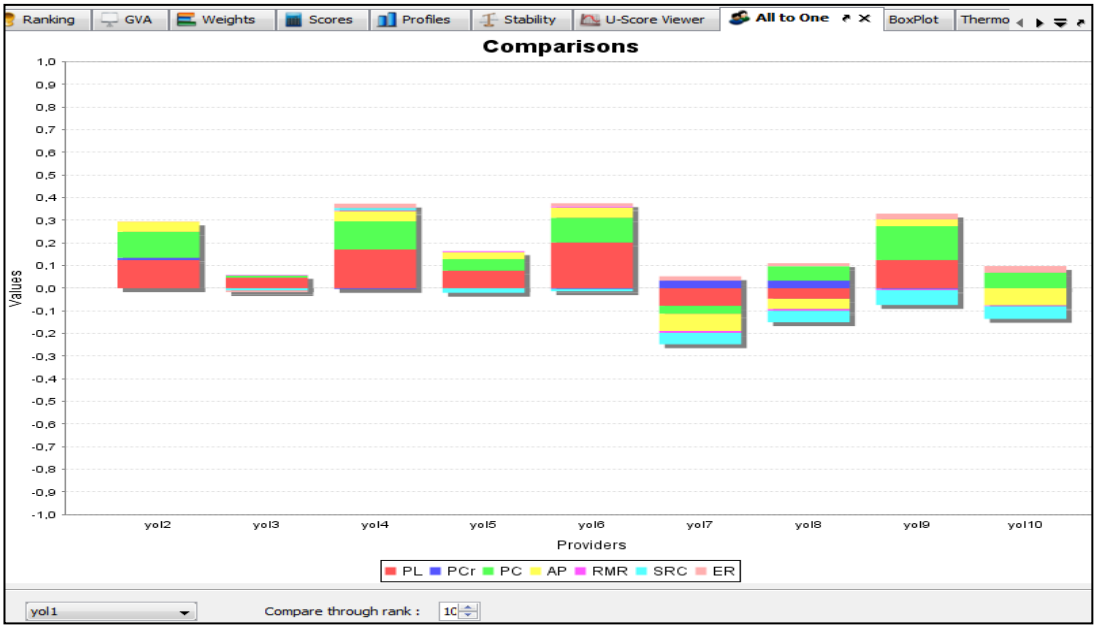


Resim 3.50. Kriter 6 puan grafiği



Resim 3.51. Kriter 7 puan grafiği

Compare All to One: Bu analiz ise her alternatif için yapılan, seçilen alternatifin diğer alternatiflerle karşılaştırmasını yapan analize ait sonuçlar aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.



Resim 3.52. 1.yolun karşılaştırılması



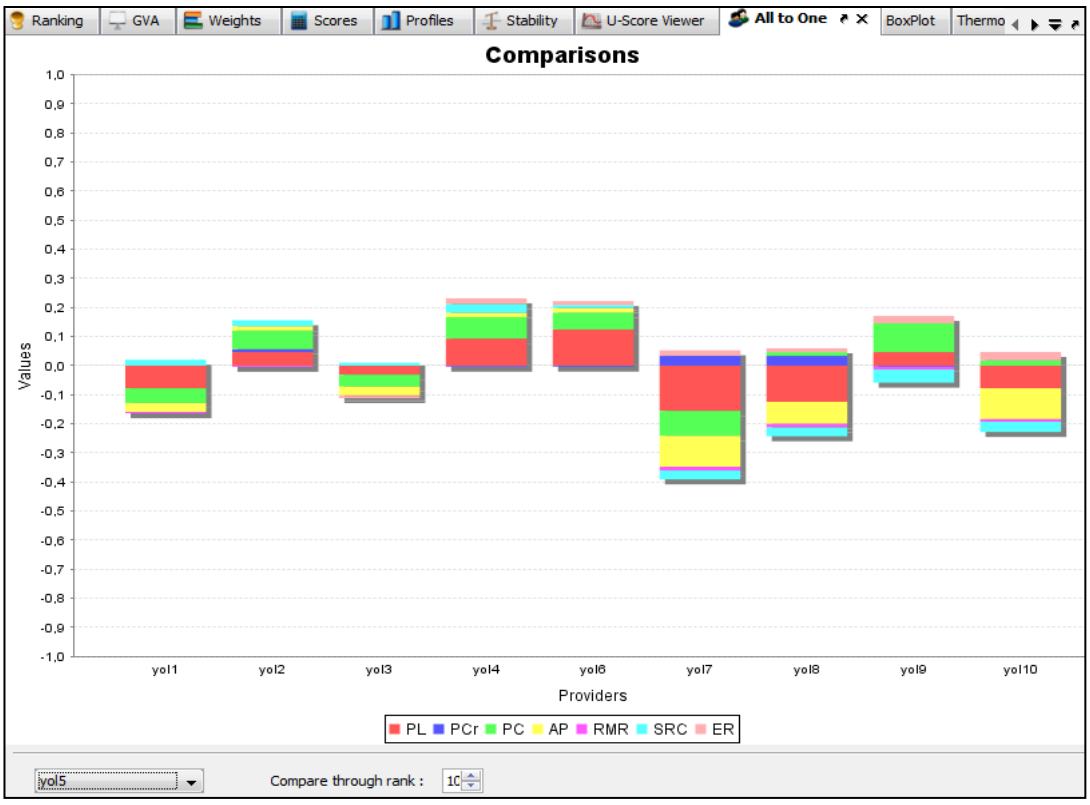
Resim 3.53. 2.yolun karşılaştırılması



Resim 3.54. 3.yolun karşılaştırılması



Resim 3.55. 4.yolun karşılaştırılması



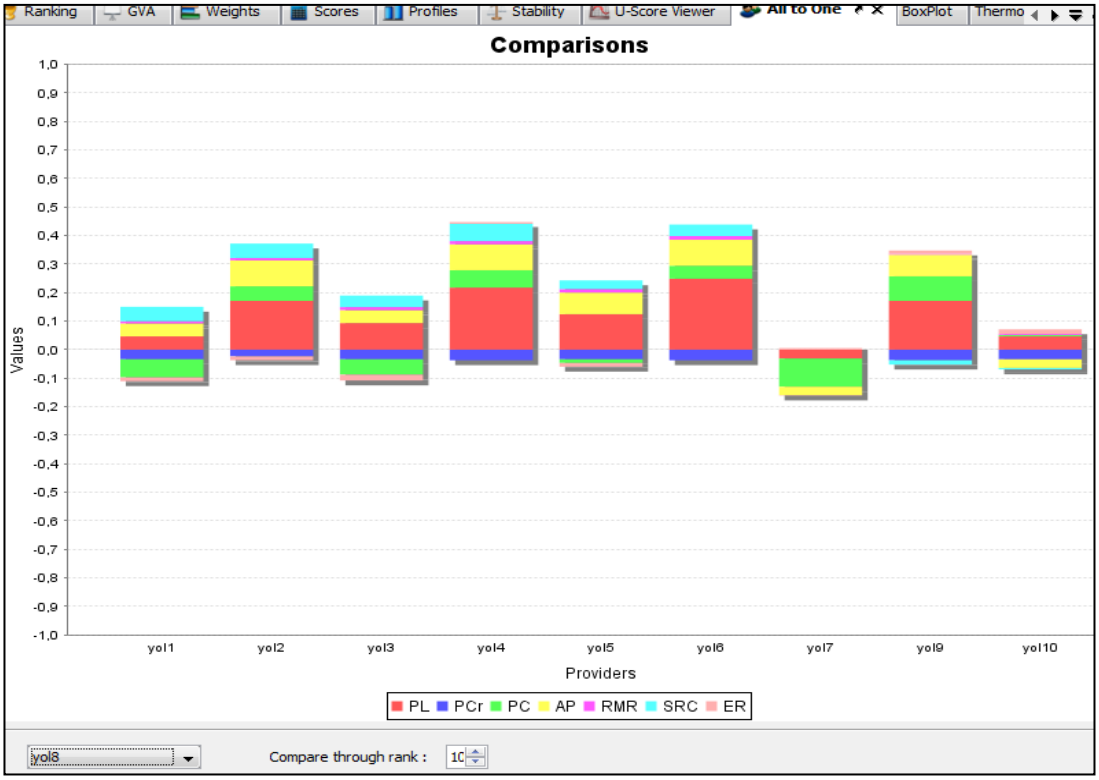
Resim 3.56. 5.yolun karşılaştırılması



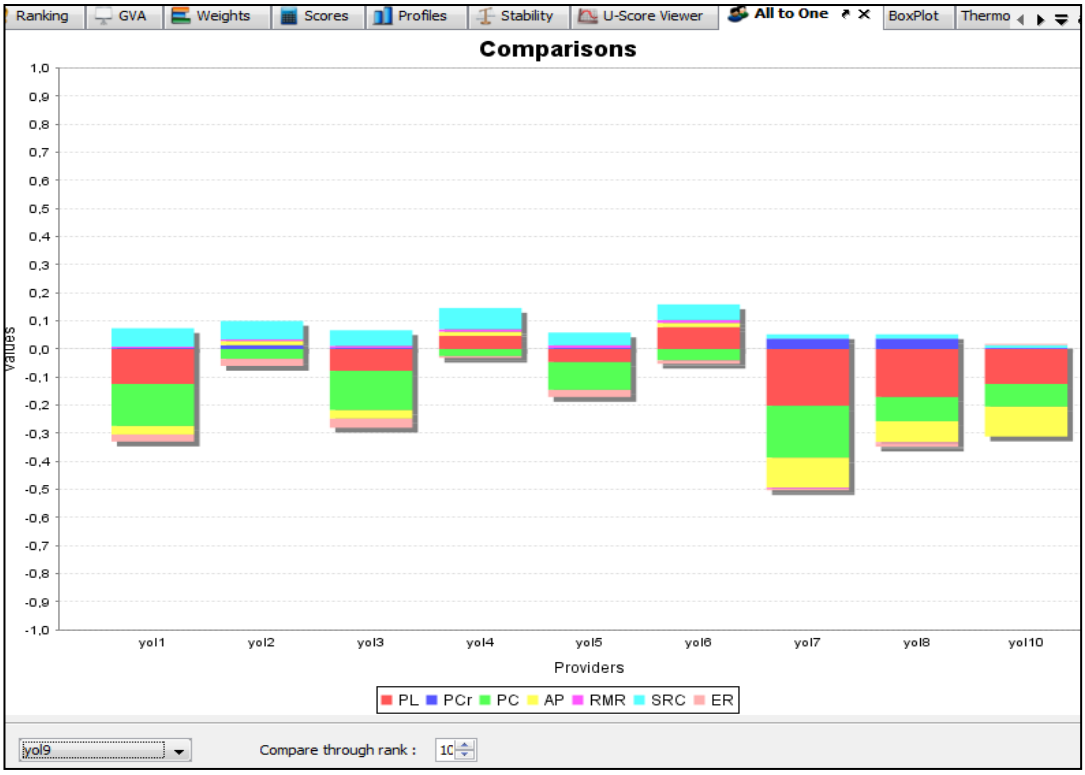
Resim 3.57. 6.yolun karşılaştırılması



Resim 3.58. 7.yolun karşılaştırılması



Resim 3.59. 8.yolun karşılaştırılması



Resim 3.60. 9.yolun karşılaştırılması



Resim 3.61. 10.yolun karşılaştırılması

3.4. MOORA Algoritması Uygulaması

Üçüncü uygulanan yöntem, MOORA algoritmasıdır. Çok yeni bir yaklaşım olan MOORA, proje yönetiminde kritik yolun bulunması amacıyla bu çalışmada kullanılmıştır. AHP ve PROMETHEE yöntemleri ile elde edilen sonuçlar aynı çıktığı için bu yöntemle de çözüm aranmaya devam edilmiştir. Literatürde yer alan farklı MOORA metotları çalışmada yer almaktadır. Yöntemde uygulanması gereken işlem adımları takip edilerek sonuca gidilmiştir.

