

**MAKİNE SEÇİM PROBLEMİNİN
ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMİYLE ÇÖZÜMÜ**

Alptekin DEMİRAY

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞUBAT 2007
ANKARA**

**MAKİNE SEÇİM PROBLEMİNİN
ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMİYLE ÇÖZÜMÜ**

Alptekin DEMİRAY

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞUBAT 2007
ANKARA**

Alptekin DEMİRAY tarafından hazırlanan MAKİNE SEÇİM PROBLEMİNİN ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMİYLE ÇÖZÜMÜ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Serpil EROL

Tez Yöneticisi

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

Başkan : Prof. Dr. Ümit YÜCEER_____

Üye : Prof. Dr. Serpil EROL_____

Üye : Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN_____

Üye : _____

Üye : _____

Tarih : 02 / 02 / 2007

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

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

Alptekin DEMİRAY

**MAKİNE SEÇİM PROBLEMİNİN
HİYERARŞİK GRİ İLİŞKİSEL ANALİZ YÖNTEMİYLE ÇÖZÜMÜ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Alptekin DEMİRAY

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Şubat 2007**

ÖZET

Bu çalışmada; Otomotiv Yan Sanayi sektöründe faaliyet gösteren bir üretim şirketinde yapılan makine yatırımı seçim problemine farklı bir yöntem ile çözüm önerisinde bulunulmuştur. Çok kriterli karar verme problemlerine örnek bu Makine Seçim Problemi'nde, 5 ana grupta 27 faktör açısından 3 alternatif makine karşılaştırılmış, böylece firma gereksinimlerine en uygun makinenin seçilmesi Hiyerarşik Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile sağlanmıştır. Çalışmada uygulanan bu yöntem, ilk defa bir makine seçme problemi çözümünde kullanılmıştır. Hiyerarşik yapıda olması, kesin ve bulanık değerleri bir arada kullanması, karara negatif etki eden kriterler ile pozitif etki eden kriterleri beraber değerlendirmesi ile bu yöntem sadece literatüre ciddi bir katkı yapmakla kalmayacak, gerçek hayat problemlerinde yaygın olarak kullanılan yöntemler arasına da girecektir. Ayrıca, uygulama alanı olarak sadece makine seçim problemleri değil, herhangi bir seçim veya değerlendirme problemi için kolaylıkla kullanılabilecek önemli bir araç olacaktır.

Bilim Kodu : 906.1.141
Anahtar Kelimeler : Analitik hiyerarşi prosesi, hiyerarşik gri ilişkisel analiz, makine seçim problemi
Sayfa Adedi : 72
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Serpil EROL

**SOLVING A MACHINE SELECTION PROBLEM
WITH HIERARCHY GREY RELATIONAL ANALYSIS METHOD
(M.Sc. Thesis)**

Alptekin DEMİRAY

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
February 2007**

ABSTRACT

The purpose of this study is to propose a different method to solve the machine investment selection problem for a production company operating in Automotive Subsidiary Industry. In this multi-criteria decision making problem, 3 alternatives were considered and they were compared in terms of 27 factors in 5 main categories. Thus, the best fit for the company's needs has been determined by Hierarchy Grey Relational Analysis Method. The method applied in this study has been used to solve the machine selection problem for the first time. This study will contribute not only to literature, but also it will be one of the common methods used in solving real-life problems with its hierarchic structure, working with both crisp and fuzzy values and also taking into account the criterias together, which are affecting the decision negatively or positively. Besides, application area of this method will not only be machine selection problems, but also it will be an important tool to use easily in solving any selection or evaluation problem, too.

Science Code : 906.1.141
Key Words : Analitic hierarchy process, hierarchic grey relational analysis, machine selection problem
Page Number : 72
Adviser : Prof. Serpil EROL

TEŞEKKÜR

Başta danışmanım Sn. Prof. Dr. Serpil EROL olmak üzere “Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü”nün tüm öğretim üyelerine, yüksek lisans eğitimim ve tez hazırlama sürecimin tamamında gösterdikleri ilgi ve verdikleri destek için teşekkür ederim.

Çalışkanlığı ve azmi ile tüm öğrencilerine örnek olacağına inandığım “Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği” asistanlarından Sn. Diyar AKAY’a yaptığı yardımlar için minnetimi belirtmek isterim.

Yüksek lisans eğitimi ve tez hazırlama sürecinde her türlü kolaylığı gösterdikleri için başta “ORS” Genel Müdür Yardımcısı ve Fabrika Müdürü Sn. Feridun ÖZHAN olmak üzere tüm değerli “ORS” yöneticilerine teşekkür ederim.

Tez kapsamında yapılan uygulamaya değerli katkılarda bulunan “ORS” Taşıma-Montaj İmalat Md. Sn. Mehmet MUMCUOĞLU’na, Şefi Sn. Tarkan POLAT’a ve Mühendisi Sn. Niyazi SAYGILI’ya teşekkür ederim.

Tezimin bittiğini görmeyi en çok isteyen, yakın zamanda kaybettiğim dayım Sn. Mustafa ÇİÇEKÇİ’ye verdiğim sözü tutmuş olmanın mutluluğu içinde dualarımı yolluyorum.

Son olarak, bu tezi başta Babam olmak üzere tüm aileme ve nişanlıma ithaf ediyor; bana duydukları inanç, verdikleri destek, gösterdikleri anlayış ve sevgi için sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
2. MAKİNE SEÇİM PROBLEMLERİ	5
2.1. Literatür Araştırması.....	5
3. HİYERARŞİK GRİ İLİŞKİSEL ANALİZ YÖNTEMİ.....	8
3.1. Yöntemlerin Tanımı ve Literatür Araştırması	8
3.1.1. Gri ilişkisel analiz yöntemi tanımı ve literatür araştırması.....	8
3.1.2. Analitik hiyerarşi prosesi yöntemi ve literatür araştırması.....	12
3.2. Hiyerarşik Gri İlişkisel Analiz Yöntemi'nin Uygulama Adımları	15
3.2.1. Hiyerarşi oluşturma	16
3.2.2. Analitik hiyerarşi prosesi yöntemi	17
3.2.3. Gri ilişkisel analiz modeli	21
3.2.4. Hiyerarşik gri ilişkisel analiz modeli	25
4. HİYERARŞİK GRİ İLİŞKİSEL ANALİZ YÖNTEMİ'NİN BİR RULMAN FABRİKASINDA UYGULANMASI	29
4.1. Problem Tanımı.....	30

Sayfa

4.2. Kriterlerin Tanımları	32
4.3. Seçim Problemi Hiyerarşisi	38
4.4. Hiyerarşik Gri İlişkisel Analiz	41
4.4.1. Karşılaştırma matrisi hazırlanması	41
4.4.2. Ağırlıkların belirlenmesi	50
4.4.3. Gri ilişkisel analiz.....	53
5. SONUÇ	63
KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ	72

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Saaty'nin karşılaştırma ölçütleri	18
Çizelge 3.2. Saaty'nin rassal indeksleri.....	20
Çizelge 4.1. Kriter – indeks listesi (seviye 2 & 3)	40
Çizelge 4.2. Alternatif listesi (seviye 4)	40
Çizelge 4.3. Kriterlere ait karşılaştırma matrisi (K)	41
Çizelge 4.4. 1. kriter ait indekslerin karşılaştırma matrisi (K1indeks)	44
Çizelge 4.5. 2. kriter ait indekslerin karşılaştırma matrisi (K2indeks)	45
Çizelge 4.6. 3. kriter ait indekslerin karşılaştırma matrisi (K3indeks)	46
Çizelge 4.7. 4. kriter ait indekslerin karşılaştırma matrisi (K4indeks)	48
Çizelge 4.8. 5. kriter ait indekslerin karşılaştırma matrisi (K5indeks)	49
Çizelge 4.9. 1. kriter ait indekslerin ağırlıkları (K1indeks)	51
Çizelge 4.10. 2. kriter ait indekslerin ağırlıkları (K2indeks)	52
Çizelge 4.11. 3. kriter ait indekslerin ağırlıkları (K3indeks)	52
Çizelge 4.12. 4. kriter ait indekslerin ağırlıkları (K4indeks)	52
Çizelge 4.13. 5. kriter ait indekslerin ağırlıkları (K5indeks)	53
Çizelge 4.14. Sözel değerlerin sayısal karşılıkları.....	54
Çizelge 4.15. Teknik özellikler – katalog değerleri	54
Çizelge 4.16. İndeks değerleri ve sayısal karşılıkları	55
Çizelge 4.17. İndeks normalize değerleri	57
Çizelge 4.18. Birincil gri ilişkisel katsayı değerleri (G matrisi)	59
Çizelge 4.19. Gri ilişkisel derece ve sıralama	62

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Analitik hiyerarşi sistem yapısı	17
Şekil 4.1. Probleme ait hiyerarşi.....	39
Şekil 4.2. MATLAB çıktısı – kriterlerin özdeğer hesaplaması.....	43
Şekil 4.3. MATLAB çıktısı – 1. kritere ait indekslerin özdeğer hesaplaması	45
Şekil 4.4. MATLAB çıktısı – 2. kritere ait indekslerin özdeğer hesaplaması	46
Şekil 4.5. MATLAB çıktısı – 3. kritere ait indekslerin özdeğer hesaplaması	47
Şekil 4.6. MATLAB çıktısı – 4. kritere ait indekslerin özdeğer hesaplaması	48
Şekil 4.7. MATLAB çıktısı – 5. kritere ait indekslerin özdeğer hesaplaması	49

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simge

Açıklama

$\lambda_{\max}$

Bir matrise ait en büyük özdeğer

$\square$

Çarpım

ρ

Ayırıcı katsayı

Kısaltmalar

Açıklamalar

AAP

Analitik ağ prosesi

AHP

Analitik hiyerarşi prosesi

GİA

Gri ilişkisel analiz

HGİA

Hiyerarşik gri ilişkisel analiz

ORS

Ortadoğu Rulman Sanayi ve Tic. A.Ş.

1. GİRİŞ

Dünya günden güne küçülmekte, ulusal pazar rekabeti her geçen gün uluslararası boyutta çetin bir savaşa dönüşmektedir. 20. yüzyılın son çeyreğinden itibaren tüm dünyada artan rekabet, firmaları bazı değişimlere zorlamış, firma stratejileri, organizasyonel ve fonksiyonel yapılanmalar zamana bağlı olarak ciddi farklılıklar göstermiştir.

Bu süreçte, sadece fiyat gibi faktörlere bağlı rekabet politikaları yetersiz kalmış, şirketler; yüksek kalite, verimlilik, hız, ürün çeşitliliği ve esneklik gibi kavramları rekabet savaşında birer silah olarak kullanmayı öğrenmiştir [1].

Bu durum, şirketler için sadece üretmenin, satmak ve büyümek için yeterli olmadığı bir dünya meydana getirmiştir. Artık şirketler, sadece mal veya hizmet üretmemekte, aynı zamanda rekabet avantajı elde edecek birçok konuda çaba sarf etmekte ve birçok alanda sayısız rakiple mücadele etmektedir.

Rekabet gücü, öncelikle doğru yatırımla başlamaktadır. Şirketler, mal veya hizmet üretmek için yatırım planları yapmakta, bu yatırımları gerçekleştirmekte ve kullanıma sunmaktadır. Rekabet gücü yüksek bir şirkete sahip olabilmek için yapılan yatırımlar; düşük maliyetli, üretken, yüksek esnekliğe sahip kaynaklara yapılmalıdır [2].

Bu yatırım, bugünün koşullarına uygun olmalı, ancak gelecek ihtiyaçlara da cevap verecek özelliklere sahip olmalıdır.

Her karar verici, probleme farklı bir açıdan yaklaşmakta, kendi bakış açısına göre en uygun olan seçimi yapmakta, ancak çoğu zaman bu seçim farklı karar vericilerin fikirleri ile örtüşmemektedir. Aynı şekilde, en üst düzeydeki şirket yöneticilerinden en alt seviyedeki işçiye kadar her birim bu karardan

etkilenmekte, ancak her düzeydeki fikir bu kararın alınmasında dikkate alınamamaktadır.

Bu nedenle, bir seçim probleminde birçok birimin fikirlerinin yer alabileceği ve karar vericilerin karar vermekte ihtiyaç duyduğu tüm faktörleri tek platformda sunan sistematik bir yaklaşımın sunulması, bunun sonucunda sözü edilen yaklaşımın uygulanması, bu çalışmanın temel amacını oluşturmaktadır.

Örneğin, alınacak bir makinenin alternatif makineler arasında en üstün kalitede üretim yapan, en üretken ve esnek makine olması, ancak aynı zamanda en ucuz olma şansı genelde bulunmamaktadır. Aynı zamanda, maliyet dışındaki faktörlerin hepsinde en üstün makine olması da zordur. Dolayısıyla, karar vericilerin, karar verirken şirket menfaatlerine ve kısıtlarına en uygun (optimal) kararı vermeleri gerekmektedir.

Örnekte de söz edildiği gibi, yatırım kararları alınırken karar vericiler çoğu zaman birçok kriteri bir arada değerlendirmek zorundadırlar. Her bir yatırım alternatifinin birbirinden üstün oldukları özellikleri, farklı teknik kapasiteleri ve maliyetleri bulunmaktadır. Birden fazla kriterin birden fazla karar verici tarafından değerlendirildiği düşünüldüğünde, tüm karar vericilerin kabul edeceği bir karar vermenin ve bu kararın en uygun karar olmasının oldukça zor olduğu ortadadır [2].

Çalışmaya konu olarak alınan problem, bir üretim firmasının yapacağı makine yatırımında alternatif olarak alınan 3 değişik özellikteki makinenin sözü edilen firma açısından en uygun olanını seçme problemidir. Bu seçim esnasında, seçimi etkileyen 27 faktör dikkate alınmıştır.

Makine ve makine bileşenlerinin seçimi üretim yapan firmalar için çok önemli bir iştir, çünkü verilen karar doğrultusunda yapılacak yanlış bir yatırım tüm üretim sisteminin performansını negatif etkileyebilmektedir [3].

Üretim yapan firmalar için rekabet gücü, öncelikle doğru makine yatırımının yapılması ile başlar. Makine yatırımı için genellikle “Yatırımın Geri Dönüşü” yöntemi kullanılır, çünkü bu yatırım daha çok bir yenileme projesi olarak görülür ve yapılan yatırımın firmanın rekabet gücü üzerinde çok fazla etkisi olduğu düşünülmez [4].

Gerrard tarafından 1988 yılında yapılan bir ankette, yatırım kararlarında sonuç kararının üstünde mühendis seviyesindeki çalışanların etkisinin sadece %6 olduğu, kalan %94’ün ise üst ve orta düzey yöneticilerin etkisiyle gerçekleştiği ortaya konmuştur. Yine aynı çalışmanın sonucunda, makine seçim problemlerinde kullanılacak basit ve pratik bir yöntem ihtiyacı duyulduğu belirtilmiştir [3].

Makine seçim probleminde dikkate alınan faktörler incelendiğinde, bazı faktörlerin sayısal olarak ifade edilebildiğini, bazılarının ise öznel yargılarla belirtildiği görülecektir. Bu nedenle, bir makine seçim probleminde hesaba katılan yargılar, nesnel (sayısal) ve öznel yargılar (sözel) olarak ikiye ayrılmaktadır [5].

Bu çalışmada, iki kategorideki faktörler de yer almış, karşılaştırmada sözel değerler de hesaba katılmıştır.

Yine bu yöntemle, yapılan yatırımın tüm birimlerin düşüncelerinin dikkate alındığı ve sonuç olarak tüm birimlerinin ortak düşüncesinden hareketle kararın verildiği bir yatırım olması sağlanmıştır.

Çalışmada uygulanan yöntem, makine seçim problemlerinde ilk defa kullanılmıştır. Bu yöntem ile kurumların yatırım kalemleri arasında en önemli yerlerden birine sahip makinelerin seçiminde karar vericiler için önemli bir araç olacak, bu yöntem ile yapılan seçimler daha hızlı, tutarlı ve doğru yapılacaktır. Aynı zamanda, yapılan seçimlerin doğrulaması amacıyla bir “sağlama” aracı olarak kurumlara büyük fayda sağlayacaktır. Böylece, bu

uygulama kurumların rekabet gücü sağlamalarında önemli bir etken olarak rol oynayacaktır.

Çok kriterli karar verme problemlerinden birisi olan makine seçim problemini ve çözümünü konu alan bu çalışmanın 2. bölümünde, makine seçim problemlerine genel bir bakış yapılmış ve literatürde yer alan çalışmalardan örnekler sunulmuştur.

3. bölümde, çalışmada uygulanan yöntem adım adım anlatılmış, literatüre yer verilmiş ve hesaplama yöntemleri sunulmuştur.

4. bölümde, yöntemin uygulaması gösterilmiş, uygulanan şirkette yapılacak yatırıma yönelik problemin çözümü gerçekleştirilmiştir.

Son bölümde ise, çalışmanın sonuçları açıklanmış ve tartışılmıştır.

2. MAKİNE SEÇİM PROBLEMLERİ

Mal üreten şirketler için iki temel kaynak insan ve makinedir. Az gelişmiş şirketler üretimi daha çok insan kaynaklı yapmakta, kalifiye eleman ve sınırlı makine desteği ile faaliyetlerine devam etmektedir. Ancak ileri teknoloji ile yüksek hacimli üretim yapan şirketler, üretimi daha çok makine tabanlı olarak gerçekleştirmekte, insan kaynağını makinenin işletilmesine yönelik kullanmaktadır. Kullanım yerine bağlı olarak basit mekanik el preslerinden robotlara kadar uzanan geniş bir yelpaze makine sınıfına konulabilir.

Makine seçim problemi, çok fazla kritere bağlı olarak değerlendirilmesi ve karar verilmesi gereken zor bir problemdir. İşçinin kolay kullanmasından ebatlarına, esnekliğinden maliyetine, performansından parça temininin kolaylığına kadar birçok faktör seçimde rol oynayabilmektedir.

Makine seçim problemine yönelik olarak yapılan çalışma sunulmadan önce, makine ve yardımcı sistemleri seçim problemlerine yönelik olarak literatürde yer alan çalışmalara genel bir bakış faydalı olacaktır.

2.1. Literatür Araştırması

Karsak ve Kuzgunkaya, 2000 yılında yaptıkları çalışmada, Esnek Üretim Sistemleri seçiminde bulanık çok amaçlı programlama yöntemini uygulamışlardır. Bu yöntemle; yatırım, işçilik, ayar maliyetleri ile ara stok miktarını azaltırken kaliteyi artıran en uygun makineyi seçmeye çalışmışlardır [6].

2003 yılında yapılan bir çalışmada Chu ve Lin, birçok alternatif için çeşitli nicel ve nitel değerlerin bulanık olduğu problemde Bulanık Topsis yöntemi ile robot seçimi uygulaması gerçekleştirmişlerdir [5].

