

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

**BULANIK AHP VE BULANIK AKSİYOMATİK
TASARIM İLE YEŞİL TEDARİKÇİ SEÇİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zeynep ARDALI

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Özer UYGUN

Ocak 2020

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BULANIK AHP VE BULANIK AKSİYOMATİK
TASARIM İLE YEŞİL TEDARİKÇİ SEÇİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zeynep ARDALI

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez .../.../..... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

.....
Jüri Başkanı

.....
Üye

.....
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Zeynep ARDALI

22.01.2020

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın tamamlanmasında, üç yıl boyunca değerli bilgilerini tüm öğrencileriyle paylaşan, verdiği tüm bilgilerin hayatıma kattığı önemini asla unutmayacağım saygıdeğer danışmanım; Yrd. Doç. Özer UYGUN'a, çalışmam boyunca her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen eşim Ahmet Talha ARDALI'ya ve çalışma süresince tüm zorluklarda destek verip ve hayatımın her döneminde bana destek olan babam Gültekin ÇAĞIL, annem Gönül ÇAĞIL ve kardeşim Sena ÇAĞIL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	viii
SUMMARY.....	ix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Literatür.....	3
2.2. Tedarikçi Seçim Problemleri.....	5
2.2.1. Tedarikçi seçiminin önemi.....	5
2.2.1.1. Maliyet etkisi.....	6
2.2.1.2. Performans etkisi.....	6
2.2.2. Tedarikçi değerlendirme aşamaları.....	6
2.2.3. Tedarikçi seçiminin yapılması.....	7
2.3. Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi.....	7
2.4. Çok Kriterli Karar Modelleri.....	8
2.5. Matematiksel Programlama Modelleri.....	9
2.6. İstatistiksel Modelleleler.....	9

2.7. Maliyete Dayalı Modeller.....	9
2.8. Karar Teorisi.....	10
2.8.1. Karar verme yöntemlerinin sınıflandırılması.....	11
2.8.1.1. Tek amaçlı karar verme problemleri.....	11
2.8.1.2. Çok amaçlı karar verme problemleri.....	11
2.9. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP).....	12
2.9.1. AHP uygulama adımları.....	13
2.9.1.1. Problem tanımı.....	13
2.9.1.2. Faktörler arası karşılaştırma matrisi oluşturulması..	13
2.9.1.3. Faktörlerin yüzdelik önem hesaplanması.....	14
2.9.1.4. Faktörlerin tutarlılık oranı hesaplanması.....	15
2.9.1.5. Faktörlerin yüzde önemlerinin hesaplanması.....	17
2.9.1.6. Karar noktasındaki sonucun hesaplanması.....	17
2.9.2. AHP'nin uygulama alanları.....	17
2.9.3. AHP'nin katkıları.....	18
2.10. Bulanık Mantık.....	18
2.11. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi.....	19
2.11.1. BAHF'nin AHP'ye göre üstünlükleri.....	20
2.11.2. BAHF'nin çözüm adımları.....	20
2.12. Aksiyomatik Tasarım	21
2.12.1. Aksiyomatik tasarım uygulama adımları.....	22
2.12.2. Ağırlıklı bulanık aksiyomatik tasarım.....	25
2.12.3. Aksiyomatik tasarımın avantajları.....	25

BÖLÜM 3.

UYGULAMA.....	26
3.1. Giriş.....	26
3.2. Aksiyomatik Tasarım.....	27

3.3. Ağırlıkların Bulanık AHP İle Hesaplanması.....	31
3.4. Ağırlıklı Bulanık Aksiyomatik Tasarım Hesaplaması.....	35

BÖLÜM 4.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	39
-----------------------------	----

KAYNAKLAR.....	40
----------------	----

ÖZGEÇMİŞ.....	42
---------------	----



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ABAT	: Ağırlıklandırılmış Bulanık Aksiyomatik Tasarım
AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
AT	: Aksiyomatik Tasarım
BAHP	: Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi
BAT	: Bulanık Aksiyomatik Tasarım
Fİ	: Fonksiyonel İfade
MİS	: Modern İmalat Sistemleri
OA	: Ortak Aralık
SA	: Sistem Aralığı
TA	: Tasarım Aralığı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. AHP'nin Genel Yapısı.....	12
Şekil 2.2. Bulanık Mantık Gösterimi	19
Şekil 2.3. TA, SA, OA ve Fİ'nin Olasılık Dağılımı (Özel & Özyörük, 2007)	23
Şekil 2.4. Sistem Aralığı ve Tasarım Aralığı Ortak Alanı	24
Şekil 3.1. Bulanık Küme Teorisinin Üçgensel Gösterimi.....	27
Şekil 3.2. Firma 1'in “Yeşil Satın Alma” Ortak Alan Gösterimi	28
Şekil 3.3. Firma 1'in “Yeşil Üretim” Ortak Alan Gösterimi.....	29
Şekil 3.4. Firma 1'in “Yeşil Lojistik” Ortak Alan Gösterimi.....	29
Şekil 3.5. Firma 1'in “Yeşil Tasarım” Ortak Alan Gösterimi	30
Şekil 3.6. Firma 1'in “Yeşil Tersine Lojistik” Ortak Alan Gösterimi.....	30