MOORA metotları; farklı alternatiflerin farklı amaçlara karşılık gelen değerlerinden oluşan başlangıç matrisin hazırlanması ile başlar.

Çizelge 3.10. Başlangıç Matrisi

j	Amaç	PL	PCr	PC	AP	RMR	SRC	ER
i	Alternatif	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
		Max	Min	Max	Min	Max	Max	Max
A1	1-2-3-7-10-22-23	122	0,97	519	2,48	62	5,1	2,1
A2	1-2-3-7-11-21-22-23	124	0,95	1116	2,06	63	4,7	2,1
A3	1-2-5-6-7-10-22-23	123	0,98	553	2,46	68	3,9	0,4
A4	1-2-5-6-7-11-21-22-23	125	0,99	1150	1,93	69	5,3	4,3
A5	1-2-5-6-8-9-10-22-23	124	0,98	682	2,32	72	3,2	2,1
A6	1-2-5-6-8-9-11-21-22-23	126	1,00	1075	2,05	73	3,9	3,5
A7	1-2-5-8-9-10-22-23	101	0,80	390	3,37	42	1,8	4,2
A8	1-2-5-8-9-11-21-22-23	103	0,82	784	3,13	43	1,8	3,5
A9	1-2-4-12-13-14-15-20-21-22-23	124	0,99	1214	2,24	45	0,3	5,0
A10	1-2-4-16-17-18-19-20-21-22-23	122	0,96	835	3,23	52	1,1	5,7

Matrisin hazırlanmasından sonra, MOORA metotları yaklaşımlarında kullanılması için normalleştirilmiş değerlere ait hesaplamalar yapılır.

Normalleştirilmiş yönsüz değerlerin bulunurken X_{ij} değerlerinin kareleri alınarak her bir amaç için karelerin toplamı alınır ve ait olduğu amaca ait kareler toplamına bölünerek X^*_{ij} 'ler bulunur.

X^*_{ij} : i alternatifinin j. kriterdeki değerinin normalleştirilmiş halidir.

Çizelge 3.11. Kareler Toplamı

j	**X1**	**X2**	**X3**	**X4**	**X5**	**X6**	**X7**
i	**Max**	**Min**	**Max**	**Min**	**Max**	**Max**	**Max**
A1	122	0,97	519	2,48	62	5,1	2,1
A2	124	0,95	1116	2,06	63	4,7	2,1
A3	123	0,98	553	2,46	68	3,9	0,4
A4	125	0,99	1150	1,93	69	5,3	4,3
A5	124	0,98	682	2,32	72	3,2	2,1
A6	126	1,00	1075	2,05	73	3,9	3,5
A7	101	0,80	390	3,37	42	1,8	4,2
A8	103	0,82	784	3,13	43	1,8	3,5
A9	124	0,99	1214	2,24	45	0,3	5,0
A10	122	0,96	835	3,23	52	1,1	5,7
$\sqrt{(\sum Xij^2)}$	378,298	2,99728	2775,58	8,1438	189,987	11,1788	11,4793

Çizelge 3.12. Normalleştirilmiş Matris

j	**X1**	**X2**	**X3**	**X4**	**X5**	**X6**	**X7**
i	**Max**	**Min**	**Max**	**Min**	**Max**	**Max**	**Max**
A1	0,32363	0,32506	0,18704	0,30427	0,32567	0,45775	0,1866
A2	0,32665	0,31692	0,40208	0,25267	0,33287	0,41615	0,1866
A3	0,32627	0,32792	0,19929	0,30216	0,35733	0,35049	0,03746
A4	0,32929	0,32935	0,41433	0,23666	0,36411	0,47802	0,37084
A5	0,32665	0,3284	0,24561	0,28478	0,37926	0,28483	0,1866
A6	0,33344	0,33411	0,38746	0,25196	0,38466	0,35049	0,30612
A7	0,26661	0,26715	0,14067	0,41323	0,22169	0,1612	0,36959
A8	0,2734	0,27454	0,28252	0,38446	0,22709	0,1612	0,30612
A9	0,32665	0,32888	0,43754	0,27535	0,23827	0,03041	0,43557
A10	0,32137	0,32174	0,30079	0,39661	0,27126	0,0953	0,49283

3.4.1. MOORA-Oran metodu

Yukarıda anlatılan hesaplamalar tamamlandığında, Oran Metodu için tablo ve değerler hazırlanmış olmaktadır. Optimizasyon için; bu değerler amaç fonksiyon değerlerine göre toplanırlar. Daha sonra bu verilerle aşağıdaki tablo hazırlanır.

Çizelge 3.13. Oran Matrisi

j	**X1**	**X2**	**X3**	**X4**	**X5**	**X6**	**X7**	**$yj^*=\sum maxXij^*-\sum minXij^*$**	**RANK**
i	**Max**	**Min**	**Max**	**Min**	**Max**	**Max**	**Max**	**TOTAL**	
A1	0,32363	0,32506	0,18704	0,30427	0,32567	0,45775	0,1866	0,8513460	**5**
A2	0,32665	0,31692	0,40208	0,25267	0,33287	0,41615	0,1866	1,0947412	**3**
A3	0,32627	0,32792	0,19929	0,30216	0,35733	0,35049	0,03746	0,6407553	**8**
A4	0,32929	0,32935	0,41433	0,23666	0,36411	0,47802	0,37084	1,3905879	**1**
A5	0,32665	0,3284	0,24561	0,28478	0,37926	0,28483	0,1866	0,8097658	**6**
A6	0,33344	0,33411	0,38746	0,25196	0,38466	0,35049	0,30612	1,1760876	**2**
A7	0,26661	0,26715	0,14067	0,41323	0,22169	0,1612	0,36959	0,4793760	**10**
A8	0,2734	0,27454	0,28252	0,38446	0,22709	0,1612	0,30612	0,5913206	**9**
A9	0,32665	0,32888	0,43754	0,27535	0,23827	0,03041	0,43557	0,8642170	**4**
A10	0,32137	0,32174	0,30079	0,39661	0,27126	0,0953	0,49283	0,7631979	**7**

3.4.2. MOORA- Referans noktası yaklaşımı

Oran sistemi metoduna ek olarak her amaç için ayrı olarak ‘Maksimal Amaç Referans Noktaları ’ belirlenir. Bu noktalar amaç fonksiyon değerine göre belirlenir. Belirlenen bu noktalardan, her x^*_{ij} için uzaklıklar aşağıdaki gibi bulunur:

Çizelge 3.14. Referans Noktaları

j	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
r_i	0,33344	0,26715	0,43754	0,23666	0,38466	0,47802	0,49283

Bulunan bu mesafelerle hazırlanan matris yardımıyla, "Tchebycheff ' in min-max matrisi" hazırlanır:

Çizelge 3.15. Referans Noktası Matrisi

j	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	MAX	RANK
i	Max	Min	Max	Min	Max	Max	Max		MİN
A1	0,00982	0,05747	0,25050	0,07954	0,05899	0,02028	0,30623	0,30623	**3**
A2	0,00679	0,04081	0,03546	0,02613	0,05179	0,06188	0,30623	0,30623	**4**
A3	0,00717	0,05996	0,23825	0,07523	0,02733	0,12754	0,45537	0,45537	**10**
A4	0,00415	0,06246	0,02321	0,00000	0,02054	0,00000	0,12199	0,12199	**1**
A5	0,00679	0,06080	0,19193	0,05714	0,00540	0,19320	0,30623	0,30623	**5**
A6	0,00000	0,06579	0,05008	0,02326	0,00000	0,12754	0,18671	0,18671	**2**
A7	0,06683	0,00000	0,29687	0,18550	0,16297	0,31683	0,12324	0,31683	**6**
A8	0,06004	0,00666	0,15502	0,15908	0,15757	0,31683	0,18671	0,31683	**7**
A9	0,00679	0,06163	0,00000	0,05628	0,14639	0,44761	0,05726	0,44761	**9**
A10	0,01207	0,05663	0,13675	0,18061	0,11340	0,38272	0,00000	0,38272	**8**

3.4.3. MOORA- Tam çarpım formu

Amaçların değerleri ve anlamları, çarpımlar şeklinde ifade edildiğinde; x_{ij} değerleri Çizelge 3.16.'da verildiği gibi normalleştirilir:

Çizelge 3.16. Tam Çarpım Formu

The Full Multiplicative Form								
	1	2	2.1	3	3.1	4	4.1	5
	X1	X2	2.1=1:2	X3	3.1=2.1*3	X4	4.1=3.1:4	X5
	MAX	MİN		MAX		MİN		MAX
A1	122	0,97	125,65603	519	65233,07	2,48	26325,5951	62
A2	124	0,95	130,08738	1116	145177,51	2,06	70552,1513	63
A3	123	0,98	125,57824	553	69462,348	2,46	28228,6943	68
A4	125	0,99	126,18943	1150	145117,85	1,93	75295,9299	69
A5	124	0,98	125,54099	682	85582,969	2,32	36901,9357	72
A6	126	1,00	125,95946	1075	135460,58	2,05	66016,0727	73
A7	101	0,80	125,95537	390	49176,757	3,37	14613,1789	42
A8	103	0,82	125,69067	784	98559,924	3,13	31479,0716	43
A9	124	0,99	125,35845	1214	152239,06	2,24	67892,1344	45
A10	122	0,96	126,06982	835	105250,23	3,23	32585,884	52
	5.1	6	6.1	7	7.1	8	9	
	5.1=4.1*5	X6	6.1=5.1*6	X7	7.1=6.1*7	RESULT	PROJECT	
		MAX		MAX				
A1	1628853	5,1	8334950,4	2,1	17853464	5	A1	
A2	4461777	4,7	20756186	2,1	44459750	3	A2	
A3	1916397	3,9	7508443,9	0,4	3228631	10	A3	
A4	5208767	5,3	27834260	4,3	118490444	1	A4	
A5	2658980	3,2	8466192,5	2,1	18134584	4	A5	
A6	4824485	3,9	18902334	3,5	66422801	2	A6	
A7	615485	1,8	1109103,4	4,2	4705556	9	A7	
A8	1358122	1,8	2447335	3,5	8599935	7	A8	
A9	3073341	0,3	1044936	5,0	5224680	8	A9	
A10	1679349	1,1	1789066,9	5,7	10121348	6	A10	

3.4.4. MULTI–MOORA metodu

Uygulanan MOORA metotlarının sonunda, yapılan sıralamalar toplu bir şekilde değerlendirilir ve bir baskınlık karşılaştırması yapılarak sıralamaya konulur.