1998 yılında yapılan başka bir çalışmada Luong, Bilgisayarla Tümlleşik Üretim (Computer Integrated Manufacturing) seçiminde sayısal ve sözel

değerleri dikkate alan, Analitik Hiyerarşi Prosesi ve veritabanı teknolojisinin beraber kullanıldığı, MS Excel tabanlı bir sistem tasarımı sunmuştur [1].

Ayağ ve Özdemir, 2006 yılında makine takım seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi'ni kullanmışlar, sözel değerlerin seçime dahil edilmesinde bulanık sayılardan faydalanmışlardır [3].

Kulak tarafından 2005 yılında yapılan çalışmada, malzeme taşıma sistemi seçimi için Bilgi Aksiyom'u ile bulanık kümelerin beraber kullanıldığı, "FUHAMES" adı verilen karar destek sistemi sunulmuştur [2].

Agrawal ve arkadaşları 1991 yılında yaptıkları çalışmada, çok kriterli robot seçim problemine Topsis yöntemi ile çözüm önerisi getirmişlerdir [7].

Agarwal ve arkadaşları 1992 yıllarında yaptıkları çalışmada, Esnek Üretim Sistemleri için tutucu aparat seçim ve değerlendirme problemine Topsis yöntemi ile çözüm önerisi getirmişlerdir [8].

Chau ve Parkan 1995 yılında yapmış oldukları çalışmada, Topsis yöntemini çok kriterli üretim prosesi seçim probleminde kullanmışlardır [9].

Parkan ve Wu 1998 yılında yapmış oldukları çalışmada, Topsis yöntemini çok amaçlı ve öznel kriterli üretim prosesi seçim probleminde kullanmışlar, bu çalışmada kesin ve bulanık değerlere beraber yer vermişlerdir [10].

1999 yılında yaptıkları çalışmada ise Parkan ve Wu, Topsis kullanımı ile benzer bir uygulamayı robot seçiminde ortaya koymuşlardır [11].

Bozdağ ve arkadaşları 2002 yılında yaptıkları çalışmada; "Blin Bulanık Karar Sistemi", Bulanık Sentetik Değerlendirme, "Yager Ağırlıklı Amaçlar Yöntemi" ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi olmak üzere dört farklı bulanık yöntem ile Bilgisayarla Tümlleşik Üretim sistemi seçimi gerçekleştirmişlerdir [12].

Karsak ve Tolga, 2001 yılında yaptıkları çalışmada gelişmiş üretim sistemlerinde stratejik ve ekonomik kriterlerin beraber dikkate alındığı bir bulanık karar algoritması sunmuşlardır [13].

Banik ve Chakraborty, 2006 yılında yaptıkları çalışmada, malzeme taşıma sistemi seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Duyarlılık Analizi'nden beraber faydalanmıştır [14].

2005 yılında Kapoor ve Tak, robot seçim probleminde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Çok Özellikli Fayda Teorisi'ni (Multi Attribute Utility Theory) kullanarak bulanık değerlerin de yer alabildiği bir yöntem önermişlerdir [15].

Yine 2005 yılında yapılan başka bir çalışmada Chtourou ve arkadaşları, makine seçim problemlerinde kullanılmak üzere geliştirdikleri benzetim tabanlı "Üretim Kaynak Seçimi için Uzman Sistemi"ni (Expert System for Manufacturing Resource Selection) sunmuşlardır [16].

Yurdakul, 2004 yılında yaptığı çalışmada, Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Amaç Programlama'yı birleştirerek Bilgisayarla Bütünleşik Üretim sistemi seçiminde sayısal ve sözel faktörleri beraber değerlendiren bir model önermiştir [4].

Chen ve arkadaşları, 2000 yılında esnek üretim sistemleri için makine seçim problemine yönelik bulanık bir yöntem önererek çözüm arayışlarına katkıda bulunmuşlardır [17].

3. HİYERARŞİK GRİ İLİŞKİSEL ANALİZ YÖNTEMİ

Çok kriterli karar verme problemleri uzun yıllardır birçok araştırmacının dikkatini çekmiş, bu tür problemlere çözüm arayışları ve çözüm önerilerine ait çeşitli teoriler kaynaklarda yer bulmuştur. Bunun yanında, sözü edilen çözüm önerileri farklı alanlarda birçok gerçek hayat problemine uygulanmıştır.

Çok kriterli karar verme yöntemleri konusunda yapılan çalışmalara bakıldığında birçok farklı örnek ve yöntem bulmak mümkündür. Bu yöntemlerden Gri İlişkisel Analiz (GİA), her geçen gün kendine daha fazla yer bulan ve farklı alanlarda uygulamalarda kullanılan bir yöntemdir. Çok kriterli karar verme yöntemlerinin başında yer alan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ise daha çok başka bir yöntemle beraber kullanılan, kullanım alanı çok geniş bir yöntemdir. Bu yöntemler, çok kriterli ve çok amaçlı karar verme problemlerine farklı bir bakış açısı getirmiş, yöntemlerin birden fazla alanda uygulaması yapılmış ve başarılı sonuçları ile literatürde hak ettikleri yeri almışlardır.

3.1. Yöntemlerin Tanımı ve Literatür Araştırması

Bu bölümde, yukarıda sözü edilen iki yönteme yönelik açıklamalar ile literatür araştırmasına yer verilmiştir. Çalışmada ele alınan yöntemler olmaları açısından, daha önce yapılmış çalışmalar farklı bir bakış açısı kazandıracaktır.

3.1.1. Gri ilişkisel analiz yöntemi tanımı ve literatür araştırması

Gri İlişkisel Analiz, Gri Teori ana başlığı altında literatürde yerini almış bir karar verme ve analiz aracıdır.

Gri Teori ilk defa Julong Deng tarafından 1982 yılında ortaya atılmıştır [18]. Stokastik veya bulanık karar verme yöntemleriyle çözülemeyen problemlerin modellenmesini ve çözülmesini sağlayan Gri teori; sistemler arası analiz,

model kurulması, tahmin ve karar verme problemleri için sıkça başvurulmuş bir yöntemdir [19].

Gerçek hayat problemlerine bakıldığında tüm faktörleri tam pozitif veya tam negatif olarak nitelendirmek oldukça zordur. Aynı şekilde tüm etkenleri tamamen belirli veya tamamen belirsiz olarak değerlendirmek de mümkün olmamaktadır. Hiçbir belirsizliğin olmadığı bir sistem “Beyaz”, tüm etkenlerin tamamen belirsiz olduğu bir sistem “Siyah” ise, kısmen belirli ve kısmen belirsiz sistemler “Gri” olarak tanımlanmıştır [20, 21].

Örneğin; bir şirkette alınan kararlar düşünüldüğünde, şirketin mali yapısını ve yatırımlarını etkileyen faktörlerin başında ulusal ekonomik göstergeler ile makroekonomik gelişmeler gelmektedir. Ancak bunlar ne tam belirli ne tam belirsiz faktörlerdir. Bir yatırım probleminde bu tür faktörlerin varlığı sistemi Gri sisteme dönüştürmekte ve karar verme yöntemi olarak Gri teori için bir uygulama alanı ortaya çıkmaktadır. Çünkü sistemi etkileyen faktörlerin, faktörler arasındaki ilişkilerin, sistemin işleyişinin ve işleyiş şeklinin belirsizliği gri sistemlerin karakteristik özellikleridir.

Bu çalışmada ele alınan GİA yöntemi, Gri Teori’nin alt başlıklarından birisi olarak ortaya çıkmıştır. Sözü edilen yöntem; birden fazla alternatifin birden fazla kriterin varlığında değerlendirildiği bir problemde, her bir kriter için bir alternatifin tüm alternatifler arasında sahip olunabilecek en iyi alternatif olan yakınlığına bağlı olarak tüm kriterler için en iyi alternatifin seçilmesini sağlar.

Bir problem, tek bir kriterden meydana geldiğinde, o kriterin sahip olabileceği en iyi değere en yakın ve en kötü değere en uzak olan alternatif kolayca seçilebilmektedir. Ancak, bir problem birden fazla kriterden oluştuğunda, bunu tespit etmek kolay olmamaktadır. İşte bu noktada devreye GİA yöntemi girmektedir. Bir alternatifin, tüm kriterlerde o kriterin alabileceği en iyi değere olan yakınlığını ve en kötü değere uzaklığını hesaplayan bu yöntem, toplamda en iyi alternatifi seçmeyi başarmaktadır.

GİA, her geçen gün karar verme yöntemi olarak literatürde daha fazla yer alan ve daha çok başvurulmuş bir araç olmuştur. Farklı alanlarda GİA'nın kullanıldığı uygulamalar, yöntemin uygulanabilirliğine yönelik daha iyi fikir vermektedir.

Hsu ve Wen 2000 yılında yaptıkları çalışmada, GİA yönteminden yararlanarak belirsizlik ortamında en az sayıda veriyle havayolu trafiği konusunda tahmin ve buna dayalı olarak uçuş frekanslarının belirlenmesi yoluyla havayolu ağ tasarımı gerçekleştirmiştir [22].

Chang ve Wu, yine bu yöntemle 2003 yılında genetik algoritma tabanlı bir model geliştirerek kumaş boyama fabrikasının çevreye yaptığı etkileri dikkate alan bir karar verme problemine çözüm oluşturmuşlardır [23].

2002 yılında Hsu ve Lin, 8 alkolsüz içeceğin Tayvan'da 2001–2003 yılları arasındaki satış tahminini bu yöntem ile gerçekleştirmişler ve %95 üstünde bir doğruluk elde etmişlerdir [24].

Bass ve arkadaşları, 1997 yılında yapmış oldukları çalışmada, Mackenzie Nehri havzasında bulunan orman ve tarım alanlarının genişlemesi önündeki iklime bağlı risklerin değerlendirmesini yapmışlardır [25].

Cheng ve Ting, oto tamiri sektöründe teknik ve fonksiyonel 10 faktörün servis kalitesi ve dolayısıyla müşteri memnuniyeti üstündeki etkilerini ölçmek için 2002 yılında GİA yöntemini kullanmışlardır [26].

Chang ve arkadaşları 2001 yılında bir uygulama yaparak, ürün tasarımı ve proses planlamada Hata Modu ve Etki Analizi (Failure Mode and Effects Analysis) çalışmalarına GİA yöntemini uyarlamışlar, Hata Modu ve Etki Analizi hesaplamasında ortaya çıkan eksikliklerin, yani sayısal olmayan öznel yargıların sisteme dahil edilmesini sağlamışlardır. Ek olarak, kriterlerin birbirine olan önem üstünlüğünün dikkate alınmamasını ortadan kaldırarak,

bu çalışmalara yeni bir boyut kazandırmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda GİA'nın, Hata Modu ve Etki Analizi çalışmasına göre daha kolay ve daha güvenilir olduğunu ortaya çıkarmışlardır [27].

2004 yılında yapılan çalışmada Lin, çok sayıda performans özelliği bulunan torna operasyonunun optimizasyonunda Taguchi yöntemi ile GİA yöntemini beraber kullanmıştır [28].

2005 yılında yapılan başka bir çalışmada Lin ve Lin, üretim prosesi optimizasyonunda gri-bulanık mantık kullanmıştır [29].

2004 yılında yapılan bir çalışmada; Pai ve arkadaşları tarafından yapılan birden fazla performans parametresi olan sistemlerde optimum parametre değerlerinin belirlenmesi uygulaması, GİA yöntemi yardımıyla başarıyla gerçekleştirilmiştir [30].

Mair ve arkadaşları, 2005 yılında GİA yöntemi ile yazılım geliştirme projelerinde yazılım performans tahmini ve değerlendirilmesi yapmışlar, beş gerçek veri seti üstünde yaptıkları testte yöntemin başarısını kanıtlamışlardır [31].

2005 yılında yapılan başka bir çalışmada, Jamalipour ve Song mobil sistemlerde en iyi kablosuz yerel ağın seçimini garanti edecek bir ağ seçim tekniği geliştirmişler, bu uygulamada GİA ile AHP'yi beraber kullanmışlardır. Bu çalışmada GİA, ağ parametrelerinin değerlerine göre en iyi ağın seçiminde kullanılmıştır. AHP ise bu seçimde kullanılan kriter ağırlıklarının belirlenmesinde rol almıştır [32].

Diğer bir çalışmada Wu, GİA'nın çok kriterli karar verme problemlerinde kullanımını ele almış, ayrıca bu yöntemin alternatif iki yöntem ile kıyaslamasına yer vermiştir [33].

Feng ve Wang 2000 yılında GİA Yöntemi ile işletmelerin finansal göstergelerini kıyaslayarak bu yönteme farklı bir kullanım alanı daha açmışlardır [34].

3.1.2. Analitik hiyerarşi prosesi yöntemi ve literatür araştırması

AHP, Çok Kriterli Karar Verme problemlerinde kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir. İlk defa 1980 yılında Saaty tarafından ortaya atılmıştır. Sonraki yıllarda bu yöntem birçok araştırmacı ve akademisyen tarafından çalışmalarında ana veya yardımcı bir yöntem olarak kullanılan AHP, böylelikle son 25 yılda çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde önemli rol oynamıştır [35].

AHP birden fazla alternatifin olduğu problemlerde, çok sayıda faktörün birbirine olan ağırlığının ve alternatiflerin değerlendirilmesindeki önceliğin belirlenmesini, bütün değerlerin normalleştirilerek kıyaslanabilir ölçütlere getirilmesini ve karşılaştırma ile en iyi alternatifin seçimini sağlayan güçlü ve birçok alana adapte edilebilir bir yöntemdir [36].

Son 25 yıl içerisinde yapılmış olan çalışmalara bakıldığında AHP'nin çok farklı alanlardaki problemlerin çözümünde kullanıldığı görülebilir. Bu uygulamalar; konu aldığı problemlere göre seçim, değerlendirme, fayda-maliyet analizi, tahsis etme, planlama, geliştirme, sıralama, karar verme veya bu konuların birden fazlasını aynı anda barındıran uygulamalar olabilir. Aşağıda bu çalışmalara bazı örnekler sunulmuştur [37].

Bir seçim problemi olarak, Harbi 2001 yılında yapmış olduğu çalışmada, Proje Yönetimi konusunda en iyi müteahhidi seçmek için AHP'ye başvurmuştur. Alternatiflerin vasıflarını karşılaştırmak için hazırlanan hiyerarşik yapıda beş alternatif altı kriter açısından karşılaştırılmıştır. Bu altı kriter; deneyim, finansal durum, kalite performansı, araç-gereç envanteri, insan gücü kaynağı ve mevcut iş yüküdür. Bu problemde kriterler AHP

yöntemiyle değerlendirilmiş ve tüm kriterlere bakıldığında en üstün olan alternatif seçilmiştir [38].

Diğer bir seçim probleminde, Korpela ve Tuominen 1996 yılında yapmış oldukları uygulamada depo yer seçimi probleminde AHP'ye yer vermiştir. Problemden amaç envanter politikalarını optimize etmek ve verimli bir ulaşım-taşıma ağı kurmaktır. Burada alternatifleri değerlendirirken dikkate alınan faktörler hem nicel hem nitel değerlerden oluşmaktadır. AHP, nitel özelliklerin nicelleştirilmesinde ve karşılaştırılmasında kullanılmıştır [39].

2001 yılında Akarte ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, AHP 18 kriter açısından tedarikçilerinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Bu kriterler, altı nesnel ve on iki öznel kriter olarak üretim geliştirme yeteneği, üretim yeteneği, kalite yeteneği ve maliyet-teslimat başlıkları altında dört ana grup altında toplanmıştır. Kriterin fayda veya zarar kriteri olmasına bağlı olarak; fayda kriterlerinde “en yüksek en iyi”, zarar kriterlerinde “en düşük en iyi” prensibiyle tüm kriterler değerlendirilmiş ve en yüksek değeri alan tedarikçi seçilmiştir [40].

Aynı yıl Cagno ve arkadaşları, AHP üstüne inşa edilmiş bir benzetim yaklaşımı ile en iyi fiyat teklifi belirleme ve verme olasılığı üzerine bir değerlendirme çalışması yapmışlardır. 3 seviyeli oluşturdukları hiyerarşide 4 ana grupta 13 kriteri değerlendirmişlerdir. Ancak bu çalışmada kriterler arası net bir karşılaştırma yapmak yerine kriterleri aralıklarla ifade etmiş, böylece tek bir sonuç bulmak yerine belirsizlik ortamında ihtimal hesapları yapılabilir noktaya gelmişler ve ardından Monte Carlo Simülasyonu yaklaşımı ile sonuca ulaşmışlardır [41].

Angels ve Lee 1996 yılında yaptıkları çalışmada AHP'yi, yatırım kararlarını aktivite tabanlı maliyete bağlayan bir yöntem oluşturmakta kullanmışlardır. Bu uygulamada en dikkat çekici nokta, probleme bağlı olarak klasik AHP yönteminde yapılan değişikliklerdir. Ağırlıkların içerisinde negatif değer

olması, bazı kriterlerin maliyet yerine kazanç getirmesidir. Diğer bir fark ise, değerler için normalleştirme yapılmamasıdır. Bunun nedeni ise değerlerin büyüklüğünün kaybedilmek istenmemesidir. Bu çalışma, bu yönleri ile de AHP için önemli bir referans çalışma olmuştur [42].

1997 yılında Chin ve arkadaşları tarafından bir elektronik firmasında yapılan çalışmada AHP, bu firmada eş zamanlı mühendislik uygulanıp uygulanamayacağının analizinde kullanılmıştır [43].

1995 yılında yapılan çalışmada Ganesh ve Ramanathan, AHP yöntemini kaynak tahsis probleminde kullanmışlardır. AHP yardımıyla ikili karşılaştırma yöntemiyle kriterlerin ağırlıkları belirlenmiş, bu ağırlıklar doğrusal programlamada katsayı olarak eşitliklerde kullanılmıştır [44].

Başka bir çalışmada ise 2002 senesinde Korpela ve arkadaşları, AHP'yi Karışık Tamsayı Programlama ile beraber kullanmış, kısıtlı üretim kapasitesinin bulunduğu bir ortamda kapasitenin müşterilere tahsis edilmesi problemini çözmeye çalışmıştır [45].

1999 yılında Kwak ve Lee, sağlık sisteminde bilgi ihtiyacının planlanması ile ilgili yapmış oldukları çalışmada AHP ve amaç programlamadan beraber faydalanmışlardır. Çalışmada birden fazla ve birbiriyle çelişen amaç olması nedeniyle amaç programlamadan faydalanılmıştır. AHP ise farklı amaç ve kriterlerin birbirinden ayrılmasında ve önceliklerin belirlenmesinde kullanılmıştır [46].

2002 yılında Cray ve arkadaşları, savaş gemisi planlaması konusunda AHP'den faydalanmıştır. Bu uygulamada AHP, karışık tamsayı programlama gibi yöntemlerle beraber yer almıştır [47].

Badri 2001 yılında yapmış olduğu çalışmada, hizmet sektöründe kalite kontrol sistemi tasarımı AHP ve amaç programlamadan beraber

faydalanmıştır. AHP yardımıyla hizmet sektöründe kalite kontrol ölçütlerinin (kriterleri) oluşturulması konusu çalışmanın genel amacını yansıtmaktadır [48].