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Önem Skalası	14
Tablo 2.2. Standart Düzeltme Tablosu.....	16
Tablo 3.1. Fonksiyonel İhtiyaçlar İçin Tasarım Aralıkları	27
Tablo 3.2. Firmaların Karşılatabileceği Fonksiyonel İhtiyaçlar	28
Tablo 3.3. Firmaların Fi puanları	31
Tablo 3.4. Bulanık Önem Dereceleri	32
Tablo 3.5. Ana Faktörlerin İkili Karşılaştırılması.....	32
Tablo 3.6. Bulanık Geometrik Ortalamalar.....	33
Tablo 3.7. Bulanıklaştırılmış Ağırlıklar	35
Tablo 3.8. Durulaştırılmış Ağırlıklar	35
Tablo 3.9. ABAT Bilgi İçeriği Sonuçları.....	38

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Yeşil Tedarikçi Seçimi, Bulanık AHP, Aksiyomatik Tasarım

Geçmiş zamanlarda işletmelerin sulara, havaya ve çevreye attıkları zararlı ve zehirli atıkların doğaya verdiği zarar hesaba katılmamıştı. Günümüzde teknolojinin gelişmesi, insanların bilinçlenmesi gibi sebeplerden dolayı işletmeler çevreye karşı daha duyarlı ürünler üretmek zorunda kaldılar. Bu durum işletmeler “yeşil” tedarikçi aramaya itmiştir. Bu çalışmada, firmanın "yeşil" politikaları doğrultusunda en uygun yeşil tedarikçi seçiminin çok kriterli karar verme tekniklerinden olan aksiyomatik tasarım ve bulanık AHP yöntemleri ayrı ayrı kullanılarak bulunmuştur.

Suh tarafından geliştirilen aksiyomatik tasarımın amacı, deneme-yanılmayı minimum yapmak, rassallığı azaltmak ve seçenekler arasında en iyisini bulma olarak ifade edilmiştir. Bu çalışmada hem üreticinin tasarım ihtiyaçları hem tedarikçinin gereksinimleri değerlendirilip belli başlı kriterler oluşturulmuştur. Yeşil tedarikçi seçimindeki kriterlerin tamamı sayısal değer içermediği için dilsel ifadeler kullanılarak bulanık aksiyomatik tasarım uygulanmıştır. Ayrıca bu kriterlerin önem dereceleri gerçek hayatta aynı olmadığı için Bulanık AHP ile ağırlıklar hesaplanmıştır.

Sonuç olarak bulanık AHP ile ağırlıklandırılmış bulanık aksiyomatik tasarım kullanılacak ve firma için yeşil politikalarına en uygun yeşil tedarikçi seçimi gerçekleştirilecektir.

GREEN SUPPLIER SELECTION WITH FUZZY AHP AND FUZZY AXIOMATIC DESIGN

SUMMARY

Keywords: Green Supplier Selection, Fuzzy AHP, Axiomatic Design

In the past, the damage to the nature of the harmful and toxic wastes that the enterprises put into the water, air and environment were not taken into account. Today, due to the development of technology and awareness of people, enterprises have to produce more sensitive products to the environment. This situation has trigger businesses to look for “green” suppliers. In this study, the most appropriate green supplier selection in line with the firm's "green" policies was found by using axiomatic design and fuzzy AHP methods which are multi - criteria decision making techniques.

The purpose of the axiomatic design developed by Suh was expressed by minimizing trial and error, reducing randomness and finding the best among the options. In Suh’s study, both of the design needs of the producer and the requirements of the supplier will be evaluated and certain criteria will be established. Since all criteria in green supplier selection do not include numerical values, fuzzy axiomatic design will be applied using linguistic expressions. Besides, weights will be calculated with Fuzzy AHP since the significance level of these criteria is not the same in real life.

As a result, fuzzy AHP weighted fuzzy axiomatic design will be used and the most appropriate green supplier selection for firm’s green policy will be realized

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Geçmişte işletmelerin çevreye verdikleri zararlar dikkate alınmamıştı. Suların kirliliği, havaya salınan zehirli gazlar, çevreye atılan kimyasal ve zehirli atıklar sebebiyle insanlar ve canlılar büyük ölçüde zarar görmekteydi. Günümüzde insanların bilinçlenmesi, çevreye olan duyarlılığın artmasıyla birlikte işletmeler gerek yasaların getirdiği şartları gerekse insanların istekleri doğrultusunda politikalarını değiştirmek zorunda kaldılar. İşletmelerin politikalarını değiştirerek “Yeşil Üretim” yapmaya başlamaları sonucunda aldıkları geri bildirimlerde olumlu olmuştur.