Çizelge 3.17. Multi-Moora Sonuç Tablosu

	Moora Oran Metodu	**Moora Referans Noktası Yaklaşımı**	**Moora Tam Çarpım Formu**	**Multimoora**
A1	5	3	5	5
A2	3	5	3	3
A3	8	10	10	10
A4	1	1	1	1
A5	6	4	4	4
A6	2	2	2	2
A7	10	6	9	9
A8	9	7	7	7
A9	4	9	8	8
A10	7	8	6	6

Bu algoritma kullanılarak elde edilen sonuçta yine en iyi sıralamaya sahip olan alternatif 4.yol, en kötü sıralamaya sahip olan alternatif ise 3. yoldur. AHP, PROMETHEE ve MOORA çözümleri ile elde edilen en iyi yol sonucuyla aynı çıkmıştır. Bir de farklı bir bakış açısıyla belirsiz ve karmaşık problemlerin çözümlerinde başarılı olan bir yöntem Gri İlişkisel Analiz yöntemi uygulanmıştır.

3.5. Gri İlişkisel Analiz Yöntemi Uygulaması

Farklı problem tipleri için uygun Gri İlişkisel Analiz (Grey Relational Analysis) yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemin amacı, stokastik veya bulanık karar verme yöntemleriyle çözülemeyen problemlerin modellenmesini ve çözülmesini

sağlamaktadır. Yöntem; birden fazla alternatifin, birden fazla kriterin varlığında değerlendirildiği bir problemde; her bir kriter için bir alternatifin tüm alternatifler arasında sahip olunabilecek en iyi alternatife olan yakınlığına bağlı olarak, tüm kriterler için en iyi alternatifin seçilmesini sağlar. Yöntemde uygulanması gereken adımlar takip edilerek alternatiflere ait gri ilişkisel derecenin büyüklüğü belirlenmiştir.

3.5.1. Uygulama

Uygulamada örnek çalışmada bulunan bulanık sayıların durulaştırması sonucu aşağıdaki rakamlar elde edilmiştir.

Çizelge 3.18. Başlangıç Verileri

YOL	DÜĞÜMLER	PL	PCr	PC	AP	RMR	SRC	ER
		K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
A1	1-2-3-7-10-22-23	122	0,97	519	2,48	62	5,1	2,1
A2	1-2-3-7-11-21-22-23	124	0,95	1116	2,06	63	4,7	2,1
A3	1-2-5-6-7-10-22-23	123	0,98	553	2,46	68	3,9	0,4
A4	1-2-5-6-7-11-21-22-23	125	0,99	1150	1,93	69	5,3	4,3
A5	1-2-5-6-8-9-10-22-23	124	0,98	682	2,32	72	3,2	2,1
A6	1-2-5-6-8-9-11-21-22-23	126	1,00	1075	2,05	73	3,9	3,5
A7	1-2-5-8-9-10-22-23	101	0,80	390	3,37	42	1,8	4,2
A8	1-2-5-8-9-11-21-22-23	103	0,82	784	3,13	43	1,8	3,5
A9	1-2-4-12-13-14-15-20-21-22-23	124	0,99	1214	2,24	45	0,3	5,0
A10	1-2-4-16-17-18-19-20-21-22-23	122	0,96	835	3,23	52	1,1	5,7

Bu değerler aşağıda gösterilen önem skalasına göre değerlendirilmiştir. Amaç fonksiyon değerine uygun olarak alternatifler birbirlerine göre üstünlüklerine uygun

olarak bu işlem gerçekleştirilmiştir. Önem derecelendirme ile ilgili hesaplama tablosu Ek-1'de verilmiştir.

Ek-1'de gösterildiği üzere alternatiflerin kriterlerden aldığı değerler Çizelge 3.19.'da verilmiştir:

Çizelge 3.19. Önem Skalasına Göre Belirlenen Değerler

YOL	ALTERNATİFLER	K1: PL	K2: PCr	K3: PC	K4: AP	K5: RMR	K6: SRC	K7: ER
A1	**1-2-3-7-10-22-23**	7	1	1	5	5	7	1
A2	**1-2-3-7-11-21-22-23**	7	3	7	7	5	7	1
A3	**1-2-5-6-7-10-22-23**	7	1	1	5	7	5	1
A4	**1-2-5-6-7-11-21-22-23**	7	1	7	9	7	9	5
A5	**1-2-5-6-8-9-10-22-23**	7	1	3	5	7	5	1
A6	**1-2-5-6-8-9-11-21-22-23**	9	1	7	7	9	5	1
A7	**1-2-5-8-9-10-22-23**	1	9	1	1	1	3	5
A8	**1-2-5-8-9-11-21-22-23**	1	7	3	1	1	3	3
A9	**1-2-4-12-13-14-15-20-21-22-23**	7	1	9	5	1	1	7
A10	**1-2-4-16-17-18-19-20-21-22-23**	7	1	5	1	3	1	9

Adım1: Her kriterdeki en büyük değer alınarak referans seri oluşturulur.

χ_0 (9, 9, 9, 9, 9, 9, 9)

Adım 2: Referans seri ve veriler normalize edilir.

Çizelge 3.20. Normalize Edilmiş Matris

YOL	ALTERNATİFLER	K1: PL	K2: PCr	K3: PC	K4: AP	K5: RMR	K6: SRC	K7: ER
χ_0	**REFERANS SERİ**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**
A1	**1-2-3-7-10-22-23**	0,75	0	0	0,5	0,5	0,75	0
A2	**1-2-3-7-11-21-22-23**	0,75	0,25	0,75	0,75	0,5	0,75	0
A3	**1-2-5-6-7-10-22-23**	0,75	0	0	0,5	0,75	0,5	0
A4	**1-2-5-6-7-11-21-22-23**	0,75	0	0,75	1	0,75	1	0,5
A5	**1-2-5-6-8-9-10-22-23**	0,75	0	0,25	0,5	0,75	0,5	0
A6	**1-2-5-6-8-9-11-21-22-23**	1	0	0,75	0,75	1	0,5	0
A7	**1-2-5-8-9-10-22-23**	0	1	0	0	0	0,25	0,5
A8	**1-2-5-8-9-11-21-22-23**	0	0,75	0,25	0	0	0,25	0,25
A9	**1-2-4-12-13-14-15-20-21-22-23**	0,75	0	1	0,5	0	0	0,75
A10	**1-2-4-16-17-18-19-20-21-22-23**	0,75	0	0,5	0	0,25	0	1

Adım3: Normalize edilmiş değerler ile referans seri arasındaki uzaklıklar hesaplanır.

Çizelge 3.21. Uzaklıklar Matrisi

YOL	ALTERNATİFLER	K1: PL	K2: PCr	K3: PC	K4: AP	K5: RMR	K6: SRC	K7: ER
	REFERANS SERİ	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**
A1	**1-2-3-7-10-22-23**	0,25	1	1	0,5	0,5	0,25	1
A2	**1-2-3-7-11-21-22-23**	0,25	0,75	0,25	0,25	0,5	0,25	1
A3	**1-2-5-6-7-10-22-23**	0,25	1	1	0,5	0,25	0,5	1
A4	**1-2-5-6-7-11-21-22-23**	0,25	1	0,25	0	0,25	0	0,5
A5	**1-2-5-6-8-9-10-22-23**	0,25	1	0,75	0,5	0,25	0,5	1
A6	**1-2-5-6-8-9-11-21-22-23**	0	1	0,25	0,25	0	0,5	1
A7	**1-2-5-8-9-10-22-23**	1	0	1	1	1	0,75	0,5
A8	**1-2-5-8-9-11-21-22-23**	1	0,25	0,75	1	1	0,75	0,75
A9	**1-2-4-12-13-14-15-20-21-22-23**	0,25	1	0	0,5	1	1	0,25
A10	**1-2-4-16-17-18-19-20-21-22-23**	0,25	1	0,5	1	0,75	1	0

Adım4: Alternatiflerin gri ilişkisel katsayıları hesaplanır. ξ=1, Δ_{min}=0,Δ_{max}=1 olarak alınmıştır.

Çizelge 3.22. Gri İlişkisel Katsayı Matrisi

YOL	ALTERNATİFLER	K1: PL	K2: PCr	K3: PC	K4: AP	K5: RMR	K6: SRC	K7: ER
	F	0,161	0,098	0,200	0,186	0,128	0,144	0,082
A1	1-2-3-7-10-22-23	0,8	0,5	0,5	0,667	0,667	0,8	0,5
A2	1-2-3-7-11-21-22-23	0,8	0,571	0,8	0,8	0,667	0,8	0,5
A3	1-2-5-6-7-10-22-23	0,8	0,5	0,5	0,667	0,8	0,667	0,5
A4	1-2-5-6-7-11-21-22-23	0,8	0,5	0,8	1	0,8	1	0,667
A5	1-2-5-6-8-9-10-22-23	0,8	0,5	0,571	0,667	0,8	0,667	0,5
A6	1-2-5-6-8-9-11-21-22-23	1	0,5	0,8	0,8	1	0,667	0,5
A7	1-2-5-8-9-10-22-23	0,5	1	0,5	0,5	0,5	0,571	0,667
A8	1-2-5-8-9-11-21-22-23	0,5	0,8	0,571	0,5	0,5	0,571	0,571
A9	1-2-4-12-13-14-15-20-21-22-23	0,8	0,5	1	0,667	0,5	0,5	0,8
A10	1-2-4-16-17-18-19-20-21-22-23	0,8	0,5	0,667	0,5	0,571	0,5	1

Adım5: Kriterler için gri ilişkisel dereceler hesaplanır.

Çizelge 3.23. Gri İlişkisel Derece Tablosu

A1	1-2-3-7-10-22-23	0,6438
A2	1-2-3-7-11-21-22-23	0,7357
A3	1-2-5-6-7-10-22-23	0,6417
A4	1-2-5-6-7-11-21-22-23	0,8255
A5	1-2-5-6-8-9-10-22-23	0,6560
A6	1-2-5-6-8-9-11-21-22-23	0,7843
A7	1-2-5-8-9-10-22-23	0,5732
A8	1-2-5-8-9-11-21-22-23	0,5600
A9	1-2-4-12-13-14-15-20-21-22-23	0,7040
A10	1-2-4-16-17-18-19-20-21-22-23	0,6319

Alternatifler için gri ilişkisel derecenin büyüklüğü aşağıdaki gibidir:
A4>A6>A2>A9>A5>A1>A3>A10>A7>A8 olarak belirlenmiştir.

3.6. Fuzzy Gri İlişkisel Analiz Yöntemi Uygulaması

Bu bölüme kadar yapılmış olan çalışmalarda Zammori ve ark.nın makalelerindeki bulanık değerler durulaştırılmak suretiyle hesaplamalar yapılmıştır. Ancak orijinal makalede Fuzzy TOPSIS kullanıldığı için Fuzzy Gri İlişkisel Analiz yöntemi de uygulanmıştır. Yöntemde uygulanması gereken adımlar takip edilerek alternatiflere ait gri ilişkisel derecenin büyüklüğü belirlenmiştir.

3.6.1. Uygulama

Uygulamada örnek çalışmada kullanılan bulanık sayılar aynen alınmıştır. Başlangıç verileri Ek-2'de gösterilmektedir.

Adım1: Her kriterdeki en büyük değer (l_i, m_i, u_i) alınarak referans seri oluşturulur. Çizelge 3.24.'te verilmiştir.

Adım 2: Referans seri ve veriler normalize edilir. Çizelge 3.25.'te verilmiştir.

Adım3: Normalize edilmiş değerler ile referans seri arasındaki uzaklıklar hesaplanır. Çizelge 3.26.'da verilmiştir.

Adım4: Alternatiflerin gri ilişkisel katsayıları hesaplanır. $\xi=1$, $\Delta_{min}=0$,$\Delta_{max}=1$ olarak alınmıştır. Çizelge 3.27.'de verilmiştir.