Wei ve arkadaşları 2005 yılında yaptıkları çalışmada AHP'yi ERP sistemi seçiminde kullanma adına bir yöntem geliştirmişlerdir [36].

1997 yılında yapılan başka bir çalışmada Korpela ve Tuominen, AHP'yi talep tahmini için kullanmıştır. Stok yönetimi için kaçınılmaz olan talep tahmini, somut olduğu kadar soyut ve belirsiz faktörlerle de çalışmayı gerektirmiştir [49].

3.2. Hiyerarşik Gri İlişkisel Analiz Yöntemi'nin Uygulama Adımları

GİA yöntemi birden fazla alternatifin birden fazla kritere bağlı olarak değerlendirilmesinde ve seçilmesinde etkin bir araçtır. Kriterlerin birbiri ile olan ilişkilerini dikkate almada ve kriterlerin en iyi seviyelerine olan yakınlığı ölçmede oldukça başarılı olan yöntem, kriterlerin farklı ağırlıklarda ve hiyerarşik olması konusunda yetersiz kalmaktadır [50].

Literatür araştırmalarında çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde diğer yöntemlere kıyasla daha az karşılaşılan bir yöntem olması, ayrıca makine seçim probleminde kullanılmamış olması çalışmada bu yöntemin tercih edilen yöntem olmasını sağlamıştır.

Yukarıda sözü edilen şartlar dikkate alındığında bu çalışmada GİA yöntemi kullanılmaya karar verilmiş, ancak yöntemin zayıf yönleri dikkate alınarak bu yöntemin AHP ile desteklenmesine ve iki yöntemin bir arada kullanılmasına karar verilmiştir. Bu yöntem Hiyerarşik Gri İlişkisel Analiz (HGİA) olarak isimlendirilmiştir [50].

HGİA yönteminde öncelikle kriterler için hiyerarşi oluşturulmuş, AHP ile ağırlıkları tespit edilmiş, GİA yöntemine göre değerlendirilmiş ve en iyi

alternatif seçilmiştir. Bu nedenle, çalışmada uygulanan yöntemi daha iyi açıklayabilmek için birinci adım olan hiyerarşinin kurulması aşağıda sunulmuştur [50].

3.2.1. Hiyerarşi oluşturma

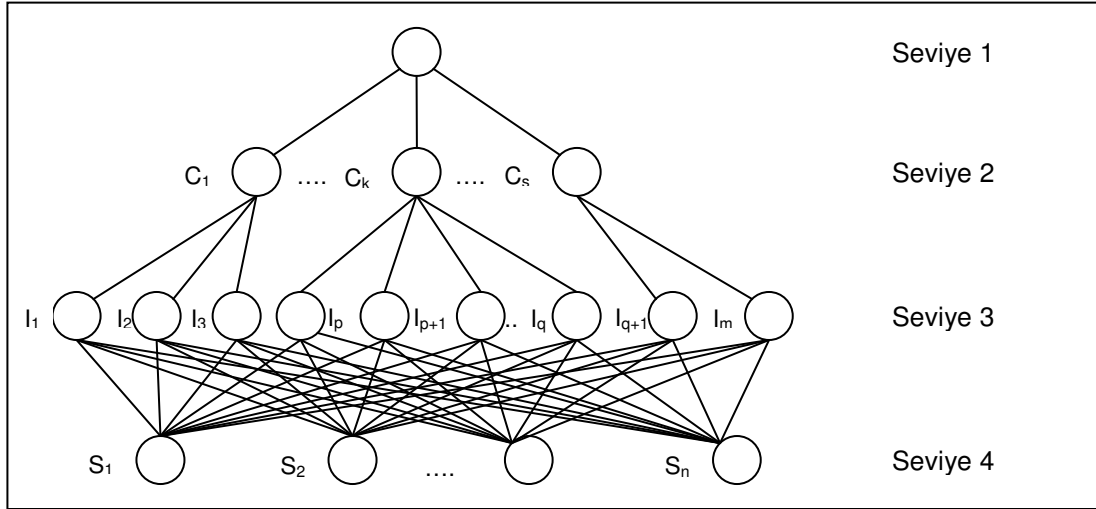
AHP’de problemin modellenmesi, hiyerarşinin doğru bir şekilde oluşturulması ile başlar. Daha anlaşılır olması açısından bu konuyu bir örnekle desteklemek faydalı olacaktır.

Örnekte amaç; bir ev kiralamaktır. Ev kiralarken dikkate alınan kriterler maliyet, evin fiziksel özellikleri ve evin konumudur. Maliyet kriterinin alt kriterleri ise kapora, kira ve aidattır. Elde bulunan alternatifler farklı özelliklerde üç kiralık dairedir.

Şekil 3.1’de 4 seviyeden oluşan bir hiyerarşi görülmektedir. En üst seviye yani Seviye 1, problemin sonucunda verilmeye çalışılan karardır. Özetle, bu seviyede problemin amacı bulunmaktadır. Örneğe bakılacak olursa Seviye 1, en uygun evi kiralamaktır.

Şekil 3.1’de bulunan Seviye 2, Seviye 1’de bulunan amacı gerçekleştirme adına dikkate alınan kriterlerin (ana kriterler) bulunduğu seviyedir. Bu kriterler, kendine ait bir değeri olmayan, alt başlıklara ayrılmış ve bu alt başlıkların aldığı değerlere bağlı olarak değer alan faktörlerdir. Örneğe bakılacak olursa; evin maliyeti, fiziksel özellikleri ve konumu bu seviyededir.

Seviye 3, kriterlere bağlı alt kriterlerin, yani indekslerin bulunduğu seviyedir. Problemden karşılaştırılan, değer alan faktörler indekslerdir. Eğer örnekte bulunan maliyet kriterinin C1 olduğu varsayılırsa; kapora I1, kira I2 ve aidat I3 olacaktır. Bu üç indeksin aldığı değer sonucunda C1 kriterine ait değer ortaya çıkacaktır.



Şekil 3.1. Analitik hiyerarşi sistem yapısı [50]

Seviye 4 ise alternatiflerin bulunduğu seviyedir. Bu seviyede bulunan her bir alternatif, Seviye 3'te bulunan her bir indeks ile bağlıdır. Bu bağ sonucunda her bir alternatif için indeks değerleri verilerek sonucunda bir karşılaştırma yapılır ve bir alternatif seçilir. Bu nedenle, çok kriterli karar verme yöntemlerinde işin sonucu Seviye 3 ile Seviye 4 arasındaki bağlantılara bağlı olarak belirlenmektedir.

Hiyerarşi doğru bir şekilde kurulduğunda artık kriter ve indeksler için ikili karşılaştırma matrisinin (pairwise comparison matrix) hazırlanması ve ağırlıkların belirlenmesi aşamasına geçilebilir.

3.2.2. Analitik hiyerarşi prosesi yöntemi

AHP'nin modellenmesi, n kriterli bir problem için gösterilecek olursa [50]:

Adım 1: Kriterlerin yer aldığı $(n \times n)$ karşılaştırma matrisi oluşturulur.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Bu matriste a_{ij} , i. kriterin j. kriterine göre ne kadar önemli olduğunu gösteren katsayıdır. Bu katsayı Çizelge 3.1’de verilen değerlerin kullanılması ile elde edilir [51].

Bu ölçütün kullanılmasının başlıca nedenleri aşağıdaki gibidir [3]:

1. AHP yöntemi tam değil yaklaşık kesin değerleri kullanmaktadır.
2. AHP’nin kullandığı yargılar oldukça dengesiz bir ölçekte verilmektedir.
3. AHP’de bir yargının belirsizliği sayısal olarak dikkate alınmamaktadır.
4. AHP’nin sıralaması tam olarak kesin değildir.
5. Karar vericilerin seçimlerinin ve değerlendirmelerinin AHP üstünde etkisi büyüktür.

Çizelge 3.1. Saaty’nin karşılaştırma ölçütleri [51]

1	İki Kriter Eşit Öneme Sahip
3	Kriterlerden Biri Diğerine Göre Biraz Önemli
5	Kriterlerden Biri Diğerine Göre Oldukça Önemli
7	Kriterlerden Biri Diğerine Göre Çok Önemli
9	Kriterlerden Biri Diğerine Göre Kat Kat Önemli
2, 4, 6, 8	Önem Derecelerinin Ara Değerleri

İki kriterin karşılaştırmasında $a_{ij} = 1 / a_{ji}$ eşitliği ve $a_{ii} = 1$ değeri matrisin her hücresi için geçerlidir.

Adım 2: A matrisi ağırlıklar ile çarpılarak A.w matrisi elde edilir.

$$A \bullet w = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

Adım 3: A.w matrisi n . ağırlık matrisine eşitlenir.

$$\begin{aligned}
 A \bullet w &= \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} = \\
 &= \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (3.3)
 \end{aligned}$$

Adım 4: Ağırlıkları tespit etmeye yarayacak matris işlemi $[(A - nI).w = 0]$ yapılır. Burada I, birim matrisi ifade etmektedir.

$$\left(\begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} n & 0 & \dots & 0 \\ 0 & n & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & n \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} = 0 \quad (3.4)$$

Adım 5: Bu eşitliğin sağlanabilmesi için n değerinin A matrisinin özdeğeri (eigenvalue) olması gerekmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, A karşılaştırma matrisi içine yazılan değerlerin $a_{jk} = a_{ji} / a_{ki}$ eşitliğini her kriter için sağlayıp sağlamadığıdır.

Teoride bu eşitliğin her zaman sağlanması gerekse de gerçek hayat problemlerinde bu şart her koşulda sağlanmamakta ve bu eşitliğin sonucu olan değerler tam olarak matris değerlerine yansımamaktadır. Bunun sonucu olarak A matrisine ait birden fazla sıfırdan farklı özdeğer bulunmakta, bu

özdeğerlerin toplamı n değerini vermektedir. Bu durumda yukarıdaki Eş. 3.3 ve Eş. 3.4'deki n değeri en büyük özdeğer ($\lambda_{\max}$) olmaktadır.

Adım 6: A matrisi sadece $n = \lambda_{\max}$ olması durumunda tutarlıdır. Ancak yukarıda sözü edilen nedenlerle bu şart her zaman sağlanmamaktadır. Buna bağlı olarak A matrisinin kabul edilebilir tutarlılık seviyesinde olup olmadığının kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle tutarlılık indeksi CI hesaplanır.

$$CI = \left(\frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \right) \quad (3.5)$$

Adım 7: Hesaplanan CI değerleri, Çizelge 3.2'deki Rassal indeks (RI) ile karşılaştırılır. Eğer $CI / RI \leq 0,1$ ise AHP tutarlı sonuç türetmiştir. Bu durumda tespit edilen ağırlıklar kullanılabilir. Eğer değilse, karşılaştırma matrisindeki değerlerin değiştirilerek aynı işlemlerin tekrar yapılması gerekir [50].

Çizelge 3.2. Saaty'nin rassal indeksleri [50]

m	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,5

Adım 8: Ağırlıkların tespit edilmesiyle ilgili olarak literatürde birçok yöntem ve bu yöntemlerin kullanıldığı birçok çalışma mevcuttur. Bu yöntemlere Özdeğer Yöntemi, En Küçük Kareler Yöntemi, Logaritmik En Küçük Kareler Yöntemi, Ağırlıklı En Küçük Kareler Yöntemi, Chi Kareler Yöntemi örnek verilebilir [51].

Literatürde yer alan farklı yöntemlerin avantajlı ve dezavantajlı olduğu durumlar olmakla beraber faktör sayısının fazla olduğu durumlarda Özdeğer Yöntemi'nin kullanılması daha uygun olacaktır. Bu nedenle, bu çalışmada ağırlıkların hesaplanmasında Özdeğer Yöntemi kullanılacaktır [51].

Özdeğer Yöntemi aşağıdaki gibi özetlenebilir [35].

A matrisi kriterlerin ikili karşılaştırmalarının yer aldığı $n \times n$ matris olsun.

W_A vektörü A matrisinin satır değerlerinin çarpılması, bu değerlerin kriter sayısı derecesinde kökünün alınması ile oluşturulur. Ardından bu vektördeki değerlerin normalize edilmesi ile ağırlık vektörü W'_A oluşturulur.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

$$W_A = \begin{bmatrix} \left(\prod_{j=1}^n a_{1j} \right)^{1/n} \\ \left(\prod_{j=1}^n a_{2j} \right)^{1/n} \\ \dots \\ \left(\prod_{j=1}^n a_{nj} \right)^{1/n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt[n]{a_{11} * a_{12} * \dots * a_{1n}} \\ \sqrt[n]{a_{21} * a_{22} * \dots * a_{2n}} \\ \dots \\ \sqrt[n]{a_{n1} * a_{n2} * \dots * a_{nn}} \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

$$W'_A = \begin{bmatrix} \left(\prod_{j=1}^n a_{1j} \right)^{1/n} / \sum_{i=1}^n \left(\prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{1/n} \\ \left(\prod_{j=1}^n a_{2j} \right)^{1/n} / \sum_{i=1}^n \left(\prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{1/n} \\ \dots \\ \left(\prod_{j=1}^n a_{nj} \right)^{1/n} / \sum_{i=1}^n \left(\prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{1/n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

3.2.3. Gri ilişkisel analiz modeli

Gri ilişkisel analiz yönteminin hesaplama adımları aşağıdaki gibidir [50]:

Adım 1: n uzunluğundaki referans seri belirlenir.

$$\chi_o = (\chi_o(1), \chi_o(2), \dots, \chi_o(n)) \quad (3.9)$$

Adım 2: Birbiriyle karşılaştırılacak m tane n uzunluğunda seri hazırlanır.

$$\chi_i = (\chi_i(1), \chi_i(2), \dots, \chi_i(n)), \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (3.10)$$

Adım 3: Adım 2’de hazırlanan seriler normalize edilir.

Farklı kaynaklardan, farklı ölçülerde ve farklı kişiler tarafından belirlenen değerlerin karşılaştırılabilir bir ölçekte olmaması doğaldır. Ancak, GİA yönteminde yapılacak her çalışma, aynı ölçekte ve karşılaştırılabilir verilere ihtiyaç duymaktadır. Buna istinaden, yukarıda sözü edilen seriler normalizasyona tabi tutularak aynı seviyeye getirilir. Bu işleme “gri ilişkisel oluşum” (grey relational generating) adı verilmektedir. Bu işlemden sonra GİA yönteminde sadece Eş. 3.11’de olduğu gibi normalize edilmiş serilerle çalışılmaktadır.

$$\chi_i^* = (\chi_i^*(1), \chi_i^*(2), \dots, \chi_i^*(n)), \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (3.11)$$

Verilerin normalizasyonunda kullanılan yöntemlerden birisi lineer normalizasyon yöntemidir. Yukarıda sözü edilen seriler normalize edilirken burada kriterin fayda veya zarar kriteri sınıfından hangisine dahil olduğu önem kazanmaktadır.

Eğer normalize edilecek kriter fayda kriteri ise, yani değerinin yüksek olması istenen bir durumsa normalizasyon işlemi aşağıdaki eşitlik ile yapılmaktadır.

$$\chi_{ij} = \frac{s_i(j)}{\max_i \{s_i(j)\}} \quad (3.12)$$

Burada;

χ_{ij} , i. seri j. indeks normalize edilmiş değeri,

$s_i(j)$, i. serideki j. indeks gerçek değeri,

$\max_i\{s_i(j)\}$, i. serideki maksimum değer,

$\min_i\{s_i(j)\}$, i. serideki minimum değerdir.

Eğer normalize edilecek kriter zarar kriteri ise, yani değerinin düşük olması istenen bir durumsa normalizasyon işlemi aşağıdaki eşitlik ile yapılmaktadır.

$$\chi_{ij} = \frac{\min_i\{s_i(j)\}}{s_i(j)} \quad (3.13)$$

Adım 4: Aşağıdaki eşitlikler yardımı ile gerekli değerler hesaplanarak, j. kriter için χ_i serisi χ_0 referans serisi ile karşılaştırılarak gri ilişkisel katsayı hesaplanır.

Eş. 3.14'de referans seri ile karşılaştırılan seri arasındaki farkın mutlak değeri hesaplanmaktadır.

$$\Delta_{0i}(j) = |\chi_0(j) - \chi_i^*(j)| \quad (3.14)$$

Eş. 3.15 ve Eş. 3.16'da ise her kriterin her serideki en büyük ve en küçük değerlere olan uzaklıkları hesaplanmaktadır.

$$\Delta_{\min} = \min_i \min_j |\chi_0(j) - \chi_i^*(j)| \quad (3.15)$$

$$\Delta_{\max} = \max_i \max_j |\chi_o(j) - \chi_i^*(j)| \quad (3.16)$$

Eş. 3.17’de j. kriter için χ_i serisi χ_o referans serisi ile karşılaştırılarak gri ilişkisel katsayı hesaplanır.

$$\zeta_{oi}(j) = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{\Delta_{oi}(j) + \rho \Delta_{\max}} \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (3.17)$$

Eş. 3.17’de yer alan ρ sayısı “ayırıcı katsayı” olarak tanımlanan 0 ile 1 arasındaki ($\rho \in (0,1)$) bir sayıdır.

Ayırıcı katsayı olarak kullanıcı, yukarıda verilen aralıkta istediği değeri verebilir. Ancak, genellikle uygulamalarda $\rho = 0,5$ olarak hesaba katılır. Matematiksel ispatı yapıldığında, ρ değerinin sıralamayı değiştirmedeği görülmüştür [19].

Adım 5: Gri ilişkisel derece hesaplanır.

$$\varepsilon = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \zeta_{oi}(j) \quad (3.18)$$

Eş. 3.18’de hesaplanan ε, χ_i serisi ile χ_o referans serisi arasındaki geometrik benzerliği göstermektedir.

Eş. 3.18’de gri ilişkisel derece hesaplanırken herhangi bir ağırlık hesabının dikkate alınmadığı görülecektir. AHP’nin HGİA yöntemindeki fonksiyonu budur. Bu nedenle, uygulamada kullanılan yöntemi açıklayabilmek için öncelikle AHP sunulmuş, ardından GİA’ya geçilmiştir [50].

3.2.4. Hiyerarşik gri ilişkisel analiz modeli

HGİA yöntemi, AHP ile GİA'nın birleşmesinden meydana gelmiştir. Yukarıdaki bölümlerde anlatılan işlemlere ek olarak yapılması gereken üç adım aşağıda açıklanmıştır [50].

Adım 1: Birincil Gri İlişkisel Katsayı matrisinin $G_{(n \times m)}$ hazırlanması.