Çizelge 3.24. Fuzzy Referans Seri

YOL	ALTERNATİFLER	K1: PL			K2:PCR			K3: PC			K4: AP			K5: RMR			K6: SRC			K7: ER		
		l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
A1	**1-2-3-7-10-22-23**	108	123	134	0,77	0,97	1,2	495	520	539	1,24	2,24	4,9	38,1	65,2	69,3	3	5,6	6,6	0	2,4	3
A2	**1-2-3-7-11-21-22-23**	106	124	139	0,76	0,98	0,99	1084	1116	1148	0,97	1,88	4,03	43,1	66	69,7	2	5	8	0	2,4	3
A3	**1-2-5-6-7-10-22-23**	111	124	133	0,79	0,98	1,19	525	554	577	1,29	2,25	4,68	57,6	69,3	71,3	1,3	4,3	7	0	0	3
A4	**1-2-5-6-7-11-21-22-23**	109	125	138	0,78	0,98	1,23	1114	1150	1186	0,24	1,88	3,85	62,6	70	71,7	3	5,6	8,6	1,3	4,3	7
A5	**1-2-5-6-8-9-10-22-23**	112	124	133	0,8	0,98	1,19	650	682	712	1,23	2,13	4,35	64,6	73	74,7	0,6	3,6	6	0	2,4	3
A6	**1-2-5-6-8-9-11-21-22-23**	111	127	137	0,79	1	1,22	1037	1075	1116	1,06	1,9	3,8	67,6	73,8	75	1,3	4,3	7	0,6	3,6	6
A7	**1-2-5-8-9-10-22-23**	90	101	111	0,64	0,8	0,99	361	390	422	1,21	3,08	6,94	10	43,4	67,7	0	2	4,3	1,6	4,3	6,6
A8	**1-2-5-8-9-11-21-22-23**	89	104	115	0,64	0,82	1,02	748	783	826	1,03	2,84	6,68	13	44,2	68	0	2	4,3	0,6	3,6	6
A9	**1-2-4-12-13-14-15-20-21-22-23**	105	124	140	0,75	0,98	1,25	1182	1214	1249	0,97	1,96	4,92	40,6	42	66,2	0	0	3	2	5	8
A10	**1-2-4-16-17-18-19-20-21-22-23**	107	121	139	0,76	0,95	1,24	804	835	865	1,42	2,82	7,08	30,7	54	60,1	0	1	3,6	3	5,6	8,6
χ_0	**REFERANS SERİ**	**112**	**127**	**140**	**0,8**	**1**	**1,3**	**1182**	**1214**	**1249**	**1,4**	**3,1**	**7,1**	**68**	**74**	**75**	**3**	**5,6**	**8,6**	**3**	**5,6**	**8,6**

Çizelge 3.25. Fuzzy Normalize Matris

YOL	ALTERNATİFLER	K1: PL			K2:PCR			K3: PC			K4: AP			K5: RMR			K6: SRC			K7: ER		
	REFERANS SERİ	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**
A1	**1-2-3-7-10-22-23**	0,83	0,85	0,79	0,81	0,85	0,81	0,16	0,16	0,14	0,85	0,30	0,34	0,49	0,73	0,62	1,00	1,00	0,64	0,00	0,43	0,00
A2	**1-2-3-7-11-21-22-23**	0,74	0,88	0,97	0,75	0,90	0,00	0,88	0,88	0,88	0,62	0,00	0,07	0,57	0,75	0,64	0,67	0,89	0,89	0,00	0,43	0,00
A3	**1-2-5-6-7-10-22-23**	0,96	0,88	0,76	0,94	0,90	0,77	0,20	0,20	0,19	0,89	0,31	0,27	0,83	0,86	0,75	0,43	0,77	0,71	0,00	0,00	0,00
A4	**1-2-5-6-7-11-21-22-23**	0,87	0,92	0,93	0,88	0,90	0,92	0,92	0,92	0,92	0,00	0,00	0,02	0,91	0,88	0,78	1,00	1,00	1,00	0,43	0,77	0,71
A5	**1-2-5-6-8-9-10-22-23**	1,00	0,88	0,76	1,00	0,90	0,77	0,35	0,35	0,35	0,84	0,21	0,17	0,95	0,98	0,98	0,20	0,64	0,54	0,00	0,43	0,00
A6	**1-2-5-6-8-9-11-21-22-23**	0,96	1,00	0,90	0,94	1,00	0,88	0,82	0,83	0,84	0,69	0,02	0,00	1,00	1,00	1,00	0,43	0,77	0,71	0,20	0,64	0,54
A7	**1-2-5-8-9-10-22-23**	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	1,00	0,96	0,00	0,05	0,51	0,00	0,36	0,23	0,53	0,77	0,64
A8	**1-2-5-8-9-11-21-22-23**	0,00	0,12	0,14	0,00	0,12	0,12	0,47	0,48	0,49	0,67	0,80	0,88	0,05	0,07	0,53	0,00	0,36	0,23	0,20	0,64	0,54
A9	**1-2-4-12-13-14-15-20-21-22-23**	0,70	0,88	1,00	0,69	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	0,62	0,07	0,34	0,53	0,00	0,41	0,00	0,00	0,00	0,67	0,89	0,89
A10	**1-2-4-16-17-18-19-20-21-22-23**	0,78	0,77	0,97	0,75	0,76	0,96	0,54	0,54	0,54	1,00	0,78	1,00	0,36	0,38	0,00	0,00	0,18	0,11	1,00	1,00	1,00

Çizelge 3.26. Fuzzy Uzaklıklar Matrisi

YOL	ALTERNATİFLER	K1: PL			K2:PCR			K3: PC			K4: AP			K5: RMR			K6: SRC			K7: ER		
	REFERANS SERİ	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**
A1	**1-2-3-7-10-22-23**	0,17	0,15	0,21	0,19	0,15	0,19	0,84	0,84	0,86	0,15	0,70	0,66	0,51	0,27	0,38	0,00	0,00	0,36	1,00	0,57	1,00
A2	**1-2-3-7-11-21-22-23**	0,26	0,12	0,03	0,25	0,10	1,00	0,12	0,12	0,12	0,38	1,00	0,93	0,43	0,25	0,36	0,33	0,11	0,11	1,00	0,57	1,00
A3	**1-2-5-6-7-10-22-23**	0,04	0,12	0,24	0,06	0,10	0,23	0,80	0,80	0,81	0,11	0,69	0,73	0,17	0,14	0,25	0,57	0,23	0,29	1,00	1,00	1,00
A4	**1-2-5-6-7-11-21-22-23**	0,13	0,08	0,07	0,13	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08	1,00	1,00	0,98	0,09	0,12	0,22	0,00	0,00	0,00	0,57	0,23	0,29
A5	**1-2-5-6-8-9-10-22-23**	0,00	0,12	0,24	0,00	0,10	0,23	0,65	0,65	0,65	0,16	0,79	0,83	0,05	0,02	0,02	0,80	0,36	0,46	1,00	0,57	1,00
A6	**1-2-5-6-8-9-11-21-22-23**	0,04	0,00	0,10	0,06	0,00	0,12	0,18	0,17	0,16	0,31	0,98	1,00	0,00	0,00	0,00	0,57	0,23	0,29	0,80	0,36	0,46
A7	**1-2-5-8-9-10-22-23**	0,96	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,18	0,00	0,04	1,00	0,95	0,49	1,00	0,64	0,77	0,47	0,23	0,36
A8	**1-2-5-8-9-11-21-22-23**	1,00	0,88	0,86	1,00	0,88	0,88	0,53	0,52	0,51	0,33	0,20	0,12	0,95	0,93	0,47	1,00	0,64	0,77	0,80	0,36	0,46
A9	**1-2-4-12-13-14-15-20-21-22-23**	0,30	0,12	0,00	0,31	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	0,93	0,66	0,47	1,00	0,59	1,00	1,00	1,00	0,33	0,11	0,11
A10	**1-2-4-16-17-18-19-20-21-22-23**	0,22	0,23	0,03	0,25	0,24	0,04	0,46	0,46	0,46	0,00	0,22	0,00	0,64	0,62	1,00	1,00	0,82	0,89	0,00	0,00	0,00

Çizelge 3.27. Fuzzy Gri Katsayı Matrisi

YOL	ALTERNATİFLER	K1: PL			K2:PCR			K3: PC			K4: AP			K5: RMR			K6: SRC			K7: ER		
	F	**0,18**	**0,15**	**0,16**	**0,07**	**0,10**	**0,11**	**0,23**	**0,21**	**0,18**	**0,21**	**0,19**	**0,17**	**0,12**	**0,13**	**0,13**	**0,14**	**0,14**	**0,15**	**0,05**	**0,08**	**0,10**
A1	**1-2-3-7-10-22-23**	0,85	0,87	0,83	0,84	0,87	0,84	0,54	0,54	0,54	0,87	0,59	0,60	0,66	0,79	0,72	1,00	1,00	0,74	0,50	0,64	0,50
A2	**1-2-3-7-11-21-22-23**	0,79	0,90	0,97	0,80	0,91	0,50	0,89	0,89	0,89	0,72	0,50	0,52	0,70	0,80	0,74	0,75	0,90	0,90	0,50	0,64	0,50
A3	**1-2-5-6-7-10-22-23**	0,96	0,90	0,81	0,94	0,91	0,81	0,56	0,56	0,55	0,90	0,59	0,58	0,85	0,88	0,80	0,64	0,81	0,78	0,50	0,50	0,50
A4	**1-2-5-6-7-11-21-22-23**	0,88	0,93	0,94	0,89	0,91	0,93	0,92	0,93	0,93	0,50	0,50	0,50	0,92	0,89	0,82	1,00	1,00	1,00	0,64	0,81	0,78
A5	**1-2-5-6-8-9-10-22-23**	1,00	0,90	0,81	1,00	0,91	0,81	0,61	0,61	0,61	0,86	0,56	0,55	0,95	0,98	0,98	0,56	0,74	0,68	0,50	0,64	0,50
A6	**1-2-5-6-8-9-11-21-22-23**	0,96	1,00	0,91	0,94	1,00	0,90	0,85	0,86	0,86	0,77	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	0,64	0,81	0,78	0,56	0,74	0,68
A7	**1-2-5-8-9-10-22-23**	0,51	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,85	1,00	0,96	0,50	0,51	0,67	0,50	0,61	0,57	0,68	0,81	0,74
A8	**1-2-5-8-9-11-21-22-23**	0,50	0,53	0,54	0,50	0,53	0,53	0,65	0,66	0,66	0,75	0,83	0,89	0,51	0,52	0,68	0,50	0,61	0,57	0,56	0,74	0,68
A9	**1-2-4-12-13-14-15-20-21-22-23**	0,77	0,90	1,00	0,76	0,91	1,00	1,00	1,00	1,00	0,72	0,52	0,60	0,68	0,50	0,63	0,50	0,50	0,50	0,75	0,90	0,90
A10	**1-2-4-16-17-18-19-20-21-22-23**	0,82	0,81	0,97	0,80	0,80	0,96	0,68	0,68	0,68	1,00	0,82	1,00	0,61	0,62	0,50	0,50	0,55	0,53	1,00	1,00	1,00

Adım5: Kriterler için gri ilişkisel dereceler hesaplanır. λ =0,5 ve α=0,1, α=0,5, α=0,9 değerleri için ayrı ayrı durulaştırma işlemleri Çizelge 3.28, Çizelge 3.29, Çizelge 3.30'da verilmiştir. Ayrıca aşağıdaki formüllerle birleştirilmiş durulaştırma işlemleri Çizelge 3.31'de verilmiştir [Dağdeviren 2007].

$$WkA = \sum_{l=1}^{L} \alpha l\ (\text{ASk})l \Big/ \sum_{l=1}^{L} \alpha l \qquad (3\text{-}1)$$

$$Wk\text{Ü} = \sum_{l=1}^{L} \alpha l\ (\text{ÜSk})l \Big/ \sum_{l=1}^{L} \alpha l \qquad (3\text{-}2)$$

$$W_{dk} = \lambda * W_{k\text{Ü}} + (1-\lambda) * W_{kA} \quad \lambda \varepsilon [0,1] \qquad (3\text{-}3)$$

Çizelge 3.28. Gri İlişkisel Derece Tablosu

					α=0,1 ve λ=0,5		
YOL	**ALTERNATİFLER**	**l**	**m**	**u**	**Alt sınır**	**Üst sınır**	**Net sayı**
A1	**1-2-3-7-10-22-23**	0,764	0,738	0,680	0,76	0,69	0,724
A2	**1-2-3-7-11-21-22-23**	0,770	0,790	0,739	0,77	0,74	0,758
A3	**1-2-5-6-7-10-22-23**	0,772	0,722	0,688	0,77	0,69	0,729
A4	**1-2-5-6-7-11-21-22-23**	0,822	0,841	0,839	0,82	0,84	0,832
A5	**1-2-5-6-8-9-10-22-23**	0,788	0,740	0,702	0,78	0,71	0,744
A6	**1-2-5-6-8-9-11-21-22-23**	0,832	0,827	0,800	0,83	0,80	0,817
A7	**1-2-5-8-9-10-22-23**	0,583	0,638	0,633	0,59	0,63	0,611
A8	**1-2-5-8-9-11-21-22-23**	0,591	0,641	0,656	0,60	0,65	0,625
A9	**1-2-4-12-13-14-15-20-21-22-23**	0,762	0,740	0,800	0,76	0,79	0,777
A10	**1-2-4-16-17-18-19-20-21-22-23**	0,765	0,739	0,798	0,76	0,79	0,777

Çizelge 3.29. Gri İlişkisel Derece Tablosu

					α=0,5 ve λ=0,5		
YOL	**ALTERNATİFLER**	**l**	**m**	**u**	**Alt sınır**	**Üst sınır**	**Net sayı**
A1	**1-2-3-7-10-22-23**	0,764	0,738	0,680	0,751	0,709	0,730
A2	**1-2-3-7-11-21-22-23**	0,770	0,790	0,739	0,780	0,764	0,772
A3	**1-2-5-6-7-10-22-23**	0,772	0,722	0,688	0,747	0,705	0,726
A4	**1-2-5-6-7-11-21-22-23**	0,822	0,841	0,839	0,832	0,840	0,836
A5	**1-2-5-6-8-9-10-22-23**	0,788	0,740	0,702	0,764	0,721	0,742
A6	**1-2-5-6-8-9-11-21-22-23**	0,832	0,827	0,800	0,830	0,814	0,822
A7	**1-2-5-8-9-10-22-23**	0,583	0,638	0,633	0,610	0,636	0,623
A8	**1-2-5-8-9-11-21-22-23**	0,591	0,641	0,656	0,616	0,648	0,632
A9	**1-2-4-12-13-14-15-20-21-22-23**	0,762	0,740	0,800	0,751	0,770	0,761
A10	**1-2-4-16-17-18-19-20-21-22-23**	0,765	0,739	0,798	0,752	0,769	0,761

Çizelge 3.30. Gri İlişkisel Derece Tablosu

					α=0,9 ve λ=0,5		
YOL	**ALTERNATİFLER**	**l**	**m**	**u**	**Alt sınır**	**Üst sınır**	**Net sayı**
A1	**1-2-3-7-10-22-23**	0,764	0,738	0,680	0,74	0,73	0,736
A2	**1-2-3-7-11-21-22-23**	0,770	0,790	0,739	0,79	0,78	0,786
A3	**1-2-5-6-7-10-22-23**	0,772	0,722	0,688	0,73	0,72	0,723
A4	**1-2-5-6-7-11-21-22-23**	0,822	0,841	0,839	0,84	0,84	0,840
A5	**1-2-5-6-8-9-10-22-23**	0,788	0,740	0,702	0,74	0,74	0,741
A6	**1-2-5-6-8-9-11-21-22-23**	0,832	0,827	0,800	0,83	0,82	0,826
A7	**1-2-5-8-9-10-22-23**	0,583	0,638	0,633	0,63	0,64	0,635
A8	**1-2-5-8-9-11-21-22-23**	0,591	0,641	0,656	0,64	0,64	0,639
A9	**1-2-4-12-13-14-15-20-21-22-23**	0,762	0,740	0,800	0,74	0,75	0,744
A10	**1-2-4-16-17-18-19-20-21-22-23**	0,765	0,739	0,798	0,74	0,75	0,744

Çizelge 3.31. Birleştirilmiş Gri İlişkisel Derece Tablosu

	Eşitlik (3-3)	α=0,1		α=0,5		α=0,9		λ=0,5		
YOL	**ALTERNATİFLER**	**Alt sınır**	**Üst sınır**	**Alt sınır**	**Üst sınır**	**Alt sınır**	**Üst sınır**	W_{kA}	$W_{kÜ}$	W
A1	**1-2-3-7-10-22-23**	0,76	0,69	0,75	0,71	0,74	0,73	0,75	0,72	0,73
A2	**1-2-3-7-11-21-22-23**	0,77	0,74	0,78	0,76	0,79	0,78	0,78	0,78	0,78
A3	**1-2-5-6-7-10-22-23**	0,77	0,69	0,75	0,71	0,73	0,72	0,74	0,71	0,72
A4	**1-2-5-6-7-11-21-22-23**	0,82	0,84	0,83	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
A5	**1-2-5-6-8-9-10-22-23**	0,78	0,71	0,76	0,72	0,74	0,74	0,75	0,73	0,74
A6	**1-2-5-6-8-9-11-21-22-23**	0,83	0,80	0,83	0,81	0,83	0,82	0,83	0,82	0,82
A7	**1-2-5-8-9-10-22-23**	0,59	0,63	0,61	0,64	0,63	0,64	0,62	0,64	0,63
A8	**1-2-5-8-9-11-21-22-23**	0,60	0,65	0,62	0,65	0,64	0,64	0,63	0,65	0,64
A9	**1-2-4-12-13-14-15-20-21-22-23**	0,76	0,79	0,75	0,77	0,74	0,75	0,75	0,76	0,75
A10	**1-2-4-16-17-18-19-20-21-22-23**	0,76	0,79	0,75	0,77	0,74	0,75	0,75	0,76	0,75

Çizelge 3.28, Çizelge 3.29, Çizelge 3.30 ve Çizelge 3.31 incelendiğinde α'nın 0,1 değeri için,

A4>A6>A9>A10>A2>A5>A3>A1>A8>A7

0,5 değeri için,

A4>A6>A2>A9>A10>A5>A1>A3>A8>A7

0,9 değeri için,

A4>A6>A2>A9>A10>A5>A1>A3>A8>A7

Birleştirilmiş değeri için,

A4>A6>A2>A5>A10>A9>A1>A3>A8>A7 olarak belirlenmiştir.

Tüm alternatiflerde en iyi yol A4, en kötü yol A7 olarak bulunmuştur.

3.7. Sonuçların Karşılaştırılması

Bu çalışmada Zammori ve ark. tarafından ele alınan projedeki bulanık değerler durulaştırılarak ÇKKV yöntemleri uygulanmıştır. Sırasıyla, AHP, PROMETHEE, MOORA, Gri İlişkisel Analiz ve Fuzzy Gri İlişkisel Analiz yöntemleri kullanılmıştır. Farklı yöntemlerde karşılaştırmaların aynı olabilmesi için anketlerin aynı kişilerce değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle Zammori'nin çalışmasındaki veriler kullanılmıştır.

AHP yöntemi seçilmesinin nedeni, amacın bir hiyerarşi içinde analiz edilebilmesi ve kullanımının kolay olmasıdır. PROMETHEE yönteminin seçilmesinin nedeni, pek çok uygulamada başarılı sonuçlar vermiş etkin bir sıralama yöntemi olması ve karar verme sürecini ayrıntılı bir şekilde analiz etmesidir. Daha sonra ise, MOORA algoritması ile çözüm aranmaya devam edilmiştir. 2006 yılında ilk olarak tanıtılan çok yeni ve proje yönetiminde kritik yolun bulunması alanında henüz denenmemiş bir yaklaşım olması nedeniyle özellikle seçilmiştir.

Son olarak farklı bir bakış açısıyla değerlendirme yapabilmek amacıyla farklı problem tipleri için uygun Gri İlişkisel Analiz yöntemi uygulanmıştır. Tüm bu yöntemlerde durulaştırma yapılarak çözüm aranmıştır. Elde edilen sonuçlar ile TOPSIS sonucu farklı çıkmıştır. Farklılığın nedeni durulaştırma olabileceği düşünülerek durulaştırma yapmadan Fuzzy Gri İlişkisel Analiz yöntemide uygulanmıştır. Bu yöntemlerin amacı, stokastik veya bulanık karar verme yöntemleriyle çözülemeyen problemlerin modellenmesini ve çözülmesini sağlamaktadır.

Sonuç olarak çalışmada uygulanan 5 farklı ÇKKV yöntemi kullanılarak kritiklik derecelerine göre elde edilen en iyi yol ve en kötü yollar Çizelge 3.32'de verilmiştir.

Çizelge 3.32. Uygulanan Tüm Yöntemlerin Sonuçları

	YÖNTEMLER	EN İYİ YOL	EN KÖTÜ YOL
ÖNERİLEN YÖNTEMLER	AHP	4	7
	PROMETHEE	4	7
	MOORA	4	3
	GRİ İLİŞKİSEL ANALİZ	4	8
	FUZZY GRİ İLİŞKİSEL ANALİZ	4	7
LİTERATÜR	TOPSIS	5	7

Çizelge 3.32 incelendiğinde, uygulanan 5 yöntemde de alternatiflerden 4. Yol en iyi yol olarak bulunduğu görülmektedir. Ancak TOPSIS yöntemi uygulamasında 5. yol en iyi yol olarak bulunmuştur. Çizelge de ilk dört yöntemde durulaştırma yapılmış son yöntemde ise yapılmamıştır. Buna rağmen yine sonuç değişmemiştir. Bu durumda 4 ve 5. Yolun amaç fonksiyon değerelerine göre karar vermenin daha iyi olabileceği düşünülerek; Çizelge 3.33 hazırlanmıştır. Çizelge 3.33' de 4. ve 5. yolun her kriter için, Zammori ve ark.'nın bulanık değerlerinin α kesmelerinin birleştirilmiş durulaştırılmış net hali (Bölüm 3.2.2'de anlatılmıştır.) ve amaç fonksiyon tipi verilmiştir.