Gri İlişkisel Katsayı ($\zeta_{0i}(j)$) değerlerinin oluşturduğu matris aşağıdaki eşitliğe göre her kriterin her alternatifteki değeri için hazırlanır.

$$\zeta_{0i}(j) = \frac{\min_i \left(\min_j |x_{0j} - x_{ij}| \right) + \rho \max_i \left(\max_j |x_{0j} - x_{ij}| \right)}{|x_{0j} - x_{ij}| + \rho \max_i \left(\max_j |x_{0j} - x_{ij}| \right)} \quad (3.19)$$

Eş. 3.19'daki eşitliği; $\min_i \left(\min_j |x_{0j} - x_{ij}| \right) = 0$ durumu her zaman geçerli olduğundan ve $\rho = 0,5$ değeri genel kabul gören değer olduğundan Eş. 3.20'deki eşitliğe dönüştürmek mümkündür [19].

$$\zeta_{0i}(j) = \frac{0,5 * \max_i \left(\max_j |x_{0j} - x_{ij}| \right)}{|x_{0j} - x_{ij}| + 0,5 * \max_i \left(\max_j |x_{0j} - x_{ij}| \right)} \quad (3.20)$$

Bu eşitliğe her i-j değeri yerleştirildiğinde çıkan sonuçlarla Eş. 3.21'deki birincil gri ilişkisel katsayı matrisi elde edilir. Burada n indeks sayısı, m ise alternatif sayısıdır.

$$G = \begin{bmatrix} gc_1 \\ gc_2 \\ \dots \\ gc_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \zeta_{01}(1) & \zeta_{02}(1) & \dots & \zeta_{0m}(1) \\ \zeta_{01}(2) & \zeta_{02}(2) & \dots & \zeta_{0m}(2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \zeta_{01}(n) & \zeta_{02}(n) & \dots & \zeta_{0m}(n) \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

Şekil 3.1'deki hiyerarşiye bakıldığında, k. kriter (Seviye 2) için geçerli indekslerin (Seviye 3) oluşturduğu matris aşağıdaki gibidir.

$$gc_k = \begin{bmatrix} \zeta_{01}(p) & \zeta_{02}(p) & \dots & \zeta_{0m}(p) \\ \zeta_{01}(p+1) & \zeta_{02}(p+1) & \dots & \zeta_{0m}(p+1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \zeta_{01}(q) & \zeta_{02}(q) & \dots & \zeta_{0m}(q) \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

Adım 2: İkincil gri ilişkisel katsayı matrisinin (s x m) hazırlanması.

Adım 1'de ortaya çıkarılan matris indeks bazında ilişkilerin derecesini gösterirken Adım 2'de ortaya konulan matris kriter bazında ilişkilerin derecesini göstermektedir. İndeks seviyesinden kriter seviyesine çıkabilmek için o kritere ait indeksleri, ağırlıklarını da dikkate alarak bütünleştirmek ve tek bir kriter olarak ifade edebilmek gerekmektedir. Eş. 3.23'de görüldüğü gibi k kriterine ait indekslerin oluşturduğu gri ilişkisel katsayı matrisini, indekslere ait ağırlıklar ile çarparak ağırlıklı katsayı vektörü elde edilir.

$$\begin{aligned} \delta c_k &= Wc_k gc_k = (wl_p, wl_{(p+1)}, \dots, wl_q) * \begin{bmatrix} \zeta_{01}(p) & \zeta_{02}(p) & \dots & \zeta_{0m}(p) \\ \zeta_{01}(p+1) & \zeta_{02}(p+1) & \dots & \zeta_{0m}(p+1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \zeta_{01}(q) & \zeta_{02}(q) & \dots & \zeta_{0m}(q) \end{bmatrix} \\ &= (\delta c_k(1), \delta c_k(2), \dots, \delta c_k(m)) \end{aligned} \quad (3.23)$$

Bu vektörleri her bir kriter için oluşturup tek bir matriste birleştirerek Eş. 3.24'deki ağırlıklı birincil katsayı matrisi,

$$G_{weighed} = \begin{bmatrix} \delta_{c1}(1) & \delta_{c1}(2) & \dots & \delta_{c1}(m) \\ \delta_{c2}(1) & \delta_{c2}(2) & \dots & \delta_{c2}(m) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \delta_{cs}(1) & \delta_{cs}(2) & \dots & \delta_{cs}(m) \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

Eş. 3.12 veya Eş. 3.13'ü kullanarak elde edilen normalize değerleri kullanarak ise Eş. 3.25'deki normalize ağırlıklı birincil katsayı matrisi elde edilebilir.

$$G'_{weighed} = \begin{bmatrix} \delta'_{c1}(1) & \delta'_{c1}(2) & \dots & \delta'_{c1}(m) \\ \delta'_{c2}(1) & \delta'_{c2}(2) & \dots & \delta'_{c2}(m) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \delta'_{cs}(1) & \delta'_{cs}(2) & \dots & \delta'_{cs}(m) \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

Eş. 3.19 kullanılarak $G'_{weighed}$ matrisinden ikincil gri ilişkisel katsayı matrisi (G_c) elde edilir.

$$G_c = \begin{bmatrix} \zeta_{c1}(1) & \zeta_{c1}(2) & \dots & \zeta_{c1}(m) \\ \zeta_{c2}(1) & \zeta_{c2}(2) & \dots & \zeta_{c2}(m) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \zeta_{cs}(1) & \zeta_{cs}(2) & \dots & \zeta_{cs}(m) \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

Adım 3: Öncelikle indeksler için oluşturulan katsayı matrisi, ağırlıklandırılarak kriter bazında yeni bir matrise dönüşmüştü. Aynı mantıkla, kriterler için oluşturulan matris, ağırlıklandırılarak amaç için gri ilişkisel derece vektörü elde edilir.

$$\varepsilon = W_c * G_c = (wc_1, wc_2, \dots, wc_s) * \begin{bmatrix} \zeta_{c1}(1) & \zeta_{c1}(2) & \dots & \zeta_{c1}(m) \\ \zeta_{c2}(1) & \zeta_{c2}(2) & \dots & \zeta_{c2}(m) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \zeta_{cs}(1) & \zeta_{cs}(2) & \dots & \zeta_{cs}(m) \end{bmatrix}$$

$$= (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_m) \quad (3.27)$$

Burada ortaya çıkan ε vektörü alternatiflerin derecelerini göstermektedir. Bu değer ne kadar büyükse, o seçeneğin seçilme şansı o kadar yüksektir. En yüksek değere sahip alternatif, seçilen alternatiftir.

4. HİYERARŞİK GRİ İLİŞKİSEL ANALİZ YÖNTEMİ'NİN BİR RULMAN FABRİKASINDA UYGULANMASI

Uygulamanın yapıldığı şirket olarak Ortadoğu Rulman Sanayi ve Tic. A.Ş. (ORS) seçilmiştir. ORS, 1982 yılında Ankara'da kurulmuştur. Yüksek devirde dönen her mekanizmanın en önemli parçası olan “rulman” üreticisi olarak 1986 yılında üretime başlayan ORS, 1987 yılında 4,5 milyon rulman üretmiştir. 1992 yılında üretim kapasitesini 10 milyona çıkarmıştır.

Devam eden yıllarda büyüme hızını sürdüren ORS, 1996 yılında yıllık kapasite olarak 20 milyon rulmana ulaşmıştır. 2002 senesinde 40 milyona ulaşan kapasite 2006 yılında 60 milyon rulman üretimi ile tavan yapmıştır. 2007 yılı için ise hedefi 70 milyon rulmandır. 19 senede 4,5 milyon rulmandan 60 milyona artırdığı kapasitesi ile yıllık ortalama %70 büyümüş, hızlı ancak sağlam ve tutarlı büyümesini ispat etmiştir.

Ankara-Polatlı karayolu üzerinde, 80000 m² kapalı alanda üretim yapan ORS'de beyaz ve mavi yaka olmak üzere yaklaşık 1500 kişi çalışmaktadır. Üretiminin %70'ini ihraç eden ORS; başta Türkiye, Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri'nde olmak üzere dünya genelinde faaliyet gösteren büyük otomotiv, beyaz eşya ve elektrik motoru üreticisi firmaların ana tedarikçisi olmayı başarmıştır.

Dünyada artan rekabette yerini almak için sürekli büyüyen ve gelişen teknolojiyi yakından takip eden ORS, bu nedenle yatırımlarına ara vermeden devam etmektedir. Her yıl ortasında, bir sonraki yılın üretim planlarının hazırlanmasına müteakip, bu planlar doğrultusunda kapasite çalışmalarını gerçekleştiren ORS, bu çalışmaların sonucuna göre yatırım planlarını oluşturmakta ve gerçekleştirmektedir.

2007 yılına yönelik yapılmış kapasite çalışmaları sonucunda, rulman için temel operasyonlardan birisi olan “Puntasız Taşlama” operasyonunda

darboğaz oluşabileceğini görmüş, buna istinaden yatırım planlarına puntasız taşıma makinesini dahil etmiştir.

Bu çalışmada, bu sürecin ardından makine seçim sürecine yönelik olarak sistematik bir yaklaşım oluşturulmuş, üç alternatif arasında ORS'nin seçmesi gereken makine tespit edilmiştir.

HGİA yöntemine yönelik olarak yukarıda verilen açıklamalar ışığında bu bölümde, HGİA yönteminin gerçek bir problemin çözümünde uygulaması gösterilmiş ve sonucu sunulmuştur. Makine seçim problemi olarak özetlenebilecek probleme yönelik genel açıklama aşağıda verilmiştir.

4.1. Problem Tanımı

ORS, her yıl ortasında bir sonraki yıla yönelik olarak üretim planlarını oluşturmakta, bu üretim planlarına bağlı olarak gerekli malzeme ve kaynak planlamalarını yapmaktadır. Yapılan üretim planlarına istinaden yapılan kapasite planları sonucunda, mevcut makine ve işgücü kapasitesi ile planlanan üretimin gerçekleştirilip gerçekleştirilemeyeceğini tespit etmektedir.

Kapasite planları, mevcut makine parkı kullanılarak planın gerçekleştirilmesinde darboğaz oluşturacak makine veya makine gruplarını ortaya çıkarmakta, buna uygun olarak ortaya çıkabilecek sıkıntılar önceden giderilmeye çalışılmaktadır.

2007 yılına yönelik yapılan kapasite planlama çalışmasında, planlanan üretimin gerçekleştirilebilmesi için “puntasız taşıma” operasyonunu gerçekleştiren makinelerin %100'ün üstünde dolu oldukları, ancak 2 adet puntasız taşıma makinesinin satın alınmasına bağlı olarak istenen üretimin gerçekleştirilebileceği ortaya çıkmıştır. Bu ihtiyaç, ORS yatırım planına alınarak gerçekleştirilebilmesi için gerekli çalışmalar başlamıştır.

ORS, bugüne kadar farklı firmalardan farklı özelliklerde puntasız taşıma makineleri almış, ancak karar verme aşamasında seçenekler arasında tercih yaparken sistematik bir yaklaşım sergilememiştir. Bu çalışma, ORS'nin 2007 yılı kapasite çalışmalarına yönelik yapılacak makine yatırımında bu sistemi oluşturacaktır.

ORS, puntasız taşıma makinesini "TOYO" firmasından alma niyetindedir. Ancak, TOYO firmasına ait farklı özellik ve fiyatta makineler mevcuttur. Bu özellikler teknik ve idari kriterlerdir. Her kriter, aynı karar verici tarafından değerlendirilememekte, farklı departmanlardan farklı uzmanların bu kriterleri değerlendirmeleri gerekmektedir. Sonuç olarak ise, üst yöneticilerin bu kriterlere bakarak son kararı vermesi gerekmektedir.

TOYO firmasına ait 3 farklı model puntasız taşıma makinesi, seçim için alternatif olarak ele alınmıştır. 5 ana kriter, üst yöneticiler için karar verilmek üzere belirlenmiş; ağırlık belirlenmesi için karşılaştırma, sözü edilen üç üst düzey yönetici tarafından yapılmıştır.

Yukarıda ifade edilen 5 ana kritere bağlı 27 kriter ise konunun uzmanı mühendis ve şeflerden oluşan üç kişilik farklı ekipler tarafından değerlendirilmiştir. Bu ekiplerde üretim, kalite ve planlama bölüm sorumluları yer almıştır.

Farklı uzmanlar için farklı özellikler, seçim aşamasında tercihleri değiştirebilmektedir. Örneğin, kalite mühendisleri için bir makinenin az hurda vermesi proses esnekliğinden daha önemli iken, üretim mühendisleri için durum tam tersinedir. Bir mühendis için makinenin teknik özellikleri çok önemli iken, bir yönetici için maliyeti en önemli unsurdur. İşte bu çalışmada, tüm bu düşünceleri dikkate alarak, bu problem için genel bir karar verme mekanizması oluşturulmuştur.

Sözü edilen 27 kriter, bu ekipler tarafından değerlendirilerek 5 ana kriterin değerlerine ulaşılmış, üst yöneticiler tarafından tespit edilen ağırlıklara bağlı olarak HGİA yöntemi ile sonuç önerisinde bulunulmuştur. Aşağıda, seçim aşamasında ele alınan kriterlerin açıklamaları ve uygulanan yöntemin adımları yer almaktadır.

4.2. Kriterlerin Tanımları

Bu çalışmada ele alınan makine seçim problemi, 5 ana kriter bazında 27 kriterin (indeks) değerlendirilmesi ile çözülmeye çalışılmıştır. Bu kriterler, birbirinin alternatifi olan makineler için önemli ve ayırt edici özellik olmaları bakımından karar vericiler tarafından belirlenmiştir. Aşağıda, dikkate alınan bu 27 faktörün kısa açıklamaları yer almıştır.

Satınalma Maliyeti

Satınalma maliyeti; bir makinenin alımı esnasında makine ve makine ekipmanlarına bir kere ödenen ücrettir. Bu ücret, makinenin üretim tesisine getirilmesini ve kurularak çalışır biçimde kurum yetkililerine teslimini içermektedir. Sayısal değerler ile ölçülmektedir. Bir zarar kriteridir, dolayısıyla “düşük olan iyidir”.

İşletme Maliyeti

İşletme maliyeti; bir makine çalışır durumda iken çektiği enerji, hava, soğutma sıvıları, işçilik gibi maliyet kalemlerini içermektedir. Kısaca, bir makinenin çalışması esnasında ortaya çıkan maliyetidir. Sayısal değerler ile ölçülmektedir. Bir zarar kriteridir, dolayısıyla “düşük olan iyidir”.

Bakım Maliyeti

Bakım maliyeti; bir makinenin periyodik bakımını, arıza bakımını, arıza durumunda çağırılan teknisyenlere ödenen ücretleri, mekanik ve elektronik

yedek parça maliyetlerini içerir. Kısaca, bir makinenin çalışır durumda tutma veya çalışır duruma getirilme maliyetidir. Sayısal değerler ile ölçülmektedir. Bir zarar kriteridir, dolayısıyla “düşük olan iyidir”.

Hurda-Yeniden İşleme Oranı

Hurda oranı; bir makinenin üretim esnasında ortaya çıkardığı, tekrar işlenemez ve kullanılamaz ürün oranıdır. Yeniden işleme oranı ise; bir makinenin üretim esnasında ortaya çıkardığı, ilk defada uygun ürün olarak ortaya çıkaramadığı ve ekstra işleme ihtiyacı olan ürün oranıdır. Kısaca, hurda ve yeniden işleme oranı, bir makinenin ilk defada doğru üretmediği ürün oranıdır. Sayısal değerler ile ölçülmektedir. Bir zarar kriteridir, dolayısıyla “düşük olan iyidir”.

Tutarlılık + Güvenilirlik

Tutarlılık ve güvenilirlik; bir makinenin yapılan ayar sonrasında, yeni bir ayara ihtiyaç duymadan doğru ölçülerde ürün yapabilme yeteneğidir. Sözel değerler ile ölçülmektedir. Bir fayda kriteridir, dolayısıyla “yüksek olan iyidir”.

Ürün Kalitesine Uygunluk

Ürün kalitesine uygunluk, bir makinenin istenen ölçülerde ve kalitede ürün üretebilme yeteneğidir. Sözel değerler ile ölçülmektedir. Bir fayda kriteridir, dolayısıyla “yüksek olan iyidir”.

Ürün Hacmi Esnekliği

Ürün hacmi esnekliği, üretilen ürünün miktarına bağlı olmadan doğru ürün üretebilme ve hurda vermeme yeteneğidir. Örneğin, bir makinenin kafiye hacmi yüksek bir üretimde gösterdiği performansı düşük bir kafiye hacmi için de gösteriyor olması esnekliğinin fazla olduğu anlamına gelir. Sözel değerler ile ölçülmektedir. Bir fayda kriteridir, dolayısıyla “yüksek olan iyidir”.

Ürün Çeşidi Esnekliği

Ürün çeşidi esnekliği, üretilen ürünün çeşitliliğine bağlı olmadan doğru ürün üretebilme ve hurda vermeme yeteneğidir. Örneğin, bir makinenin 20 değişik ürünü üretebiliyor olması, 10 ürünü üreten bir makineye göre esnekliğinin fazla olduğu anlamına gelir. Sözel değerler ile ölçülmektedir. Bir fayda kriteridir, dolayısıyla “yüksek olan iyidir”.

Proses Esnekliği

Proses esnekliği, yapılan operasyona bağlı olmadan doğru ürün üretebilme ve hurda vermeme yeteneğidir. Örneğin, bir makine ürünün hem üst hem alt yüzeyini taşıyabiliyorsa, bu makinenin esnekliği, ürünün sadece üst yüzeyi taşıyabilen bir makineye göre daha fazladır. Sözel değerler ile ölçülmektedir. Bir fayda kriteridir, dolayısıyla “yüksek olan iyidir”.

Güvenlik

Güvenlik, bir makinenin sahip olduğu özelliklere bağlı olarak üretim esnasında operatöre ve bulunduğu alana zarar verme riskinin az olması ölçütüdür. Örneğin, bir makinenin güvenlik kapısı olması, olmayan bir makineye göre daha güvenli olduğu anlamına gelir. Sözel değerler ile ölçülmektedir. Bir fayda kriteridir, dolayısıyla “yüksek olan iyidir”.

Otomasyon Seviyesi

Otomasyon seviyesi, bir makinenin en düşük insan müdahalesi ihtiyacı ile üretim yapabilme, teknolojik olarak kolay müdahale edilebilme yeteneğidir. Örneğin, bir makine insansız yükleme yapabiliyor, diğer makine ise elle yükleme gerektiriyorsa, insansız üretim yapan makinenin otomasyon seviyesi yüksek demektir. Sözel değerler ile ölçülmektedir. Bir fayda kriteridir, dolayısıyla “yüksek olan iyidir”.

Ayar Süresi

Ayar süresi; bir makinede üretim esnasında ayar bozulmaları meydana geldiğinde eski ayarına getirilebilmesi için gerekli ortalama süredir. Diğer bir parametre ise, bir üründen başka ürüne geçerken harcanan ortalama süredir. Sayısal değerler ile ölçülmektedir. Bir zarar kriteridir, dolayısıyla “düşük olan iyidir”.