Çizelge 3.33. En iyi yolların karşılaştırılması

Kriterler	4.yol	5.yol	Amaç
1.kriter	**125**	124	Max
2.kriter	0,99	**0,98**	Min
3.kriter	**1150**	682	Max
4.kriter	**1,93**	2,32	Min
5.kriter	69	**72**	Max
6.kriter	**5,3**	3,2	Max
7.kriter	**4,3**	2,1	Max

Çizelge 3.33. incelendiğinde amaçlara göre tüm kriterler açısından 4 ve 5.yol değerlendirildiğinde 4.yolda 5 amaca, 5.yolda 2 amaca ulaşıldığı görülmektedir. Dolayısıyla 4.yolun daha iyi olduğu söylenebilir. Ayrıca Zammori ve ark.'nın makalesinde sonuç tablosunda 4.yol ve 5.yol farklı yol gibi verilmekle birlikte aynı düğümlerden oluşan yol olduğu görülmektedir. Dolayısıyla her ne kadar Zammori 5.yolun en iyi olduğunu ifade etmekle birlikte net olarak hangi yol olduğu tespit edilememektedir.

TOPSIS yönteminin bu alanda iyi sonuç vermediği söylenebilir. "Farklı yöntem kullanarak aynı sonuca ulaşmayı denemek gereklidir", şeklinde yorumlanabilir.

Tezde, birleştirilmiş α-cut metodu ile durulaştırma işlemi yapılarak; farklı ÇKKV yöntemleri ile çözüm aranmıştır. ÇKKV yöntemleri problemin çözüm aşamasındaki akışa göre belirlenmiştir. AHP yöntemi, ağırlıkların kolay bir şekilde değerlendirilmesi açısından; Promethee yöntemi, etkin bir sıralama yöntemi olduğu için; Moora algoritması, yeni, literatürde proje yönetimi alanında uygulanmadığı ve farklı Moora yöntemlerinin sentezlenebilme özelliğinden ötürü; Gri İlişkisel Analiz yöntemi ise, belirsiz ve karmaşık problem tipleri için uygun olan bir yöntem olduğu için seçilmiştir. Net sayılarla çözüm aranan problem verileri, başlangıç bulanık veriler dikkate alınarak da çözüme ulaşılması amaçlandığı için Fuzzy Gri İlişkisel Analiz yöntemi de uygulanmıştır.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Birçok projede bir yolun potansiyel kritikliğini etkileyen çeşitli ek parametreler vardır. Ancak genelde sadece süre ya da maliyet dikkate alınır. Bu sınırı genişletmek için pek çok kriteri dikkate alan yenilikçi bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu çalışmada; ÇKKV tekniklerinden iyi analiz yapabilen ve uygulaması kolay AHP; çok yeni ve proje yönetiminde kritik yolun bulunması alanında henüz denenmemiş bir yöntem olan MOORA Algoritması; başarılı sonuçlar veren PROMETHEE ve farklı bir bakış açısıyla karmaşık problemlerin modellenmesini ve çözülmesini sağlayan Gri İlişkisel Analiz ve Fuzzy Gri İlişkisel Analiz yöntemleri yardımıyla proje şebekesine ait yolların kritiklik sıralaması belirlenmiştir.

Önerilen yönteme göre analizde kullanılan risk kriterlerini değerlendirmek için proje bir bütün olarak ele alınmalıdır. Her faaliyet dikkatli bir şekilde analiz edilmeli ve projenin devam eden aşamaları boyunca izlenmelidir. Gerçek kritik yolun belirlenmesi ve projenin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için bu uygulamalar gereklidir.

Literatürde inşaat projesinde Fuzyy TOPSIS yöntemi ile en kritik yol hesaplanmıştır. Çalışmada aynı şebeke üzerinde farklı ÇKKV yöntemleri uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Uygulanan tüm yöntemlerde en iyi yol 4. yol, TOPSIS yönteminde 5.yol olarak bulunmuştur. Farklılığın nedeni durulaştırmadaki hassaslık olabileceği düşünülerek farklı α kesmeleri 0.1, 0.5, 0.9 ve birleştirilmiş olarak uygulanmıştır. Ayrıca, durulaştırma uygulanmadan fuzzy değerler kullanılarak da çözüm yapılmıştır. Ancak bu yöntemlerle de en iyi yol yine 4. yol çıkmıştır.

Amaçlar açısından da 4 ve 5. yol incelenirse, 4. yolda beş amaca, 5. yolda iki amaca ulaşıldığı görülmektedir. Dolayısıyla 4. yolun en iyi yol olduğu söylenebilir.

ÇKKV yöntemleri literatürde pek çok alana uygulanmış olmakla birlikte; proje yönetiminde en iyi yolun bulunmasında Zammori ve ark.'nın çalışması haricinde rastlanmamıştır. Zammori ve ark. TOPSIS yöntemini uygulamıştır.

Tezde ÇKKV yöntemlerinden AHP, PROMETHEE, MOORA, Gri İlişikisel Analiz ve Fuzzy Gri İlişikisel Analiz yöntemleri yapılan araştırmalara göre ilk kez proje yönetiminde kritik yolun bulunmasında kullanılmaktadır. Dolayısıyla, daha önce yapılan bir çalışmanın farklı bir bakış açısıyla incelenerek değerlendirmesini içeren bu çalışma, farklı ÇKKV tekniklerinin kritik yolun bulunması için uygulanması yönüyle literatüre katkı sağlamıştır.

ÇKKV tekniklerini kullanarak ele alınan problem, sıralama seçimi ya da sınıflandırma seçimi şeklinde olabilir. Yapılmak istenen seçime göre uygun yöntemler kullanılmalıdır. Örneğin Promethee etkin bir sıralama yöntemidir. Farklı fonksiyon tanımlamalarıyla kriterlerde ele alınan parametrelerde meydana gelen değişikliği gözlemek ve detaylı sıralama yapmak istenirse Promethee yöntemi seçilebilir.

Benzer şekilde AHP de sıralama yöntemidir. Kriterler temelinde alternatifleri puanlayarak oluşturulan ikili karşılaştırma matrisleri sonucunda AHP yardımıyla alternatiflerin ağırlıkları çok kolay bir şekilde hesaplanabilir. Dolayısıyla karar vericiye, çok hızlı bir şekilde kriterlerin önem derecesine göre alternatiflerin bir sıralamasını verir.

Literatüre yeni katıldığı söylenebilecek Moora algoritması da sıralama yöntemidir. Moora algoritması; daha önce başka bir yöntemle (örneğin AHP) elde edilen ağırlıkların kullanılması suretiyle bir sağlama yöntemi olarak düşünülebilir. Farklı oranlama yöntemleri kullanılarak sıralama elde etme aşamasında baskınlıklar arasında karar verilemediği durumlarda başka yöntemle elde edilen alternatif ağırlıklarından yararlanabilir. Bu nedenle uygulanacak ilk yöntem olmamalıdır. MOORA metoduyla ulaşılan tablolardan hareketle amaçlar arası yeni ilişkiler

tanımlanabilir. Metodun uygulama aşamalarında ara değerlendirmeler yapılarak, alternatiflerin güncellenmesini sağlayan modeller geliştirilebilir.

Gri İlişkisel Analiz yöntemi de sıralama yöntemidir. Gri İlişkisel Analiz yöntemi, herhangi bir ÇKKV yöntemi denenerek sonuca ulaşılmış fakat belirsiz bir durum var ise ya da sonuca ulaşılmamış ancak karmaşık bir problemde alternatifleri değerlendirmek için kullanılmalıdır.

Çalışmada, sıralama teknikleri kullanılmıştır. İleriki çalışmalarda, diğer ÇKKV yöntemleri ve melezleri uygulanabilir.

Zammori ve ark. çalışmalarında inşaat projesine özgü kriterleri belirlemişlerdir. Bu kriterler genişletilebilir veya farklı projelerde farklı kriterler belirlenebilir.

KAYNAKLAR

Aladağ, Z., Ulusoy, S., "Lastik Sektöründe AHP Yöntemi İle Ürün Geliştirme Sürecinin İncelenmesi", ***Kara Harp Okulu 1. Sistem Mühendisliği ve Savunma Uygulamaları Sempozyumu***, 673-683 (1995).

Albadvi, A., "Formulating national information technology strategies: A preference ranking model using PROMETHEE method", ***European Journal of Operational Research***, 153: 290– 296 (2004).

Albadvi, A., Chaharsooghi, S.K., ve Esfahanipour, A., "Decision making in stock trading: An application of PROMETHEE", ***European Journal of Operational Research,*** 177: 673–683 (2007).

Amiri M.P., **"**Project selection for oil-fields development by using the AHP and fuzzy TOPSIS methods***", Expert Systems with Applications***,37(9): 6218-6224 (2010).

Araz, C., Özfirat, P.M., Özkarahan, İ**., "**An Integrated Multicriteria Decision-Making Methodology for Outsourcing Management", ***Computers & Operations Research***, Article in pres (2006).

Araz, C., Özkarahan, İ., "Supplier Evaluation and Management System for Strategic Sourcing Based on a New Multicriteria Sorting Procedure", ***International Journal of Production Economics***, 106(2): 585-606 (2007).

Aydoğan, K.E., Gencer, C., Aytürk,S., "Evaluation of a Light Machine Gun Using Analytic Network Process", ***Defence Science Journal***, 59 (3): 273-283 (2009).

Badri, MA., "A Combined AHP-GP model for Quality Control Systems", ***International Journal of Production Economics***, 72: 27-40 (2001).

Baourakis, G., Doumpos, M., Kalogeras, N., ve Zopounidis, C., "Multicriteria analysis and assessment of financial viability of agribusinesses: The case of marketing cooperatives and juice-producing companies", ***Agribusiness,*** 18(4): 543–558 (2002).

Baptıstella, L. F. Bollero, A. "Fuzzy Methodologies for Interactive Multicriteria Optimization", ***IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics***, 10: 355-365 (1980).

Barbeau, E., "Reciprocal Matrices of Order", ***Mathematical Modelling,*** 9(3-5): 321-326 (1987).

Belton V. ve Stewart T.J.,"Multiple Criteria Decision Analysis", ***Kluwer Academic Publishers*** (2002).

Bevilacqua, M., Braglia, M., "The Analytic Hierarcy Process Applied to Maintenance Strategy Selection", ***Reliability Engineering and System Safety***, 70: 71-83 (2000).

Brans, J.P., Vincke, P., "A Preference Ranking Organization Method: The PROMETHEE Method for MCDM", ***Management Science***, 31(6): 647-656 (1985).

Brauers Willem K. M., Ginevicius R, "Robustness In Regional Development Studies",***Journal of Business Economics and Management***, 10: 121-140 (2009).

Brauers Willem K. M.,Zavadskas E. K.,"Project Management by Multi-Moora As An Instrument For Transition Economies", ***Technological and Economic Development of Economy,*** 16: 5-24 (2010).

Brauers Willem K. M.,Zavadskas E. K.,"Multimoora Optimization Used To Decide On A Bank Loan To Buy Property", ***Technological and Economic Development of Economy,*** 17: 174-188 (2011).

Brauers Willem K. M.,Zavadskas E. K.," Robustness Of The Multi-Objective Moora Method With A Test For The Facilities Sector", ***Technological and Economic Development of Economy***,15: 352-375 (2009).

Brauers Willem K. M.,Zavadskas E. K.,Turskis Z., Vilutiene T.,"Multi-Objective Contractor's Ranking By Applying The Moora Method", ***Journal Of Business Economics And Management,*** 9: 245-255 (2008).

Brauers Willem K. M.,Zavadskas E. K.,"The Moora Method And Its Application To Privatization In A Transition Economy", ***Control And Cybernetics***, 35(2): 145-147 (2006).

Brauers Willem K. M.,Zavadskas E. K., Peldschus F., Turskis Z.," Multi-Objective Optimization Of Road Design Alternatives With An Application Of The Moora Method", ***The 25th International Sysmposium On Automation and Robotics In Construction*** (2008).