Kullanım Kolaylığı

Kullanım kolaylığı; bir makinenin öğrenilebilme ve üretim esnasında kolay idare edilebilme yeteneğidir. Örneğin, bir makinenin dokunmatik ekranı varsa, operatöre ayar konusunda yol gösteriyorsa, az müdahale ile iş görebiliyorsa bu makinenin kullanım kolaylığı yüksektir. Sözel değerler ile ölçülmektedir. Bir fayda kriteridir, dolayısıyla “yüksek olan iyidir”.

Üretkenlik + Hız

Üretkenlik ve hız; bir makinenin çalışır durumda iken bir parçayı yüklemeye, işlemeye ve boşaltmaya harcadığı sürenin az olması ile ilgilidir. Sözel değerler ile ölçülmektedir. Bir fayda kriteridir, dolayısıyla “yüksek olan iyidir”.

Arıza Oranı

Arıza oranı; bir makinede üretim esnasında ortaya çıkan arızı duruşların oranıdır. Mekanik, elektronik gibi nedenlerle meydana gelir. Arıza; tamir, yedek parça kullanımı ve işçilik yeni ayar gerektirir, hurda ve yeniden işleme oranını artırır. Sayısal değerler ile ölçülmektedir. Bir zarar kriteridir, dolayısıyla “düşük olan iyidir”.

Taşılama Yöntemi

Taşılama yöntemi; taşılama makinelerine yönelik teknik bir özelliktir. “NC Salınım” ve/veya “Dalma” şeklinde olabilir. NC Salınım olması Dalma şeklinde olmasından daha iyidir. Beraber bulunması en iyisidir. Sözel değerler ile ölçülmektedir. Bir fayda kriteridir, dolayısıyla “yüksek olan iyidir”.

Ölçme Yöntemi

Ölçme yöntemi; tüm makinelere yönelik teknik bir özelliktir. Elle veya otomatik olabilir. Otomatik olması daha iyidir. Sözel değerler ile ölçülmektedir. Bir fayda kriteridir, dolayısıyla “yüksek olan iyidir”.

Tutma Yöntemi

Tutma yöntemi; parça işleyen tüm makinelere yönelik teknik bir özelliktir. “Pabuç sayısı” ve manyetik olup olmamasına bağlı olarak değerlendirilir. Manyetik olması ve fazla sayıda pabuçla olması daha iyidir. Sözel değerler ile ölçülmektedir. Bir fayda kriteridir, dolayısıyla “yüksek olan iyidir”.

Yükleme Yöntemi

Yükleme yöntemi; parça işleyen tüm makinelere yönelik teknik bir özelliktir. “Kaset tipi” veya “akış tipi” olabilir. Kaset tipi olması akış tipi olmasından daha iyidir. Sözel değerler ile ölçülmektedir. Bir fayda kriteridir, dolayısıyla “yüksek olan iyidir”.

Elmaslama Yöntemi

Elmaslama yöntemi; parça teması ile parça işleyen tüm makinelere yönelik teknik bir özelliktir. “Sabit tek taneli” olması “aşağı yukarı” olmasından daha iyidir. Sözel değerler ile ölçülmektedir. Bir fayda kriteridir, dolayısıyla “yüksek olan iyidir”.

Çalışılan Dış Çap Ölçüsü

Çalışılan dış çap ölçüsü; dairesel parça işleyen tüm makinelere yönelik teknik bir özelliktir. Makine kapasitesini ifade eder. İşlenebilen parçaların en küçüğünün dış çapı(mm bazında) ile en büyüğünün dış çapı(mm bazında) arasındaki farkı göstermektedir. Fark ne kadar büyük olursa makinenin o kadar geniş aralıktaki parçaları işleyebildiğini gösterir. Sözel değerler ile ölçülmektedir. Bir fayda kriteridir, dolayısıyla “yüksek olan iyidir”.

Çalışılan En Ölçüsü

Çalışılan en ölçüsü; parça işleyen tüm makinelere yönelik teknik bir özelliktir. İşlenebilen parçaların eninin en dar olanı(mm bazında) ile en geniş olanı(mm bazında) arasındaki farkı göstermektedir. Fark ne kadar büyük olursa makinenin o kadar geniş aralıktaki parçaları işleyebildiğini gösterir. Sözel değerler ile ölçülmektedir. Bir fayda kriteridir, dolayısıyla “yüksek olan iyidir”.

Çalışılan Delik Çap Ölçüsü

Çalışılan delik çap ölçüsü; dairesel parça işleyen tüm makinelere yönelik teknik bir özelliktir. İşlenebilen parçaların en küçüğünün iç çapı(mm bazında) ile en büyüğünün iç çapı(mm bazında) arasındaki farkı göstermektedir. Fark ne kadar büyük olursa makinenin o kadar geniş aralıktaki parçaları işleyebildiğini gösterir. Sözel değerler ile ölçülmektedir. Bir fayda kriteridir, dolayısıyla “yüksek olan iyidir”.

İş Kafası Devri

İş kafası devri; iş kafasına (work spindle) sahip tüm makineler için teknik bir özelliktir. Dakikadaki çevrim sayısı olarak hesaplanır. En yavaş olduğundaki çevrim sayısı ile en hızlı olduğundaki çevrim sayısı farkına bağlı olarak karşılaştırılır. Aradaki fark ne kadar büyükse, en fazla ne kadar yavaş

olabiliyorsa ve en fazla ne kadar hızlı olabiliyorsa o kadar iyidir. Sözel değerler ile ölçülmektedir. Bir fayda kriteridir, dolayısıyla “yüksek olan iyidir”.

Ebatlar

Ebatlar, bir makinenin sahip olduğu en-boy-yükseklik değerlerini gösteren teknik bir kriterdir. Ne kadar az alan kaplar ve operatör için ne kadar ergonomik yükseklikte olursa o kadar iyidir. Sözel değerler ile ölçülmektedir. Bir fayda kriteridir, dolayısıyla “yüksek olan iyidir”.

Aynı Anda Kontrol Edilebilen Eksen Sayısı

Eksen sayısı; bir makinenin kaç eksen (axis) iş yapabildiğini gösteren teknik bir özelliktir. Ne kadar fazla eksen aynı anda çalışabiliyorsa o kadar iyidir. Sözel değerler ile ölçülmektedir. Bir fayda kriteridir, dolayısıyla “yüksek olan iyidir”.

Diamond Roll

“Diamond Roll”, taşlama makineleri için teknik bir özelliktir. Olması veya olmamasına göre makinenin elmaslama ihtiyaçlarını değiştirmektedir. Olması iyidir. Karmaşık yapılı parçaların bir defada taşlanmasını sağlar. Sözel değerler ile ölçülmektedir. Bir fayda kriteridir, dolayısıyla “yüksek olan iyidir”.

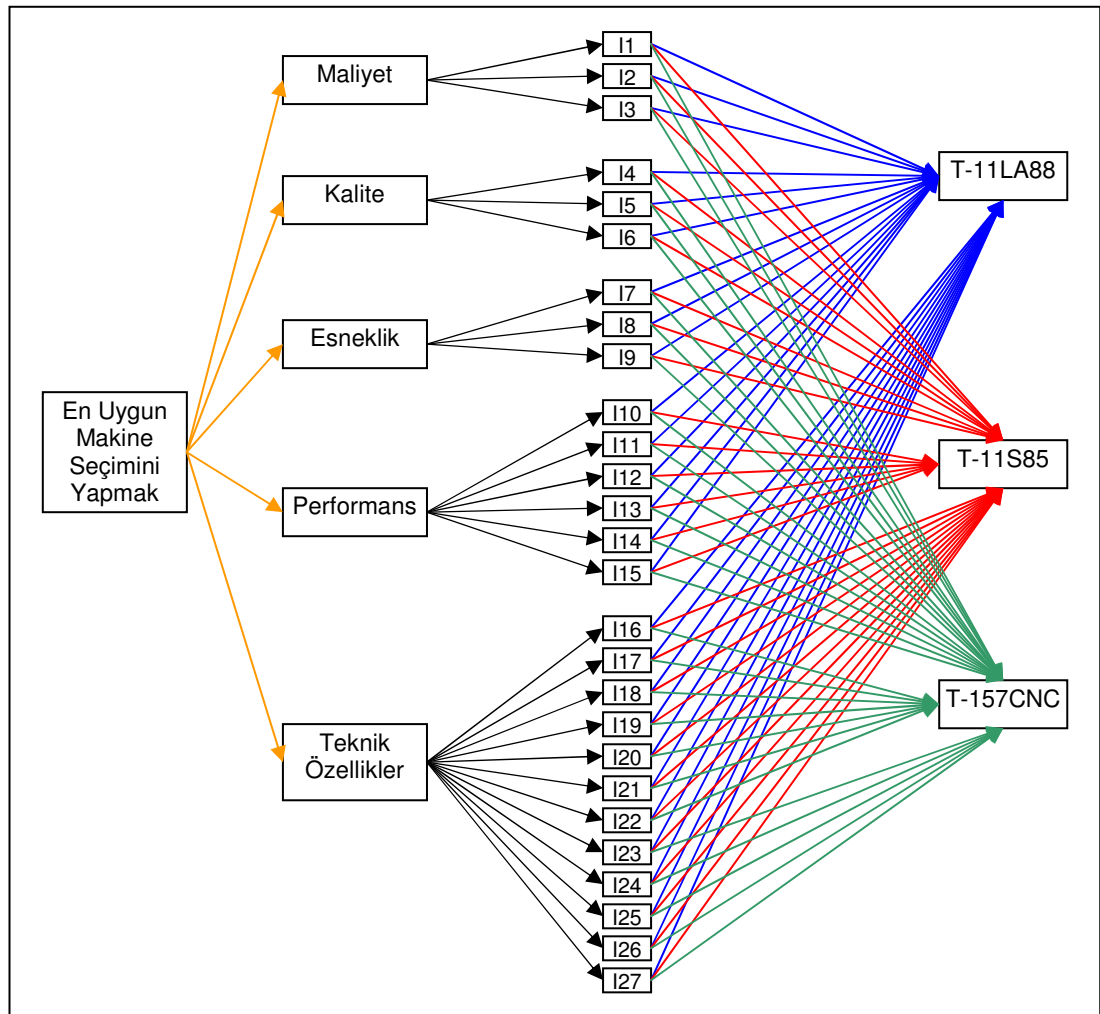
4.3. Seçim Problemi Hiyerarşisi

HGİA Yöntemi’nin başarısı ve uygulanabilirliği, doğru bir hiyerarşinin kurulması ile mümkündür. Bu hiyerarşi, ele alınan problemde Şekil 4.1’ de olduğu gibi dört seviyeden oluşmaktadır.

Hiyerarşinin birinci seviyesinde “Amaç” bulunmaktadır. Yapılan çalışmada amaç üç farklı alternatif arasında dikkate alınan faktörler ışığında en uygun puntasız taşlama makinesini satın almaktır.

Hiyerarşinin ikinci seviyesinde probleme ait beş kriter, üçüncü seviyesinde ise bu beş kritere bağlı olarak dallanan yirmi yedi alt kriter, yani indeksler bulunmaktadır.

Hiyerarşinin son seviyesinde ise ele alınan üç farklı puntasız taşlama makinesi yer almaktadır. Dördüncü seviye, seçim aşamasına giren alternatiflerin bulunduğu seviyedir.



Şekil 4.1. Probleme ait hiyerarşi

Aşağıda yer alan Çizelge 4.1’de probleme ait seviye 2 ve 3 sunulmuştur. Aynı çizelgede ele alınan kriterlerin fayda veya zarar kriteri gruplarından

hangisine dahil olduğu da gösterilmiştir. Çizelge 4.2’de ise seviye 4’de bulunan alternatifler listelenmiřtir.

Hiyerarşi oluştuktan sonra yapılacak işlem kriter ve indekslere ait ağırlıkların belirlenmesidir.

Çizelge 4.1. Kriter – indeks listesi (seviye 2 & 3)

Kriter Kodu	Kriterler	İndeks Kodu	İndeksler	Etki
C1	Maliyet	I1	Satınalma Maliyeti	Zarar
		I2	İşletme Maliyeti	Zarar
		I3	Bakım Maliyeti	Zarar
C2	Kalite	I4	Hurda-Yeniden İşleme Oranı	Zarar
		I5	Tutarlılık & Güvenilirlik	Fayda
		I6	Ürün Kalitesine Uygunluk	Fayda
C3	Esneklik	I7	Ürün Hacmi Esnekliğı	Fayda
		I8	Ürün Çeşidi Esnekliğı	Fayda
		I9	Proses Esnekliğı	Fayda
C4	Performans	I10	Güvenlik	Fayda
		I11	Otomasyon Seviyesi	Fayda
		I12	Ayar Süresi	Zarar
		I13	Kullanım Kolaylığı	Fayda
		I14	Üretkenlik + Hız	Fayda
		I15	Arıza Oranı	Zarar
C5	Teknik Özellikler	I16	Taşlama Yöntemi	Fayda
		I17	Ölçme Yöntemi	Fayda
		I18	Tutma Yöntemi	Fayda
		I19	Yükleme Yöntemi	Fayda
		I20	Elmaslama Yöntemi	Fayda
		I21	Çalışılan Dış Çap Ölçüsü	Fayda
		I22	Çalışılan En Ölçüsü	Fayda
		I23	Çalışılan Delik Çap Ölçüsü	Fayda
		I24	İř Kafası Devri	Fayda
		I25	Ebatlar	Fayda
		I26	Anlık Kontrol Edilebilen Eksen Sayısı	Fayda
		I27	Diamond Roll	Fayda

Çizelge 4.2. Alternatif listesi (seviye 4)

S1	T-11LA88
S2	T-11S85
S3	T-157CNC

4.4. Hiyerarşik Gri İlişkisel Analiz

HGİA yönteminde birinci adım olan ağırlıkların belirlenmesi işleminde, ilk işlem karşılaştırma matrislerinin hazırlanmasıdır. Eş. 3.1’de olduğu gibi her faktörün ikinci bir faktör ile karşılaştırılması sonucu karşılaştırma matrisleri ortaya çıkacaktır.

4.4.1. Karşılaştırma matrisi hazırlanması

Çizelge 4.3’de yer alan kriterlere ait karşılaştırma matrisi, her ikili kriter kombinasyonunun önemlerinin karşılaştırılması sonucu kriterlerin birbirine olan üstünlüğünü göstermektedir.

Çalışmada ele alınan karşılaştırma matrisleri, çalışmanın yapıldığı ORS fabrikasının konu ile ilgili müdür ve mühendislerin oluşturduğu üçer kişilik gruplar tarafından hazırlanmıştır.

Çizelge 4.3’de yer alan karşılaştırma matrisi bölüm müdürleri tarafından, Çizelge 4.4’de yer alan karşılaştırma matrisi planlama ve üretim mühendisleri tarafından, Çizelge 4.5’de yer alan karşılaştırma matrisi kalite ve üretim mühendisleri tarafından, Çizelge 4.6’da yer alan karşılaştırma matrisi planlama ve üretim mühendisleri tarafından, Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8’de yer alan karşılaştırma matrisleri üretim müdür ve mühendisleri tarafından hazırlanmıştır.

Çizelge 4.3. Kriterlere ait karşılaştırma matrisi (K)

	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	2	2	4	5
C2	0,5	1	0,5	2	3
C3	0,5	2	1	3	4
C4	0,25	0,5	0,33	1	2
C5	0,2	0,33	0,25	0,5	1

Örneğin; a_{12} değeri, yani C1 satırı ile C2 sütununun kesiştiği hücre C1 kriterinin C2 kriterine olan üstünlüğünü göstermektedir. Bu çizelgeden anlaşılacağı üzere puntasız makinesi seçim sürecinde C1 kriteri C2 kriterine göre 2 kat daha önemlidir.

Yine aynı çizelgede, a_{43} değeri C4 kriterinin C3 kriterine göre 1/3 kat önemli olduğunu, yani C3 kriterinin C4 kriterine göre 3 kat daha önemli olduğunu göstermektedir.

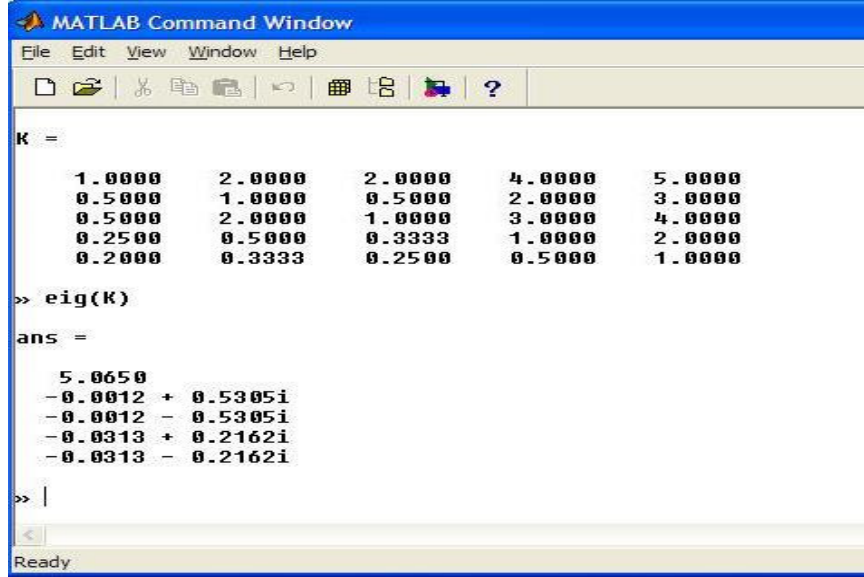
Çizelge 4.3'ten Çizelge 4.8'e kadar bütün karşılaştırma matrisleri aynı mantık üstüne inşa edilmiştir. Bu değerler Çizelge 3.1'de yer alan Saaty'nin Karşılaştırma Ölçütleri doğrultusunda karar vericiler tarafından belirlenen değerlerdir. Bir araya getirilen gruplar, Saaty'nin değerlerine göre puanlama yaparak önem derecelerini ortaya koymuştur. Tüm bu karşılaştırma matrisleri, $a_{ij} = 1 / a_{ji}$ ve $a_{ii} = 1$ eşitliklerini sağlamaktadır.

C1, C3 ve C5 kriterlerine bakıldığında, bu ilişkinin gerçekleşmediği kolayca görülebilir. Çizelge 4.3'teki değerler ele alındığında $a_{15} = 5$, $a_{13} = 2$ ve $a_{53} = 0,25$ değerleri görülecektir. Geçişkenlik özelliğine göre $a_{15} = a_{13} / a_{53}$ olması gerekirken Çizelge 4.3'te $a_{15} = 5$ ve $a_{13} / a_{53} = 8$ olduğu için bu özelliğin sağlanmadığı görülür.

Bu nedenle, Eş. 3.3'teki "n" değerini bu matrise ait en büyük özdeğer olarak almak, ancak daha önce en büyük özdeğer için tutarlılık testi yapmak gerekmektedir.

Bu matrise ait özdeğerlerin hesaplanmasında MATLAB® programı kullanılmıştır. Kriterlere ait K matrisi MATLAB® programında oluşturulduğunda özdeğerler Şekil 4.2'de görülebileceği gibi aşağıdaki gibi oluşmuştur.

$\lambda_1 = 5,0650$, $\lambda_2 = -0,0012 + 0,5305i$, $\lambda_3 = -0,0012 - 0,5305i$, $\lambda_4 = -0,0313 + 0,2162i$, $\lambda_5 = -0,0313 - 0,2162i$.



```

MATLAB Command Window
File Edit View Window Help
K =
    1.0000    2.0000    2.0000    4.0000    5.0000
    0.5000    1.0000    0.5000    2.0000    3.0000
    0.5000    2.0000    1.0000    3.0000    4.0000
    0.2500    0.5000    0.3333    1.0000    2.0000
    0.2000    0.3333    0.2500    0.5000    1.0000

>> eig(K)
ans =
    5.0650
   -0.0012 + 0.5305i
   -0.0012 - 0.5305i
   -0.0313 + 0.2162i
   -0.0313 - 0.2162i

>> |
Ready

```

Şekil 4.2. MATLAB çıktısı – kriterlerin özdeğer hesaplaması

Çıkan λ değerleri dikkate alındığında bir değer reel, diğer değerlerin sanal olduğu görülmektedir. Bir $(n \times n)$ matriste, n sayısının tek olması en az bir λ değerinin reel çıkacağını garanti etmektedir. N sayısının çift olması halinde tüm λ değerleri sanal çıkabilir. Ancak, *Perron-Frobenius* teoremine göre bir kare matrisin tüm değerleri sıfır veya sıfırdan büyük ise en az bir reel özdeğer kesin çıkacağı için karşılaştırma matrislerinde böyle bir problem ortaya çıkmamaktadır.

Bu değerler ele alındığında $\lambda_{\max} = 5,0650$ olarak bulunmaktadır. Ancak bu $\lambda_{\max}$ değerinin AHP 6. adımında söz edildiği üzere Eş. 3.5 ile tutarlılık testine tabi tutulması gerekmektedir.

$$CI_K = \left(\frac{5,0650 - 5}{5 - 1} \right) = 0,01625 \quad (4.1)$$

Bulunan tutarlılık indeks değeri, AHP 7. adımda söz edildiği gibi Çizelge 3.2'de yer alan Rassal indeks ile karşılaştırılarak tutarlılık oranı hesaplanır. Eğer bu değer 0,1'den küçük ise matris tutarlıdır ve kullanılabilir. Eş. 4.2'de görüldüğü gibi K matrisi için bu değer 0,1'den küçük çıkmış ve K matrisinin tutarlı olduğu ispatlanmıştır.

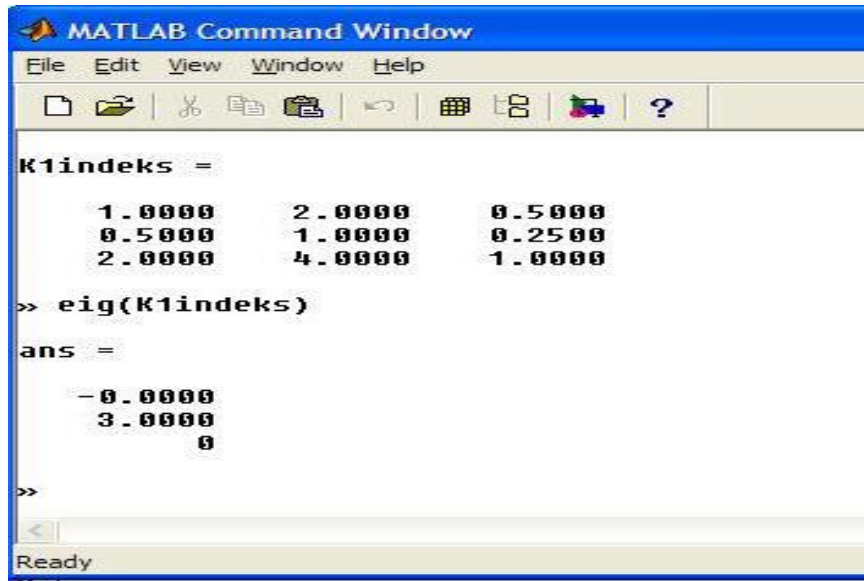
$$CR_K = \left(\frac{0,01625}{1,12} \right) = 0,0145 \leq 0,1 \quad (4.2)$$

K matrisi için uygulanan işlemlerin diğer matrisler için de uygulanması gerekmektedir.

Çizelge 4.4. 1. kritere ait indekslerin karşılaştırma matrisi (K1indeks)

	I1	I2	I3
I1	1	2	0,5
I2	0,5	1	0,25
I3	2	4	1

Çizelge 4.4'de yer alan K1indeks matrisi için MATLAB® programında hesaplanan $\lambda_{\max}$ değeri Şekil 4.3'de görülebileceği gibi 3,0000'dür. Bu değer tutarlılık indeksi hesaplamak için eşitlikte yerine konduğunda aşağıdaki sonuca ulaşılmaktadır.



Şekil 4.3. MATLAB çıktısı – 1. kriter a ait indekslerin özdeğer hesaplaması

$$CI_{K1indeks} = \left(\frac{3,0000 - 3}{3 - 1} \right) = 0 \quad (4.3)$$

Eş. 4.3'te bulunan CI değeri CR değeri hesaplamasında kullanıldığında Eş. 4.4'teki sonuca ulaşılmaktadır. CR değeri 0,1'den küçük olduğu için K1indeks matrisi tutarlıdır.

$$CR_{K1indeks} = \left(\frac{0}{0,58} \right) = 0 \leq 0,1 \quad (4.4)$$

Çizelge 4.5. 2. kriter a ait indekslerin karşılaştırma matrisi (K2indeks)

	I4	I5	I6
I4	1	0,25	0,5
I5	4	1	2
I6	2	0,5	1

Çizelge 4.5'de yer alan K2indeks matrisi için MATLAB® programında hesaplanan $\lambda_{\max}$ değeri Şekil 4.4'te görülebileceği gibi 3,0000'dür. Bu değer

tutarlılık indeksi hesaplamak için eşitlikte yerine konduğunda aşağıdaki sonuca ulaşılmaktadır.

$$CI_{K2indeks} = \left(\frac{3,0000 - 3}{3 - 1} \right) = 0 \quad (4.5)$$

Eş. 4.5'te bulunan CI değeri CR değeri hesaplamasında kullanıldığında Eş. 4.6'teki sonuca ulaşılmaktadır. CR değeri 0,1'den küçük olduğu için K2indeks matrisi tutarlıdır.

$$CR_{K2indeks} = \left(\frac{0}{0,58} \right) = 0 \leq 0,1 \quad (4.6)$$

```

MATLAB Command Window
File Edit View Window Help
K2indeks =
    1.0000    0.2500    0.5000
    4.0000    1.0000    2.0000
    2.0000    0.5000    1.0000

>> eig(K2indeks)
ans =
   -0.0000
    3.0000
         0

>> |
Ready

```

Şekil 4.4. MATLAB çıktısı – 2. kriteri ait indekslerin özdeğer hesaplaması

Çizelge 4.6. 3. kriteri ait indekslerin karşılaştırma matrisi (K3indeks)

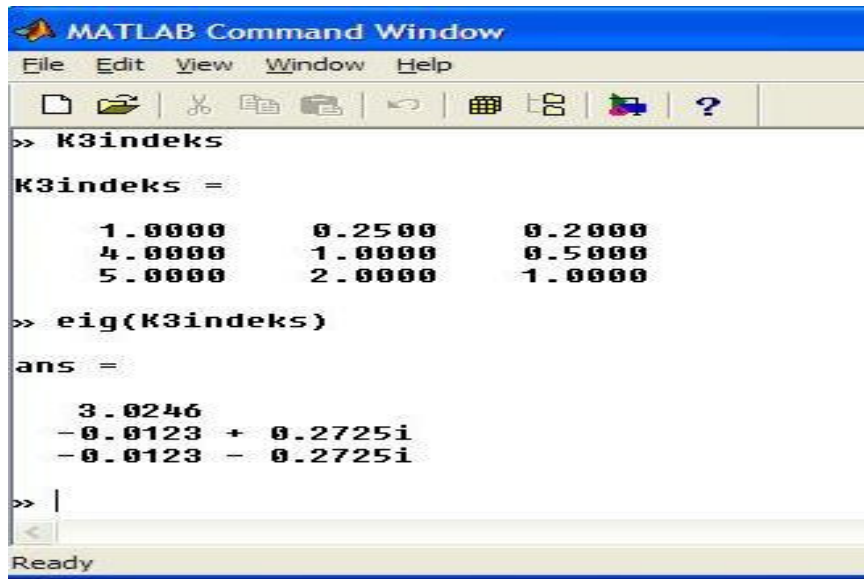
	I7	I8	I9
I7	1	0,25	0,2
I8	4	1	0,5
I9	5	2	1

Çizelge 4.6'da yer alan K3indeks matrisi için MATLAB® programında hesaplanan $\lambda_{\max}$ değeri Şekil 4.5'de görülebileceği gibi 3,0246'dır. Bu değer tutarlılık indeksi hesaplamak için eşitlikte yerine konduğunda aşağıdaki sonuca ulaşılmaktadır.

$$CI_{K3indeks} = \left(\frac{3,0246 - 3}{3 - 1} \right) = 0,0123 \quad (4.7)$$

Eş. 4.7'te bulunan CI değeri CR değeri hesaplamasında kullanıldığında Eş. 4.8'deki sonuca ulaşılmaktadır. CR değeri 0,1'den küçük olduğu için K3indeks matrisi tutarlıdır.

$$CR_{K3indeks} = \left(\frac{0,0123}{0,58} \right) = 0,0212 \leq 0,1 \quad (4.8)$$



```

MATLAB Command Window
File Edit View Window Help
[Icons]
>> K3indeks
K3indeks =
    1.0000    0.2500    0.2000
    4.0000    1.0000    0.5000
    5.0000    2.0000    1.0000
>> eig(K3indeks)
ans =
    3.0246
   -0.0123 + 0.2725i
   -0.0123 - 0.2725i
>> |
Ready

```

Şekil 4.5. MATLAB çıktısı – 3. kritere ait indekslerin özdeğer hesaplaması

Çizelge 4.7'de yer alan K4indeks matrisi için MATLAB® programında hesaplanan $\lambda_{\max}$ değeri Şekil 4.6'da görülebileceği gibi 6,1138'dir. Bu değer tutarlılık indeksi hesaplamak için eşitlikte yerine konduğunda aşağıdaki sonuca ulaşılmaktadır.

Çizelge 4.7. 4. kritere ait indekslerin karşılaştırma matrisi (K4indeks)

	I10	I11	I12	I13	I14	I15
I10	1	0,5	0,25	2	0,33	0,5
I11	2	1	0,33	3	0,5	0,5
I12	4	3	1	5	2	2
I13	0,5	0,33	0,2	1	0,25	0,33
I14	3	2	0,5	4	1	2
I15	2	2	0,5	3	0,5	1

$$CI_{K4indeks} = \left(\frac{6,1138 - 6}{6 - 1} \right) = 0,0228 \quad (4.9)$$

Eş. 4.9'da bulunan CI değeri CR değeri hesaplamasında kullanıldığında Eş. 4.10'daki sonuca ulaşılmaktadır. CR değeri 0,1'den küçük olduğu için K4indeks matrisi tutarlıdır.

$$CR_{K4indeks} = \left(\frac{0,0228}{1,24} \right) = 0,0184 \leq 0,1 \quad (4.10)$$

```

MATLAB Command Window
File Edit View Window Help
K4indeks =
    1.0000    0.5000    0.2500    2.0000    0.3333    0.5000
    2.0000    1.0000    0.3333    3.0000    0.5000    0.5000
    4.0000    3.0000    1.0000    5.0000    2.0000    2.0000
    0.5000    0.3333    0.2000    1.0000    0.2500    0.3333
    3.0000    2.0000    0.5000    4.0000    1.0000    2.0000
    2.0000    2.0000    0.5000    3.0000    0.5000    1.0000

>> eig(K4indeks)
ans =
    6.1138
    0.0330 + 0.6891i
    0.0330 - 0.6891i
   -0.0591
   -0.0604 + 0.4704i
   -0.0604 - 0.4704i
  
```

Şekil 4.6. MATLAB çıktısı – 4. kritere ait indekslerin özdeğer hesaplaması

Çizelge 4.8. 5. kritere ait indekslerin karşılaştırma matrisi (K5indeks)

	I16	I17	I18	I19	I20	I21	I22	I23	I24	I25	I26	I27
I16	1	2	3	3	2	1	1	1	3	2	1	2
I17	0,5	1	2	2	1	0,5	0,5	0,5	2	0,5	0,5	1
I18	1/3	0,5	1	1	0,5	1/3	1/3	1/3	1	0,5	1/3	0,5
I19	1/3	0,5	1	1	0,5	1/3	1/3	1/3	1	0,5	1/3	0,5
I20	0,5	1	2	2	1	0,5	0,5	0,5	2	0,5	0,5	1
I21	1	2	3	3	2	1	1	1	3	2	1	2
I22	1	2	3	3	2	1	1	1	3	2	1	2
I23	1	2	3	3	2	1	1	1	3	2	1	2
I24	1/3	0,5	1	1	0,5	1/3	1/3	1/3	1	0,5	1/3	0,5
I25	0,5	2	2	2	2	0,5	0,5	0,5	2	1	0,5	2
I26	1	2	3	3	2	1	1	1	3	2	1	2
I27	0,5	1	2	2	1	0,5	0,5	0,5	2	0,5	0,5	1

Çizelge 4.8’de yer alan K5indeks matrisi için MATLAB® programında hesaplanan $\lambda_{\max}$ değeri Şekil 4.7’de görülebileceği gibi 12,1167’dir. Bu değer tutarlılık indeksi hesaplamak için eşitlikte yerine konduğunda aşağıdaki sonuca ulaşılmaktadır.

```

K5indeks =
Columns 1 through 7
    1.0000    2.0000    3.0000    3.0000    2.0000    1.0000    1.0000
    0.5000    1.0000    2.0000    2.0000    1.0000    0.5000    0.5000
    0.3333    0.5000    1.0000    1.0000    0.5000    0.3333    0.3333
    0.3333    0.5000    1.0000    1.0000    0.5000    0.3333    0.3333
    0.5000    1.0000    2.0000    2.0000    1.0000    0.5000    0.5000
    1.0000    2.0000    3.0000    3.0000    2.0000    1.0000    1.0000
    1.0000    2.0000    3.0000    3.0000    2.0000    1.0000    1.0000
    0.3333    0.5000    1.0000    1.0000    0.5000    0.3333    0.3333
    0.5000    2.0000    2.0000    2.0000    2.0000    0.5000    0.5000
    1.0000    2.0000    3.0000    3.0000    2.0000    1.0000    1.0000
    0.5000    1.0000    2.0000    2.0000    1.0000    0.5000    0.5000

Columns 8 through 12
    1.0000    3.0000    2.0000    1.0000    2.0000
    0.5000    2.0000    0.5000    0.5000    1.0000
    0.3333    1.0000    0.5000    0.3333    0.5000
    0.3333    1.0000    0.5000    0.3333    0.5000
    0.5000    2.0000    0.5000    0.5000    1.0000
    1.0000    3.0000    2.0000    1.0000    2.0000
    1.0000    3.0000    2.0000    1.0000    2.0000
    0.3333    1.0000    0.5000    0.3333    0.5000
    0.5000    2.0000    1.0000    0.5000    2.0000
    1.0000    3.0000    2.0000    1.0000    2.0000
    0.5000    2.0000    0.5000    0.5000    1.0000

>> eig(K5indeks)
ans =
    12.1167
   -0.0038 + 1.1894i
   -0.0038 - 1.1894i
   -0.1092
   -0.0000

```

Şekil 4.7. MATLAB çıktısı – 5. kritere ait indekslerin özdeğer hesaplaması

$$CI_{K5indeks} = \left(\frac{12,1167 - 12}{12 - 1} \right) = 0,0106 \quad (4.11)$$

Eş. 4.11’de bulunan CI değeri CR değeri hesaplamasında kullanıldığında Eş. 4.12’deki sonuca ulaşılmaktadır. CR değeri 0,1’den küçük olduğu için K5indeks matrisi tutarlıdır.

$$CR_{K5indeks} = \left(\frac{0,0106}{1,45} \right) = 0,007 \leq 0,1 \quad (4.12)$$

Tüm bu sonuçlar değerlendirildiğinde, bütün matrislerin tutarlı olduğu görülür. Buna bağlı olarak gerekli ağırlıklar belirlenebilir.

4.4.2. Ağırlıkların belirlenmesi

Bu çalışmada AHP, ağırlıkların tespit edilmesi amacıyla GİA yöntemine entegre edilmiştir. Bir önceki bölümde yapılan işlemler karşılaştırma matrislerinin hazırlanmasına yönelik yapılmış ancak ağırlıklar tespit edilmemiştir.

Eş. 3.7 ve Eş. 3.8’de açıklandığı gibi ağırlıklar aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

K matrisi kriterlere ait ikili karşılaştırmaları gösteren matristir ve tutarlılık testinden geçmiştir.

$$K = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 & 4 & 5 \\ 0,5 & 1 & 0,5 & 2 & 3 \\ 0,5 & 2 & 1 & 3 & 4 \\ 0,25 & 0,5 & 0,3333 & 1 & 2 \\ 0,2 & 0,3333 & 0,25 & 0,5 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

$$W_K = \begin{bmatrix} (1*2*2*4*5)^{1/5} \\ (0,5*1*0,5*2*3)^{1/5} \\ (0,5*2*1*3*4)^{1/5} \\ (0,25*0,5*0,3333*1*2)^{1/5} \\ (0,2*0,3333*0,25*0,5*1)^{1/5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,4022 \\ 1,0845 \\ 1,6438 \\ 0,6084 \\ 0,3838 \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

$$W'_K = \begin{bmatrix} 2,4022/6,1227 \\ 1,0845/6,1227 \\ 1,6438/6,1227 \\ 0,6084/6,1227 \\ 0,3838/6,1227 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,3923 \\ 0,1771 \\ 0,2685 \\ 0,0994 \\ 0,0626 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \\ w_5 \end{bmatrix} \quad (4.15)$$

Eş. 4.14 ve Eş. 4.15'de sunulan işlemler Microsoft® Office Excel ortamında indekslerin yer aldığı matrisler için yapılarak indekslere ait ağırlıklar tespit edilmiştir.