Bredillet C., Yatim F. and Ruiz P., **"**Project management deployment: The role of cultural factors", ***International Journal of Project Management,*** 28(2): 183-193 (2010).

Bulut K., Soylu B., "Öğretim Üyelerinin İş yükü Seviyelerini Ölçmek İçin Bir Analitik Ağ Modeli ve Mühendislik Fakültesinde Bir Uygulama", ***13.Ulusal Ergonomi Kongresi***, Kayseri (2007).

Chakraborty, T.K., "A Class of Single Sampling Inspection Plans Based on Probabilistic Programming Problem", ***Fuzzy Sets and Systems***, 63: 35-42 (1994).

Chamodrakas I., Batis D. and Martakos D., "Supplier selection in electronic marketplaces using satisficing and fuzzy AHP", ***Expert Systems with Applications,*** 37(1): 490-498 (2010).

Chan, FTS., Lau, H., "Integration of expert systems with AHP for the design of material handling equipment selection system", ***Journal of Materials Processing Technology,*** 116: 137-145 (2001).

Chang, C. L., Liu, P. H. ve Wei, C. C. "Failure Mode and Effect Analysis Using Grey Theory", ***Integrated Manufacturing Systems,*** 12(3): 211-216 (2001).

Charnes, A., Cooper, W.W. ve Rhodes, E.,"Measuring The Efficiency of Decision MakingUnits", ***European Journal of Operational Research,*** 15: 429-444 (1978).

Chou, W. C., Lin, W. T., ve Lin, C. Y., "Application of fuzzy theory and PROMETHEE technique to evaluate suitable ecotechnology method: A case study in Shihmen Reservoir Watershed, Taiwan", ***Ecological Engineering***, 31: 269–280 (2007).

Chou C. C., Liu N. M., Horng J. T. and Chiang K.T.," Designing parameter optimization of a Parallel-Plain Fin heat sink using the grey-based fuzzy algorithm with the orthogonal arrays", ***International Journal of Thermal Sciences,*** 48(12): 2271-2279 (2009).

Chunas S., Kamburowskı, J., "The Use of Fuzzy.Variables in PERT", ***Fuzzy Sets and Systems,*** 1: 11-19 (1981).

Çitli N., "Bulanık Çok Kriterli Karar Verme", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul (2006).

Dağdeviren, M., ve Eren, T., "Analytical Hierarchy Process and Use of 0-1 Goal Programming Methods in Selecting Supplier Firm", ***J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.,*** 16(2): 41- 52 (2001).

Dağdeviren, M., Eraslan, E., "PROMETHEE Sıralama Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi", ***Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,*** (2007).

Dağdeviren M., "Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Personel Seçimi ve Bir Uygulama", ***Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der,*** Gazi Univ. 22(4): 791-799 (2007).

Davıs, E.W., "Project Management: Techniques, Applications and Managerial Issues", ***Industrial Engineering & Management Press,*** (1983).

Diakoulaki D., Zopounidis C., G.Mavrotas ve M.Doumpos ,"The Use of A Preference Disaggregation Method in Energy Analysis and Policy Making", ***Energy*** 24(2): 157-166 (1997).

Doumpos M. ve Zopounidis C., "Multicriteria Classification and Sorting Methods: A Literature Review", ***European Journal of Operational Research***, 138(1): 229-246 (2002).

Ediger V., Çamdalı Ü., "Energy and Exergy Efficiencies in Turkish Transportationsector, 1988–2004", ***Energy Policy,*** 35:1238–1244 (2007).

Escobar, MT., Jımenaz, JM., "Reciprocal Distributions in the AHP", ***European Journal of Operational Research***, 123: 154-174 (2000).

Evans, G.W., "Applications of fuzzy set methodologies in IE*",* ***Oxford Press***, (1989).

Francesco A. Zammori et al., "A fuzzy multi-kriteria approach for ciritical path definition***", International Journal of Project Management***, 27: 278-291 (2009).

Fung C.,"Manufacturing process optimization for wear property of fiber-reinforced polybutylene terephthalate composites with grey relational analysis", ***Wear***,254(3-4): 298-306 (2003).

Hardie N., "The prediction and control of project duration: a recursive model", ***International Journal of Project Management,*** 19(7): 401-409 (2001).

Heo E., Kim J. and Boo K.J., "Analysis of the assessment factors for renewable energy dissemination program evaluation using fuzzy AHP", ***Renewable and Sustainable Energy Reviews***, 14(8): 2214-2220 (2010).

Hsu, C.I. and Wen, Y.H., "Application of Grey Theory and Multiobjective Programming Towards Airline Network Design*",* ***European Journal of Operational Research***, 127(1): 44-68 (2000).

Hwang C.L., Yoon K., "Multiple Attribute Decision Making", Springer-Verlag, Berlin (1981).

Hyde, K., Maier, H., ve Colby, C., "Incorporating uncertainty in the PROMETHEE MCDA method", ***Journal of Multi-Criteria Decision Analysis,*** 12: 245–259 (2003).

Iniestra, J. G., ve Gutiérrez, J.G., "Multicriteria decisions on interdependent infrastructure transportation projects using an evolutionarybased framework", ***Applied Soft Computing,*** 9: 512–52 (2009).

İnternet: http://www.bilgicenneti.com/d-8290-proje+yonetimi+tarihcesi.html (2011).

Johnson, M.P., "Spatial decision support for assisted housing mobility counseling", ***Decision Support Systems***, 41: 296–312 (2005).

Jung H., "A fuzzy AHP–GP approach for integrated production-planning considering manufacturing partners", ***Expert Systems with Applications***, 38(5): 5833-5840 (2011).

Kalibatas D., Turskis Z.,"Multicriteria Evaluation Of Inner Climate By Using Moora Method", ***Information Technology And Control***, 37(1): 56-57 (2008).

Keskinel F. Prof. Dr., Şebeke Bazlı Bilgisayar Destekli Proje Yönetimi, ***Birsen Yayınevi***, İstanbul (2000).

Korvın, A.De, Kleyle, R., "A fuzzy set approach to resource procurement for multi-phase projects subject to flexible budgetary constraints", ***Journal of Intelligent and Fuzzy Systems,*** 9: 225-233 (2000).

Kracka M., Brauers Willem K. M.,Zavadskas E. K.,"Ranking Heating Losses in a Building by Applying the Multimoora", ***Inzinerine Ekonomika- Engineering Economics***, 21: 352-359 (2010).

Kuchta D., "Use of fuzzy numbers in project risk (critically) assesment" ***International Journal of Project Management,*** 19(5): 305-310 (2001).

Kwak Y. H. and Anbari F. T.," Analyzing project management research: Perspectives fromtop management journals*",* ***International Journal of Project Management,*** 27(5): 435-446 (2009).

Lai, Y.J., Hwang, C.L., "Fuzzy Mathematical Programming Methods and Applications", ***Springer Verlag***, Heidelberg (1992).

Lai H. H., Lin Y. C. and Yeh C.H., "Form design of product image using grey relational analysis and neural network models", ***Computers & Operations Research***, 32(10): 2689-2711 (2005).

Lester A., "Project Planning and Control", ***Butterworth-Heinmann*** (1991).

Liberatore, M. J., "Project Schedule Uncertainty Analysis Using Fuzzy Logic", ***Project Management Journal***, 15-22 (2002).

Lilien, G., "A mid-life Crisis. Interfaces", ***MS/OR***, 17: 53-59 (1987).

Lin, J.L., Lın, C.L., "The Use of The Orthogonal Array With Grey Relational Analysis to Optimize The Electrical Discharge Machining Process With Multiple Performance Characteristics", ***International Journal of Machine Tools & Manufacture,*** 42:237– 244 (2002).

Liu, S.-T., "Fuzzy Activity Times in Critical Path and Project Crashing Problems", ***Cybernetics and Systems: An International Journal***, 34: 161-172 (2003).

Lu, H.S., Chang, C.K., Hwang, N.C., Chung, C.T., "Grey Relational Analysis Coupled With Principal Component Analysis for Optimization Design of The Cutting Parameters in High-Speed End Milling", ***Journal of Materials Processing Technology,*** 209:3808–3817 (2009).

McHugh O. and Hogan M., "Investigating the rationale for adopting an internationally-recognised project management methodology in Ireland: The view of the project manager ", ***International Journal of Project Management***, 29(5): 637-646 (2011).

Milosevic D. and Patanakul P., "Standardized project management may increase development projects success", ***International Journal of Project Management***, 23(3): 181-192 (2005).

Mohamadabadi, H., S., Tichkowsky, G., ve Kumar, A., "Development of a multicriteria assesment model for ranking of renewable and non-renewable transportation fuel vehicles", ***Energy***, 34: 112-125 (2009).

Moran J.C., Miguez J. L., " Study of the feasibility of mixing Refuse Derived Fuels with wood pellets through the grey and Fuzzy theory", ***Renewable Energy,*** 34(12): 2607-2612 (2009).

Olson, D.L., "Comparison of three multicriteria methods to predict known outcomes", ***European Journal of Operational Research***, 130, 3, 576– 587 (2001).

Özkan Ö., "Personel Seçiminde Karar Verme Yöntemlerinin İncelenmesi: Ahp, Electre ve Topsis Örneği", Yüksek Lisans Tezi, ***Dokuz Eylül Üniversitesi***, İzmir (2007).

Palanıkumar, K., Karunamoorthy, L., Karthıkeyan, R., "Multiple Performance Optimization of Machining Parameters on the Machining of GFRP Composites Using Carbide (K10) Tool", ***Materials and Manufacturing Processes***, 21: 846–852 (2006).

Patlitzianas K. D., Ntotas K., Doukas H., Psarras J., "Assessing The Renewable Energy Producers‟ ***Environment in EU Accession Member States, Energy Conversion and Management,*** 48: 890–897 (2007).

Pohekar S.D., Ramachandran M., "Application of Multi-criteria Desicion Making to Sustainable Energy Planning-A Review", ***Renewable &Sustainable Energy Reviews***, 8(4): 365-381 (2004).

Pontrandolfo P., "Project duration in stochastic networks by the PERT-path techinuque", ***International Journal of Project Management,*** 215-222 (2000).

Queiruga, D., Walther, G., Gonza'lez-Benito, J., ve Spengler, T., "Evaluation of sites for thelocation of WEEE recycling plants in Spain", ***Waste Management***, 28(1): 181–190 (2008).

Qureshi T.M., Warraich A. S.. and Hijazi S. T., **"**Significance of project management performance assessment (PMPA) model", ***International Journal of Project Management,*** 27(4): 378-388 (2009).

Rekiek, B., de Lit, P., ve Delchambre, A., "Hybrid assembly line design and user's preferences", ***International Journal of Production Research***, 40(5): 1095–1111 (2002).

Roy B. ve Bouyssou D. "Aide Multicritere a la decision: Methods et Cas." ***Economica***, Paris (1993).

Rubın, P.A., Narasıhman, R., "Fuzzy Goal Programming with Nested Priorities", ***Fuzzy Sets and Systems,*** 42: 115-129 (1984).

Saaty T.L., "How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process*",* ***European Journal of Operational Research,*** 48: 9-26 (1990).

Saaty T.L., "Decision making with dependence and feedback: The Analytic Network Process", ***RWS Publications***, Pittsburgh, A.B.D. (1996).

Saaty, T., "The Analytic Hierarchy Process", ***McGraw-Hill International Book Campany***, USA, 11-16 (1980).

Sağlam B., Salman F. S., Sayın S., Turkay M. , "A Mixed-Integer Programming Approach to the Clustering Problem with an Application in Customer Segmentation", ***European Journal of Operational Research*** 173, 866-879 (2006).

Shıpley, M.F., Korvın, A. DE, Khursheed, O., "BIFPET methodology versus PERT in project management: fuzzy probability instead of the beta distribution", ***Journal of Engineering and Technology Management***, 14: 49-65 (1997).

Soner S. ve Önüt S., "Çok Kriterli Tedarikçi Seçimi: Bir ELECTRE-AHP Uygulaması", ***Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi***, Sayı: 4, 110-120 (2006).

Söderholm A., "Project management of unexpected events", ***International Journal of Project Management,*** 26(1): 80-86 (2008).

Sözen A., Nalbant M., "Situation of Turkey's Energy İndicators Among the EU Member States", ***Energy Policy,*** 35: 4993–5002 (2007).

Tam, MCY., Tummala, VMR., "An Application of The AHP in Vendor Selection of a Telecommunications System", ***The International Journal of Management Science,*** 29(2): 171-182 (2001).

Topcu Y.I., Ulengin F., "Energy for the Future: An Integrated Decision aid for the Case of Turkey", ***Energy,*** 29: 137–154 (2004).

Tosun N., "Determination of Optimum Parameters for Multi-Performance Characteristics in Drilling by Using Grey Relational Analysis", ***The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*** , 28: 450–455 (2006).

Triantaphyllou E., "Usıng the Analytıc Hıerarchy Process for Decısıon Makıng ın Engıneerıng Applıcatıons: Some Challenges", ***Journal of Industrial Engineering: Applications and Practice,*** 2(1): 35–44 (1995).

Tseng M.L., "Using linguistic preferences and grey relational analysis to evaluate the environmental knowledge management capacity", ***Expert Systems with Applications***, 37(1): 70-81 (2010).

Uyar Y., "İş Güvenliği ve Yatırımlarında Etkin Karar Verme Stratejileri Oluşturmak İçin Analitik Hiyerarşi Prosesi", Doktora Tezi***, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*** **(**2001).

Vannieuwenhuyse B., Gelders L., Pintelon L.," An Online Decision Support System for Transportation Mode Choice", ***Logistics Information Management***,16(2): 125–133 (2003.)

Vencheh A. H. and Mohamadghasemi A., "A fuzzy AHP-DEA approach for multiple criteria ABC inventory classification", ***Expert Systems with Applications*** 38(4): 3346-3352 (2011).

Wei G. W., "Gray relational analysis method for intuitionistic fuzzy multiple attribute decision making", ***Expert Systems with Applications***, 38(9):11671-11677 (2011).

Wu, H. "A Comparative Study of Using Grey Relational Analysis in Multiple Attribute Decision Making Problems", ***Quality Engineering***, 15(2): 209-217 (2002).

Yedla S., Shrestha R. M., „Multi-Criteria Approach for the Selection of Alternative Options for Environmentally Sustainable Transport System in Delhi", ***Transportation Research Part***, A377, 17–729 (2003).

Yamak, O.,"Proje Yönetim Teknikleri", ***Komputron Ltd. Şti***., İstanbul, 1998.

Zenely, M., "Optimal System Design with Multiple Criteria", ***Engineering Cost and Production Economics***, 10: 89-94 (1986).

Zhang, G., Ni, Y., Churchill, J., ve Kokot, S., "Authentication of vegetable oils on the basis of their physico-chemical properties with the aid of chemometrics", ***Talanta,*** 70: 293–300 (2006).

Zhang S. and Liu S., "A GRA-based intuitionistic fuzzy multi-criteria group decision making method for personnel selection", ***Expert Systems with Applications,*** 38(9): 11401-11405 (2011).

Zheng G., Jing Y., Huang H. and Gao Y., "Application of improved grey relational projection method to evaluate sustainable building envelope performance", ***Applied Energy,*** 87(2): 710-720 (2010).

EKLER

EK-1. Önem Derecesi Hesaplama Tablosu

YOL	ALTERNATİFLER DÜĞÜMLER	K1: PL				K2:PCr				K3:PC				K4:AP				K5:RMR				K6:SRC				K7:ER			
		NET SAYI	MİN_FARK	ARTIŞ_ORAN	DEĞER	NET SAYI	MAX_FARK	ARTIŞ_ORAN	DEĞER	NET SAYI	MİN_FARK	ARTIŞ_ORAN	DEĞER	NET SAYI	MAX_FARK	ARTIŞ_ORAN	DEĞER	NET SAYI	MİN_FARK	ARTIŞ_ORAN	DEĞER	NET SAYI	MİN_FARK	ARTIŞ_ORAN	DEĞER	NET SAYI	MİN_FARK	ARTIŞ_ORAN	DEĞER
A1	1-2-3-7-10-22-23	122	22	3	*7*	0,97	0,0	0,54	*1*	519	129	1	*1*	2,5	0,9	2,5	*5*	62	20	2,6	*5*	5,1	4,8	3,8	*7*	2,1	1,7	1,3	*1*
A2	1-2-3-7-11-21-22-23	124	23	4	*7*	0,95	0,1	1,03	*3*	1116	726	4	*7*	2,1	1,3	3,6	*7*	63	21	2,7	*5*	4,7	4,3	3,4	*7*	2,1	1,7	1,3	*1*
A3	1-2-5-6-7-10-22-23	123	23	4	*7*	0,98	0,0	0,37	*1*	553	163	1	*1*	2,5	0,9	2,5	*5*	68	26	3,3	*7*	3,9	3,6	2,9	*5*	0,4	0	0,0	*1*
A4	1-2-5-6-7-11-21-22-23	125	24	4	*7*	0,99	0,0	0,28	*1*	1150	760	4	*7*	1,9	1,4	4,0	*9*	69	27	3,5	*7*	5,3	5	4,0	*9*	4,3	3,8	2,9	*5*
A5	1-2-5-6-8-9-10-22-23	124	23	4	*7*	0,98	0,0	0,34	*1*	682	291	1	*3*	2,3	1	2,9	*5*	72	30	3,9	*7*	3,2	2,8	2,3	*5*	2,1	1,7	1,3	*1*
A6	1-2-5-6-8-9-11-21-22-23	126	25	4	*9*	1,00	0,0	0,00	*1*	1075	685	3	*7*	2,1	1,3	3,7	*7*	73	31	4,0	*9*	3,9	3,6	2,9	*5*	3,5	3,1	2,4	*1*
A7	1-2-5-8-9-10-22-23	101	0	0	*1*	0,80	0,2	4,00	*9*	390	0	0	*1*	3,4	0	0,0	*1*	42	0	0,0	*1*	1,8	1,5	1,2	*3*	4,2	3,8	2,9	*5*
A8	1-2-5-8-9-11-21-22-23	103	3	0	*1*	0,82	0,2	3,56	*7*	784	394	2	*3*	3,1	0,2	0,7	*1*	43	1	0,1	*1*	1,8	1,5	1,2	*3*	3,5	3,1	2,4	*3*
A9	1-2-4-12-13-14-15-20-21-22-23	124	23	4	*7*	0,99	0,0	0,31	*1*	1214	824	4	*9*	2,2	1,1	3,1	*5*	45	3,1	0,4	*1*	0,3	0	0,0	*1*	5,0	4,6	3,5	*7*
A10	1-2-4-16-17-18-19-20-21-22-23	122	21	3	*7*	0,96	0,0	0,74	*1*	835	444	2	*5*	3,2	0,1	0,4	*1*	52	9,4	1,2	*3*	1,1	0,7	0,6	*1*	5,7	5,2	4,0	*9*

MAX	126	1	1214	3,4	73	5,3	5,7	
MİN	101	0,8	390	1,9	42	0,3	0,4	
FARK	25	0,2	824	1,4	31	5	5,2	
ARTIŞ-DEĞİŞİM	6,3	0,1	206	0,4	7,7	1,3	1,3	

EK-2. Fuzzy Gri İlişkisel Analiz Başlangıç Verileri

ALTERNATİFLER		K1: PL			K2:PCR			K3: PC			K4: AP			K5: RMR			K6: SRC			K7: ER		
		l	**m**	**u**	l	**m**	**u**	l	**m**	**u**	l	**m**	**u**	l	**m**	**u**	l	**m**	**u**	l	**m**	**u**
A1	**1-2-3-7-10-22-23**	108	123	134	0,77	0,97	1,2	495	520	539	1,24	2,24	4,9	38,1	65,2	69,3	3	5,6	6,6	0	2,4	3
A2	**1-2-3-7-11-21-22-23**	106	124	139	0,76	0,98	0,99	1084	1116	1148	0,97	1,88	4,03	43,1	66	69,7	2	5	8	0	2,4	3
A3	**1-2-5-6-7-10-22-23**	111	124	133	0,79	0,98	1,19	525	554	577	1,29	2,25	4,68	57,6	69,3	71,3	1,3	4,3	7	0	0	3
A4	**1-2-5-6-7-11-21-22-23**	109	125	138	0,78	0,98	1,23	1114	1150	1186	0,24	1,88	3,85	62,6	70	71,7	3	5,6	8,6	1,3	4,3	7
A5	**1-2-5-6-8-9-10-22-23**	112	124	133	0,8	0,98	1,19	650	682	712	1,23	2,13	4,35	64,6	73	74,7	0,6	3,6	6	0	2,4	3
A6	**1-2-5-6-8-9-11-21-22-23**	111	127	137	0,79	1	1,22	1037	1075	1116	1,06	1,9	3,8	67,6	73,8	75	1,3	4,3	7	0,6	3,6	6
A7	**1-2-5-8-9-10-22-23**	90	101	111	0,64	0,8	0,99	361	390	422	1,21	3,08	6,94	10	43,4	67,7	0	2	4,3	1,6	4,3	6,6
A8	**1-2-5-8-9-11-21-22-23**	89	104	115	0,64	0,82	1,02	748	783	826	1,03	2,84	6,68	13	44,2	68	0	2	4,3	0,6	3,6	6
A9	**1-2-4-12-13-14-15-20-21-22-23**	105	124	140	0,75	0,98	1,25	1182	1214	1249	0,97	1,96	4,92	40,6	42	66,2	0	0	3	2	5	8
A10	**1-2-4-16-17-18-19-20-21-22-23**	107	121	139	0,76	0,95	1,24	804	835	865	1,42	2,82	7,08	30,7	54	60,1	0	1	3,6	3	5,6	8,6

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı	: KARACA, Tuğçe
Uyruğu	: T.C.
Doğum tarihi ve yeri	: 19.10.1986 Ankara
Medeni hali	: Bekar
Telefon	: 0 (312) 360 80 08
Faks	: 0 (554) 722 88 72
e-mail	: tugce_karacaa@hotmail.com.

EğitimDerece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Endüstri Mühendisliği	2011
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Endüstri Mühendisliği	2008
Lise	Kalaba Anadolu Lisesi	2004

Stajlar

Tarih	Yer
08.2006 – 09.2006	Aselsan Elektronik Sanayi ve Ticaret A.Ş.
07.2007 – 07.2007	Havelsan Hava Elektronik Sanayi ve Ticaret A.Ş.
08.2007 – 09.2007	Arçelik A.Ş.

İş Deneyimi

Tarih	Yer	Görev
09.2009-12.2009	GEMPA Dış Tic.	PazarlamaYöneticisi
12.2009-06.2011	Lazzoni Mobilya	Üretim Planlama Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Halk oyunları, voleybol.