Çizelge 4.9'da görülebileceği üzere 1. Kriteria ait indekslerin (I1, I2, I3) tespit edilen ağırlıkları aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.9. 1. kriteri ait indekslerin ağırlıkları (K1 indeks)

<i>K indeks</i>			<i>W_{K1indeks}</i>	<i>W'_{K1indeks}</i>
1	2	0,5	1	0,2857
0,5	1	0,25	0,5	0,1429
2	4	1	2	0,5714

Çizelge 4.10'da görülebileceği üzere 2. Kriteria ait indekslerin (I4, I5, I6) tespit edilen ağırlıkları aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.10. 2. kritere ait indekslerin ağırlıkları (K2indeks)

<i>K2indeks</i>			$W_{K2indeks}$	$W'_{K2indeks}$
1	0,25	0,5	0,5	0,1429
4	1	2	2	0,5714
2	0,5	1	1	0,2857

Çizelge 4.11'de görülebileceği üzere 3. Kriteria ait indekslerin (I7, I8, I9) tespit edilen ağırlıkları aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.11. 3. kritere ait indekslerin ağırlıkları (K3indeks)

<i>K3indeks</i>			$W_{K3indeks}$	$W'_{K3indeks}$
1	0,25	0,2	0,3684	0,0974
4	1	0,5	1,2599	0,3331
5	2	1	2,1544	0,5695

Çizelge 4.12'de görülebileceği üzere 4. Kriteria ait indekslerin (I10 – I15) tespit edilen ağırlıkları aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.12. 4. kritere ait indekslerin ağırlıkları (K4indeks)

<i>K4indeks</i>						$W_{K4indeks}$	$W'_{K4indeks}$
1	0,5	0,25	2	0,33	0,5	0,5888	0,0812
2	1	0,33	3	0,5	0,5	0,8909	0,1229
4	3	1	5	2	2	2,4929	0,3440
0,5	0,33	0,2	1	0,25	0,33	0,3749	0,0517
3	2	0,5	4	1	2	1,6984	0,2344
2	2	0,5	3	0,5	1	1,2009	0,1657

Çizelge 4.13'te görülebileceği üzere 5. Kriteria ait indekslerin (I16 – I27) tespit edilen ağırlıkları aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.13. 5. kritere ait indekslerin ağırlıkları (K5indeks)

<i>K5indeks</i>												$W_{K5indeks}$	$W'_{K5indeks}$
1	2	3	3	2	1	1	1	3	2	1	2	1,6581	0,1239
0,5	1	2	2	1	0,5	0,5	0,5	2	0,5	0,5	1	0,8409	0,0629
0,33	0,5	1	1	0,5	0,33	0,33	0,33	1	0,5	0,33	0,5	0,5022	0,0375
0,33	0,5	1	1	0,5	0,33	0,33	0,33	1	0,5	0,33	0,5	0,5022	0,0375
0,5	1	2	2	1	0,5	0,5	0,5	2	0,5	0,5	1	0,8409	0,0629
1	2	3	3	2	1	1	1	3	2	1	2	1,6581	0,1239
1	2	3	3	2	1	1	1	3	2	1	2	1,6581	0,1239
1	2	3	3	2	1	1	1	3	2	1	2	1,6581	0,1239
0,33	0,5	1	1	0,5	0,33	0,33	0,33	1	0,5	0,33	0,5	0,5022	0,0375
0,5	2	2	2	2	0,5	0,5	0,5	2	1	0,5	2	1,0595	0,0792
1	2	3	3	2	1	1	1	3	2	1	2	1,6581	0,1239
0,5	1	2	2	1	0,5	0,5	0,5	2	0,5	0,5	1	0,8409	0,0629

Tespit edilen ağırlıklar ile GİA yöntemi uygulamasına başlanabilir.

4.4.3. Gri ilişkisel analiz

AHP yardımıyla kriterlere ve bu kriterlere bağlı indekslere ait ağırlıklar tespit edilmiştir. GİA ile bu ağırlıklara bağlı olarak her alternatif ayrı ayrı değerlendirilerek en iyi alternatif bulunacaktır.

Ancak indeksler her zaman karar vericiler tarafından sayısal olarak değerlendirilememektedir. Bu gibi durumlarda karar vericilerin sözel ifadelerle verdikleri puanların sayısal karşılıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için Çizelge 4.14'deki karşılıklar kullanılacaktır [52].

Teknik özellikler kriterine bağlı olarak değerlendirilen 12 indeks için, makinelere ait katalog değerleri alınmış, ancak değerlendirme sözel olarak "Mükemmel" ile "Çok Zayıf" değerleri arasında 5'li ölçek olarak karar vericiler tarafından yapılmıştır.

Çizelge 4.14. Sözel değerlerin sayısal karşılıkları [52]

Sözel Değer	Sayısal Puan
Mükemmel	0,9
İyi	0,7
Orta	0,5
Zayıf	0,3
Çok Zayıf	0,1

Çizelge 4.15. Teknik özellikler – katalog değerleri [53-55]

İndeks	T-11LA88	T-11S85	T-157CNC
Taşıma Yöntemi	NC Salınım & Dalma	Dalma	Dalma
Ölçme Yöntemi	Otomatik	Otomatik	Otomatik
Tutma Yöntemi	Manyetik & 2 Pabuç	Manyetik & 2 Pabuç	Manyetik & 2 Pabuç
Yükleme Yöntemi	Kaset Tipi	Akış Tipi (Flow)	Akış Tipi (Flow)
Elmaslama Yöntemi	Sabit Tek Taneli	Aşağı - Yukarı	Aşağı - Yukarı
Çalışılan Dış Çap Ölçüsü	12 mm - 62 mm	12 mm - 62 mm	20 mm - 130 mm
Çalışılan En Ölçüsü	5 mm - 40 mm	5 mm - 25 mm	10 mm - 25 mm
Çalışılan Delik Çap Ölçüsü	Min 6 mm	Min 10 mm	Min 15 mm
İş Kafası Devri	220-3000 r/dak	500-3000 r/dak	220-850 r/dak
Ebatlar	1700 * 1700 * 2100	1700 * 1830 * 1860	2200 * 2005 * 1960
Eksen Sayısı	2 Eksen	1 Eksen	1 Eksen
Diamond Roll	Hayır	Hayır	Evet

Dikkate alınan 27 indeksten Satınalma Maliyeti, İşletme Maliyeti, Bakım Maliyeti, Hurda-Yeniden İşleme Oranı, Ayar Süresi ve Arıza Oranı; ORS'nin ERP sisteminden alınan raporlardan tespit edilerek alternatifler için indeks değeri olarak çalışmada kullanılmıştır. Gizlilik prensibi gereğince, değerler aynen uygulanmamış, 10 değeri üstünden yeni değerler atanmış, ancak aralarındaki oran korunmuştur.

Diğer 9 indeks için ise karar vericilerin, ORS'nin elinde bulunan aynı model makinelerle ilgili olarak geçmiş tecrübelerine istinaden verdikleri sözel değerler dikkate alınmıştır.

Teknik indeksler ise katalog değerlerinin karar vericiler tarafından yine aynı şekilde sözel olarak değerlendirilmesi ile belirlenmiştir. Teknik(sayısal)

değerlerin sözel olarak değerlendirilmesinin sebebi, sayısal değerlerin aralarındaki ilişkinin doğrusal olmamasıdır. Örneğin, T-11LA88 makinesinin çalışabildiği en küçük çap ölçüsü 6 mm'dir. T-157CNC makinesinin çalışabildiği en küçük çap ölçüsü ise 15 mm'dir. Ancak, bu değerlere bakılarak T-11LA88 makinesinin bu kriterde T-157CNC makinesine göre 2,5 kat iyi olduğu söylenemez. Nitekim karar vericiler tarafından T-11LA88 makinesi bu kriterde “Mükemmel” (0,9), T-157CNC ise “Orta” (0,5) değeri almış, aralarındaki oran 1,8 olmuştur.

Çizelge 4.16. İndeks değerleri ve sayısal karşılıkları

Kriter	İndeks	Değerler			Sayısal Karşılığı		
		T-11LA88	T-11S85	T-157CNC	T-11LA88	T-11S85	T-157CNC
C1	I1	7	7	10	7	7	10
	I2	9	8	10	9	8	10
	I3	9	7	10	9	7	10
C2	I4	9	8	10	9	8	10
	I5	Mükemmel	İyi	İyi	0,9	0,7	0,7
	I6	Mükemmel	İyi	İyi	0,9	0,7	0,7
C3	I7	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	0,9	0,9	0,9
	I8	Mükemmel	Orta	Orta	0,9	0,5	0,5
	I9	Mükemmel	Orta	Orta	0,9	0,5	0,5
C4	I10	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	0,9	0,9	0,9
	I11	İyi	Mükemmel	Mükemmel	0,7	0,9	0,9
	I12	9	9	9	9	9	9
	I13	İyi	Mükemmel	Mükemmel	0,7	0,9	0,9
	I14	İyi	Mükemmel	İyi	0,7	0,9	0,7
	I15	9	7	8	9	7	8
C5	I16	Mükemmel	İyi	İyi	0,9	0,7	0,7
	I17	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	0,9	0,9	0,9
	I18	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	0,9	0,9	0,9
	I19	Mükemmel	İyi	İyi	0,9	0,7	0,7
	I20	Mükemmel	İyi	İyi	0,9	0,7	0,7
	I21	İyi	İyi	Mükemmel	0,7	0,7	0,9
	I22	Mükemmel	İyi	Orta	0,9	0,7	0,5
	I23	Mükemmel	İyi	Orta	0,9	0,7	0,5
	I24	Mükemmel	İyi	İyi	0,9	0,7	0,7
	I25	İyi	Mükemmel	Orta	0,7	0,9	0,5
	I26	Mükemmel	Orta	Orta	0,9	0,5	0,5
	I27	Çok Zayıf	Çok Zayıf	Mükemmel	0,1	0,1	0,9

Problemin çözümünde ağırlıklarla beraber temel teşkil eden indeks değerleri aşağıdaki Çizelge 4.16'da verilmiştir. Burada sözel olarak verilen değerlerin

sayısal karşılıkları Çizelge 4.14’de verilmiş olan karşılık değerler kullanılarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.16’da verilen değerler ışığında, HGİA yöntemi probleme aşağıdaki adımlar ile uygulanmıştır.

İndeks değerlerinin normalizasyonu

İndeks değerlerinin normalizasyonu Eş. 3.12 ve Eş. 3.13’e göre aşağıdaki gibi yapılmıştır.

Tüm indeksler ele alındığında, I1, I2, I3, I4, I12 ve I15 indekslerinin tamamının zarar kriteri olduğu görülür. Bu nedenle, her altı indeks Eş. 3.13’e göre normalize edilmiştir. Örnek olarak; “Satınalma Maliyeti” kriteri yani I1 alındığında normalize edilmiş değerleri aşağıdaki gibidir.

$$\chi_{11} = \frac{\min_i \{s_1(1)\}}{s_1(1)} = \frac{\min\{7,7,10\}}{7} = 1,00 \quad (4.16)$$

$$\chi_{21} = \frac{\min_i \{s_2(1)\}}{s_2(1)} = \frac{\min\{7,7,10\}}{7} = 1,00 \quad (4.17)$$

$$\chi_{31} = \frac{\min_i \{s_3(1)\}}{s_3(1)} = \frac{\min\{7,7,10\}}{10} = 0,70 \quad (4.18)$$

Yukarıda söz edilen indeksler dışındaki diğer indeksler ele alındığında, tamamının fayda kriteri olduğu görülür. Bu nedenle, fayda kriterleri Eş. 3.12’e göre normalize edilmiştir. Örnek olarak; “Tutarlılık & Güvenilirlik” kriteri yani I5 alındığında, normalize edilmiş değerleri aşağıdaki gibidir.

$$\chi_{15} = \frac{s_1(5)}{\max_i \{s_1(5)\}} = \frac{0,90}{\max\{0,90, 0,70, 0,70\}} = 1,00 \quad (4.19)$$

$$\chi_{25} = \frac{s_2(5)}{\max_i \{s_2(5)\}} = \frac{0,70}{\max\{0,90, 0,70, 0,70\}} = 0,78 \quad (4.20)$$

$$\chi_{35} = \frac{s_3(5)}{\max_i \{s_3(5)\}} = \frac{0,70}{\max\{0,90, 0,70, 0,70\}} = 0,78 \quad (4.21)$$

Benzer işlemler diğer indeksler için de yapıldığında normalize edilmiş değerler Çizelge 4.17’de sunulduğu gibi bulunur.

Çizelge 4.17. İndeks normalize değerleri

Kriter	İndeks	Sayısal Karşılığı			Normalize Değerler		
		T-11LA88	T-11S85	T-157CNC	T-11LA88	T-11S85	T-157CNC
C1	I1	7	7	10	1,00	1,00	0,70
	I2	9	8	10	0,89	1,00	0,80
	I3	9	7	10	0,78	1,00	0,70
C2	I4	9	8	10	0,89	1,00	0,80
	I5	0,9	0,7	0,7	1,00	0,78	0,78
	I6	0,9	0,7	0,7	1,00	0,78	0,78
C3	I7	0,9	0,9	0,9	1,00	1,00	1,00
	I8	0,9	0,5	0,5	1,00	0,56	0,56
	I9	0,9	0,5	0,5	1,00	0,56	0,56
C4	I10	0,9	0,9	0,9	1,00	1,00	1,00
	I11	0,7	0,9	0,9	0,78	1,00	1,00
	I12	9	9	9	1,00	1,00	1,00
	I13	0,7	0,9	0,9	0,78	1,00	1,00
	I14	0,7	0,9	0,7	0,78	1,00	0,78
	I15	9	7	8	0,78	1,00	0,88
C5	I16	0,9	0,7	0,7	1,00	0,78	0,78
	I17	0,9	0,9	0,9	1,00	1,00	1,00
	I18	0,9	0,9	0,9	1,00	1,00	1,00
	I19	0,9	0,7	0,7	1,00	0,78	0,78
	I20	0,9	0,7	0,7	1,00	0,78	0,78
	I21	0,7	0,7	0,9	0,78	0,78	1,00
	I22	0,9	0,7	0,5	1,00	0,78	0,56
	I23	0,9	0,7	0,5	1,00	0,78	0,56
	I24	0,9	0,7	0,7	1,00	0,78	0,78
	I25	0,7	0,9	0,5	0,78	1,00	0,56
	I26	0,9	0,5	0,5	1,00	0,56	0,56
	I27	0,1	0,1	0,9	0,11	0,11	1,00

Normalize edilmiş bu değerlere bağlı olarak birincil gri ilişkisel katsayı hesaplanmasına geçilebilir.

Birincil Gri İlişkisel Katsayı Hesaplanması

Lineer normalizasyon yöntemi ile indekslerin her alternatif için aldığı değerler aynı ölçüte getirilmiş, karşılaştırılabilir olmuştur. Ayrıca, indekslerin birincil gri ilişkisel katsayılarının hesaplanabilmesi için gerekli veriler hazırlanmıştır.

Eş. 3.19'a göre bu katsayılar aşağıdaki gibi belirlenmiştir. Sözü edilen eşitlikte $\rho = 0,5$ değeri kullanılmış, böylece hesaplamada Eş. 3.20 doğrudan kullanılabilir olmuştur. Hesaplama adımına yönelik bazı örnekler; Eş. 4.22, Eş. 4.23 ve Eş. 4.24'deki gibidir.

$$\zeta_{01}(1) = \frac{0,5(|1 - 0,11|)}{|1 - 1| + 0,5(|1 - 0,11|)} = 1,00 \quad (4.22)$$

$$\zeta_{03}(1) = \frac{0,5(|1 - 0,11|)}{|1 - 0,70| + 0,5(|1 - 0,11|)} = 0,60 \quad (4.23)$$

$$\zeta_{02}(5) = \frac{0,5(|1 - 0,11|)}{|1 - 0,78| + 0,5(|1 - 0,11|)} = 0,67 \quad (4.24)$$

Aynı şekilde tüm kriterlerde her bir alternatif için birincil gri ilişkisel katsayısı hesaplandığında aşağıdaki tabloya ulaşılır. Bu tablo aynı zamanda Eş. 3.21'deki G matrisinin tablo gösterimidir.

Çizelge 4.18. Birincil gri ilişkisel katsayı değerleri (G matrisi)

Kriter	İndeks	T-11LA88	T-11S85	T-157CNC
C1	I1	1,00	1,00	0,60
	I2	0,80	1,00	0,69
	I3	0,67	1,00	0,60
C2	I4	0,80	1,00	0,69
	I5	1,00	0,67	0,67
	I6	1,00	0,67	0,67
C3	I7	1,00	1,00	1,00
	I8	1,00	0,50	0,50
	I9	1,00	0,50	0,50
C4	I10	1,00	1,00	1,00
	I11	0,67	1,00	1,00
	I12	1,00	1,00	1,00
	I13	0,67	1,00	1,00
	I14	0,67	1,00	0,67
	I15	0,67	1,00	0,78
	I16	1,00	0,67	0,67
C5	I17	1,00	1,00	1,00
	I18	1,00	1,00	1,00
	I19	1,00	0,67	0,67
	I20	1,00	0,67	0,67
	I21	0,67	0,67	1,00
	I22	1,00	0,67	0,50
	I23	1,00	0,67	0,50
	I24	1,00	0,67	0,67
	I25	0,67	1,00	0,50
	I26	1,00	0,50	0,50
	I27	0,33	0,33	1,00

Birincil gri ilişkisel katsayılarının hesaplanması ile HGİA yönteminin birinci adımı tamamlanmıştır. İkinci adım; İkincil Gri İlişkisel Katsayı'larının hazırlanmasıdır.

İkincil Gri İlişkisel Katsayı Hesaplanması

Çizelge 4.18'de gösterilen birincil gri ilişkisel katsayı matrisi indeksler için hazırlanmıştır. İkincil gri ilişkisel katsayısı ise kriter bazında hesaplanmaktadır. Problemden yer alan kriterlere ait değerler aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Eş. 3.23’de belirtildiği gibi C1 kriterine ait I1, I2 ve I3 indekslerinin birincil gri ilişkisel katsayı değerleri (x_{11} , x_{21} , x_{31}), bu indekslere ait ağırlık matrisi ($W'_{K1\text{indeks}}$) ile matris çarpımına tutularak Eş. 4.25’de olduğu gibi C1 kriterinin her bir alternatif için ağırlıklandırılmış birincil gri ilişkisel katsayı vektörü bulunmuştur.

$$\begin{aligned} \delta c_1 = Wc_1 g c_1 &= (w_{I_1}, w_{I_2}, w_{I_3}) * \begin{bmatrix} \zeta_{01}(I1) & \zeta_{02}(I1) & \zeta_{03}(I1) \\ \zeta_{01}(I2) & \zeta_{02}(I2) & \zeta_{03}(I2) \\ \zeta_{01}(I3) & \zeta_{02}(I3) & \zeta_{03}(I3) \end{bmatrix} \\ &= (0,29,0,14,0,57) * \begin{bmatrix} 1,00 & 1,00 & 0,70 \\ 0,89 & 1,00 & 0,80 \\ 0,78 & 1,00 & 0,70 \end{bmatrix} = [0,781 \quad 1,000 \quad 0,610] \end{aligned} \quad (4.25)$$

Eş. 4.25’deki işlemler tüm kriterler için yapılarak Eş. 4.26’daki G_{weighed} matrisi oluşturulur.

$$G_{\text{weighed}} = \begin{bmatrix} 0,781 & 1,000 & 0,610 \\ 0,971 & 0,714 & 0,670 \\ 1,000 & 0,549 & 0,549 \\ 0,808 & 1,000 & 0,886 \\ 0,890 & 0,685 & 0,687 \end{bmatrix} \quad (4.26)$$

Eşitlik 3.12’ye göre yapılan normalizasyon işlemi sonucunda Eş. 4.27’de gösterilen G'_{weighed} matrisi oluşturulur.

$$G'_{\text{weighed}} = \begin{bmatrix} 0,781 & 1,000 & 0,610 \\ 1,000 & 0,735 & 0,690 \\ 1,000 & 0,549 & 0,549 \\ 0,808 & 1,000 & 0,886 \\ 1,000 & 0,769 & 0,772 \end{bmatrix} \quad (4.27)$$

Normalize edilmiş ağırlıklandırılmış birincil gri ilişkisel katsayıları için Eş. 3.20 kullanılarak, kriterlere ait ikincil gri ilişkisel katsayı değerleri hesaplanmış ve Eş. 4.28'de gösterilmiştir.

$$G_c = \begin{bmatrix} 0,507 & 1,000 & 0,367 \\ 1,000 & 0,460 & 0,421 \\ 1,000 & 0,333 & 0,333 \\ 0,541 & 1,000 & 0,663 \\ 1,000 & 0,494 & 0,497 \end{bmatrix} \quad (4.28)$$

Gri İlişkisel Derece Hesaplanması

Önceki bölümde, indeksler için oluşturulan katsayı matrisi, ağırlıklandırılarak kriter bazında yeni bir matrise dönüşmüştür. Aynı mantıkla, kriterlere ait ikincil gri ilişkisel katsayı matrisi G_c , ağırlıklandırılarak amaç için gri ilişkisel derece vektörü elde edilir.

Birincil gri ilişkisel katsayı hesabında, değeri küçük olması istenen kriterler (zarar kriterleri) normalleştirilirken en büyük değeri alan alternatifin en küçük normalize değeri alması sağlanmıştır. Bu nedenle, bu noktadan itibaren, yani ikincil gri ilişkisel katsayı ve gri ilişkisel derece değerlerinde yüksek değeri alan alternatif tercih edilen alternatif olmaktadır.

$$\begin{aligned} \varepsilon = W_c * G_c &= (0,39, 0,18, 0,27, 0,10, 0,06) * \begin{bmatrix} 0,507 & 1,000 & 0,367 \\ 1,000 & 0,460 & 0,421 \\ 1,000 & 0,333 & 0,333 \\ 0,541 & 1,000 & 0,663 \\ 1,000 & 0,494 & 0,497 \end{bmatrix} \\ &= (0,761, 0,694, 0,405) \end{aligned} \quad (4.29)$$

Eş. 4.29'da bulunan dereceler, değerinin yüksekliğine bağlı olarak seçilmelidir. Çizelge 4.19'da da görülebileceği gibi; 0,761 puanla T-11LA88

makinesi en iyi makine olarak bulunmuş, T-11S85 makinesi ikinci, T-157CNC makinesi ise üçüncü olarak sıralanmıştır.

Çizelge 4.19. Gri ilişkisel derece ve sıralama

	T-11LA88	T-11S85	T-157CNC
Gri İlişkisel Derece	0,761	0,694	0,405
Sıralama	1	2	3

Bu değerlere bakıldığında, mevcut ağırlıklarda ve indeks değerlerinde, yapılan yatırımda T-11LA88 makinesi seçilmelidir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, rulman üreticisi ORS şirketinin yapacağı makine yatırımında, şirket ihtiyaçlarına en uygun makinenin farklı alternatifler arasında seçilmesi gerçekleştirilmiştir. Dikkate alınan 5 ana kriter, üst düzey yöneticilerin verdiği ağırlıklarla önem derecesine göre karara etki etmiş, bu kriterlere bağlı 27 alt kriter orta düzey yönetici ve kullanıcılar tarafından değerlendirilmiş ve ağırlıklandırılmıştır.

Kullanılan yöntemde, makine yatırımına doğrudan veya dolaylı olarak etki eden her çalışanın fikri aynı platformda ve aynı ölçekte değerlendirilerek, kararın, firmanın “üzerinde uzlaşılmış” kararı olması sağlanmıştır.

Yöntemde, sayısal ve sözel değerlerin bir arada kullanılması, yöneme kullanım kolaylığı sağlaması yanında, ancak sözel değerlerle ifade edilebilen etkenlerin seçimde dikkate alınması sağlanmıştır.

Karara pozitif etki eden faktörlerin yanında, arttıkça seçilme şansını azaltarak karara negatif etki eden faktörlerin de (maliyet, arıza oranı vb.) kullanılabilir olması, yöntemin gerçek hayat problemlerinde kullanılabilir olmasına katkıda bulunmuştur.

Çalışmada konu alınan Hiyerarşik Gri İlişkisel Analiz yönteminin karmaşık hesaplamalara ve formüllere ihtiyaç duymaması, bu yöntemi kolay kullanılabilir ve uygulanabilir yapmıştır. İlk defa makine seçim problemleri çözümünde kullanılmasıyla bu yöntem, gerçek hayat problemlerine uygulanması konusunda bu konudaki diğer yöntemler arasında yer almayı başarmıştır.

Seçilen kriterler ve verilen değerlerin uygulamada kullanılması ile verilen karar elle tutulur somut bir zemine oturmuş, kararın tartışılır olması engellenmiştir.

Buna ek olarak, bu yöntemle farklı değerlere bağlı olarak seçimin nasıl etkileneceğini görmek mümkün olacak, yatırım planları tekrar tekrar oluşturulmak zorunda kalmayacaktır. Bu imkan, bu çalışmanın en önemli sonuçlarından birisidir. Mevcut verilere dayanarak en uygun kararı vermek bu çalışmanın amacı ve sonucu iken, değişen şartlara bağlı olarak kararın nasıl etkilendiğini görmek bir o kadar önemli başka bir sonucudur. Örnek vermek gerekirse, çalışmada ele alınan problemde maliyet kriterinin ağırlığı artırılır diğer kriterlerin ağırlığı azaltılırsa, çalışma sonucunda seçilen T-11LA88 ($\epsilon = 0,58$) makinesi 2. alternatife düşmekte, seçilecek makine T-11S85 ($\epsilon = 0,91$) olmaktadır. Yine aynı şekilde, alternatifler için kriter değerleri değiştiğinde seçilecek makine değişebilmektedir. Bu yöntem ile piyasa şartlarına ve gelişen teknolojiye bağlı değişen değerler, seçime etki edebilmekte ve sonucu çok kısa zaman içerisinde verebilmektedir.

Çalışmanın geneline bakıldığında, sunulan yöntemin makine seçim probleminden bağımsız olduğu, kolaylıkla başka bir seçim problemine uygulanabildiği ortadadır. Böylece, tüm karar verme ve seçim problemlerine yönelik kullanılabilecek somut, hızlı, tutarlı ve esnek bir yöntem olarak HGİA yöntemi çok kriterli karar verme problemleri için bir çözüm önerisi olarak bu çalışmada uygulanmıştır.

Tüm bu çalışmanın sonucunda, Hiyerarşik Gri İlişkisel Analiz Yöntemi'nin seçim problemlerinde kullanılabilecek etkin bir yöntem olduğu görülmüştür. Karmaşık olmaması ve somut değerlerle çalışması nedeniyle kolaylıkla farklı problemlere uygulanabilir. Bunun yanında, verilen kararların sağlamlasının yapılmasında, bir alternatifin avantajlı duruma geçebilmesi için sahip olması gereken kriter değerlerinin hesaplanmasında kullanılabiliyor olması önerilen yöntemle ayrıca değer katmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan yöntemin farklı uygulamalarda kullanılması, şirketlerin yatırım analizlerinde bir araç olarak bu yöntemi kullanmaları,

yöntemin popülarlığını artırmakla kalmayacak, şirketlere de ciddi kazançlar sağlayacaktır.

Bu çalışmanın ardından, HGİA yöntemi üzerine yapılacak farklı çalışmalara, yönteme ve uygulama alanlarına değeri katacaktır. AHP ile GİA birleşiminden ortaya çıkan bu yönteme alternatif olarak Analitik Ağ Prosesi (AAP) ve GİA yöntemleri birleştirilerek kriterlerin birbiri ile ilişkisini dikkate alan farklı çalışmalar yapılabilir.

Bunun yanında, GİA ile Bulanık Mantık birleştirilerek yönteme farklı bir boyut kazandırılabilir. Ayrıca, tüm bu birleşik yöntemler, birbirleri arasında ve farklı yöntemlerle karşılaştırılarak yöntemlerin üstünlükleri ortaya çıkarılabilir.

KAYNAKLAR

1. Luong, L.H.S., "A decision support system for the selection of computer-integrated manufacturing technologies", ***Robotics and Computer-Integrated Manufacturing***, 14: 45–53 (1998).
2. Kulak, Osman, "A decision support system for fuzzy multi-attribute selection of material handling equipments", ***Expert Systems with Applications***, 29: 310–319 (2005).
3. Ayağ, Z. And Özdemir, Z.G., "A fuzzy AHP approach to evaluating machine tool alternatives", ***Journal of Intelligent Manufacturing***, 17: 179–190 (2006).
4. Yurdakul, M., "Selection of computer-integrated manufacturing technologies using a combined analytic hierarchy process and goal programming model", ***Robotics and Computer-Integrated Manufacturing***, 20: 329-340 (2004).
5. Chu, T.C. And Lin, Y.C., "A fuzzy TOPSIS method for robot selection", ***International Journal of Advanced Manufacturing Technology***, 21: 284–290 (2003).
6. Karsak, E.E. And Kuzgunkaya, O., "A fuzzy multiple objective programming approach for the selection of a flexible manufacturing system", ***International Journal of Production Economics***, 79: 101–111 (2002).
7. Agrawal, V.P., Gupta, S. And Kohli, V., "Computer aided robot selection: The multiple attribute decision making approach", ***International Journal of Production Research***, 29(8): 1629-1644 (1991).
8. Agarwal, S., Agrawal, V.P. And Verma, A., "Computer-aided evaluation and selection of optimum grippers", ***International Journal of Production Research***, 30(11): 2713-2732 (1992).
9. Chau, O.L. And Parkan, C., "Selection of a manufacturing process with multiple attributes: A case study", ***Journal of Engineering Technology Management***, 12: 219-237 (1995).
10. Parkan, C. And Wu, M.L., "Process selection with multiple objective and subjective attributes", ***Production Planning & Control***, 9(2): 189-200 (1998).

11. Parkan, C. And Wu, M.L., "Decision-making and performance measurement models with applications to robot selection", **Computers & Industrial Engineering**, 36(3): 503-523 (1999).
12. Bozdağ, C.E., Kahraman, C. And Ruan, D., "Fuzzy group decision making for selection among computer integrated manufacturing systems", **Computers in Industry**, 51: 13–29 (2003).
13. Karsak, E.E. And Tolga, E., "Fuzzy multi-criteria decision-making procedure for evaluating advanced manufacturing system investments", **International Journal of Production Economics**, 69: 49–64 (2001).
14. Banik, D. And Chakraborty, S., "Design of a material handling equipment selection model using analytic hierarchy process", **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 28: 1237–1245 (2006).
15. Kapoor, V. And Tak, S.S., "Fuzzy application to the analytic hierarchy process for robot selection", **Fuzzy Optimization and Decision Making**, 4: 209–234 (2005).
16. Chtourou, H., Maalej, A. And Masmoudi, W., "An expert system for manufacturing systems machine selection", **Expert Systems with Applications**, 28: 461–467 (2005).
17. Chen, Y.L., Shaw, C.F. And Wang, T.Y., "Machine selection in flexible manufacturing cell: a fuzzy multiple attribute decision-making approach", **International Journal of Production Research**, 38(9): 2079-2097 (2000).
18. Deng, J.L., "Introduction to grey system", **The Journal of Grey System**, 1(1): 1-24 (1989).
19. Wen, K.L., "Grey systems: Modeling and prediction", **YangSky Scientific Press**, Tucson, USA, 49-51 (2004).
20. Chen, M.Y., Liu, S. And Yi, L., "Theory of grey systems: capturing uncertainties of grey information", **Kybernetes**, 33(2): 196-218 (2004).
21. Liu, S. And Yi, L., "Grey information: Theory and practical applications", **Springer**, London, 11-21 (2006).
22. 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).

23. Chang, N.B. And Wu, C.C., "Grey input-output analysis and its application for environmental cost allocation", ***European Journal of Operational Research***, 145(1): 175-200 (2003).
24. Hsu, P.F. And Lin, C.T., "Forecast of non-alcoholic beverage sales in Taiwan using the grey theory", ***Asia-Pacific Journal of Marketing and Logistics***, 14(4): 3-12 (2002).
25. Bass, B., Huang G. And Russo, J., "Incorporating climate change into risk assessment using grey mathematical programming", ***Journal of Environmental Management***, 49: 107-123 (1997).
26. Cheng, C.N. And Ting, S.C., "A study using the grey system theory to evaluate the importance of various service quality factors", ***The International Journal of Quality and Reliability Management***, 19(6/7): 838-861 (2002).
27. Chang, C.L., Liu, P.H. And Wei, C.C., "Failure mode and effect analysis using grey theory", ***Integrated Manufacturing System***, 12(3): 153-158 (2001).
28. Lin, C.L., "Use of the taguchi method and grey relational analysis to optimize turning operations with multiple performance characteristics", ***Materials and Manufacturing Process***, 19(2): 209-220 (2004).
29. Lin, J.L. And Lin, C.L., "The use of grey-fuzzy logic for the optimization of the manufacturing process", ***Journal of Materials Processing Technology***, 160: 9-14 (2005).
30. Pai, B.C., Raghukandan, K. And Singh, P.N., "Optimization by grey relational analysis of edm parameters on machining A1-10%SiCp composites", ***Journal of Materials Processing Technology***, 155-156: 1658-1661 (2004).
31. Mair, C., Shepperd, M. And Song, Q., "Using grey relational analysis to predict software effort with small data sets", ***11th IEEE International Software Metrics Symposium***, Como, Italy, 35 (2005).
32. Jamalipour, A. And Song, Q., "An adaptive quality-of-service network selection mechanism for heterogeneous mobile networks", ***Wireless Communications and Mobile Computing***, 5: 697-708 (2005).

33. Wu, H.H., "A comparative study of using grey relational analysis in multiple attribute decision making problems", ***Quality Engineering***, 15(2): 209-217 (2002).
34. Feng, C.M. And Wang, R.T., "Performance evaluation for airlines including the consideration of financial ratios", ***Journal of Air Transport Management***, 6: 133-142 (2000).
35. Saaty, T.L., "The analytic hierarchy process", ***McGraw-Hill***, New York, (1980).
36. Chien, C.F., Wang, M.J.J. And Wei, C.C., "An AHP-based approach to ERP system selection", ***International Journal of Production Economics***, 96: 47–62 (2005).
37. Kumar S. And Vaidya, O.S., "Analytic hierarchy process: An overview of applications", ***European Journal of Operational Research***, 169: 1–29 (2006).
38. Al Harbi, K.M., "Application of AHP in project management", ***International Journal of Project Management***, 19(4): 19–27 (2001).
39. Korpela, J. And Tuominen, M., "A decision aid in warehouse site selection", ***International Journal of Production Economics***, 45(1–3): 169–180 (1996).
40. Akarte, M., Rangaraj, N., Ravi, B. And Surendra, N., "Web based casting supplier evaluation using analytic hierarchy process", ***Journal of the Operational Research Society***, 52 (5): 511–522 (2001).
41. Cagno, E., Caron, F. And Perego, A., "Multi-criteria assessment of the probability of winning in competitive bidding process", ***International Journal of Production Management***, 19: 313–324 (2001).
42. Angels, D.I. And Lee, C.Y., "Strategic investment analysis using activity based costing concepts and analytic hierarchy process techniques", ***International Journal of Production Research***, 34(5): 1331–1345 (1996).
43. Chin, K.S., Ho, S.H. And Tummala, V.M.R., "Assessing success factors for implementing CE: A case-study in Hong Kong electronics industry by AHP", ***International Journal of Production Economics***, 49(3): 265–283 (1997).

44. Ganesh, L.S. And Ramanathan, R., "Using AHP for resource allocation problems", ***European Journal of Operational Research***, 80(2): 410–417 (1995).
45. Korpela, J., Kylaheiko, K., Lehmusvaara, A. And Tuominen, M., "An analytic approach to production capacity allocation and supply chain design", ***International Journal of Production Economics***, 78(2): 187–195 (2002).
46. Kwak, N.K. And Lee, C.W., "Information resource planning for a health-care system using an AHP-based goal programming method", ***Journal of Operational Research Society***, 50: 1191–1198 (1999).
47. Crary, M., Nozick, L.K. And Whitaker, L.R., "Sizing the US destroyer fleet", ***European Journal of Operational Research***, 136(3): 680–695 (2002).
48. Badri, M., "Combining the AHP and GP model for quality control systems", ***International Journal of Production Economics***, 72 (1): 27–40 (2001).
49. Korpela, J. And Tuominen, M., "Inventory forecasting with a multiple criteria decision tool", ***International Journal of Production Economics***, 45(1–3): 159–168 (1997).
50. Huang, G., Jiang, R., Li, J., Xu, M. And Zeng, G., "Optimization of wastewater treatment alternative selection by hierarchy grey relational analysis", ***Journal of Environmental Management***, Basimda, (2007).
51. Bozoki, S. And Lewis, R. H., "Solving the least squares method problem in the AHP for 3×3 and 4×4 matrices", ***Central European Journal of Operations Research***, 13(3): 255-270 (2005).
52. Hang, S.J. And Ling, M., "The application of fuzzy decision-making approach in the process alternatives of municipal wastewater treatment plant", ***Water and Wastewater Engineering***, 3: 6–9 (1998).
53. Toyo Advanced Technologies Co., Ltd., "Instruction manual for CNC internal grinding machine", ***Toyo Advanced Technologies Co.***, Hiroshima, 1-1g – 1-4g (2004).
54. Toyo Advanced Technologies Co., Ltd., "Instruction manual for model T-11S85 automatic internal grinding machine", ***Toyo Advanced Technologies Co.***, Hiroshima, B-1-1-1i – B-1-2-2i (1991).

55. Toyo Advanced Technologies Co., Ltd., "Instruction manual for CNC internal grinding machine model T-157CNC", **Toyo Advanced Technologies Co.**, Hiroshima, B-1-1-1w' – B-1-2-2w' (1997).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : DEMİRAY, Alptekin
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 14.11.1979 Antalya
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (312) 648 00 10
Faks : 0 (312) 648 00 21
e-mail : alpdemiray@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği	2002
Lise	Keçiören Lisesi	1997

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2002-	ORS	Satış ve İmalat Planlama Şefi

Yabancı Dil

İngilizce, Almanca

Hobiler

Fotoğraf, Otomobiller, Seyahat