Bu çalışmada çalışmaya konu olan işletme, kendi “Yeşil” politikalarına uygun ürünler üretebilmek için tedarik etmesi gereken hammadde ve ürünler içinde yine “Yeşil” üretim yapan tedarikçilerden seçmek istemektedir. Bunun sonucunda işletme beş ayrı kriter belirlemiş ve bu kriterleri sağlayabilecek beş ayrı firmadan teklif almıştır. Beş ayrı firmadan birini belirleyebilmek için çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan “Aksiyomatik Tasarım” ve “Bulanık AHP” yöntemleri ayrı ayrı uygulanarak kendi isteklerine en uygun firma ile anlaşacaktır.

Aksiyomatik Tasarım; ürünler, sistemler ve süreçler için tasarım alanını bilimsel yapmak için Suh tarafından geliştirilmiş bir tasarım metodudur (Suh N. , 1990). Aksiyomatik Tasarım, tasarım ve sistem aralıklarını belirleyerek her bir kriter için bilgi içeriklerini üretilip sonuçta en küçük olan değeri seçmeyi hedeflemektedir. Seçmiş olduğu bu en küçük değer firmanın isteklerine en yakın kriter olmaktadır. Bu çalışmada işletmenin belirlemiş olduğu kriter değerleri hem dilsel hem de sayısal değerlerdir. Sayısal değerler için Aksiyomatik Tasarım, dilsel değerler için ise Bulanık Aksiyomatik Tasarım uygulanmıştır.

AHP, Çok Kriterli Karar Verme problemleri içinde en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Bunun sebebi ise uzmanlar veya karar vericiler tarafından ikili karşılaştırmalara dayanmasıdır. Bu ikili karşılaştırmalar kriterlerin birbiri için önem derecelerini ifade etmektedir (çok derecede önemli, orta derecede önemli, az derecede önemli). Karar vericiler iki karşılaştırma yaparken sayısal değerler kullanmak yerine dilsel ifadeleri kullanmayı tercih etmektedir. Bu sebeple AHP dilsel değişkenlere atanan bulanık sayılar daha tercih edilir hale gelmiştir.

Aksiyomatik Tasarımda uzman görüşleri eşit değerde kabul edildiği için gerçek hayatla çok da bağdaşmamaktadır. Bu durumda daha gerçekçi değerler üretebilmek adına “Bulanık AHP” ile ağırlıklar hesaplanmıştır. Bulunan bu ağırlıklara Bulanık Aksiyomatik Tasarım uygulanarak gerçek hayata daha uygun sonuçlar üretilmiştir. Bu iki ayrı uygulama sonucunda elde edilen değerler karşılaştırılmış işletme en uygun firmayı seçmiştir.

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Literatür

Tedarikçi Seçim probleminde doğrusal ağırlıklandırma modellerinden en fazla uygulanan yöntem Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemidir. AHP, basit doğrusal ağırlık modelindeki performansı belirleyen puanlar gibi kriter ağırlıklandırmaları için doğrudan hedefe yönelik tahmini yapma güçlüğüne önler (Saaty, 1983).

Suh tarafından seksenli yılların sonu ile doksanlı yılların başında savunulan ve son yıllarda hızlı gelişim gösteren Aksiyomatik Tasarım Tekniği, birçok farklı ve çeşitli alanda model oluşturulurken kullanılmıştır. Suh, Aksiyomatik Tasarım Tekniğinde en öncelikli kavramı “Bilgi Aksiyomu” ve “Bağımsızlık” olacağını öngörmüştür. Söz konusu çalışmalar irdelendiğinde, “Bağımsızlık Aksiyomu”, esnek imalat sistemi, yazılım, kalite kavramı, dizayn, tasarım, üretim yaklaşımı ve bunun gibi alanlarda, bir metodoloji bakış açısıyla uygulanırken, “Bilgi Aksiyomu” araç gereç, paket işlemleri, taşıma işlemleri ve firması ve çağdaş üretim sistemleri şeklindeki gibi alanlarda kullanım alanı bulmuştur (Suh N. , 1990). Yine doksanlı yılların sonundaki başka bir çalışmada Suh ve arkadaşları, Yalın bakış açılı bir hatta uygun bir üretim sistemi için Aksiyomatik Tasarım Tekniğini baz alan daha farklı olan bir model de geliştirmişlerdir (Suh ve ark., 1998).

Cochran ve arkadaşları, iki binli yılların başında karmaşık üretim sistemini daha küçük, fleksibil ve dağıtık üretim birimlerine dönüştürmüşlerdir. Bu bakış açısında, bölümlere ayırma ve Aksiyomatik Tasarım Tekniği prensipleriyle birleştirilmesinde Yalın Bakış açısı prensiplerini kullanmışlardır (Cochran ve ark., 2000). Dağdeviren ve Eren 2001 yılında, firmaya uygun Tedarikçi Firma seçimine yönelik bir çalışmayı AHP ile 0-1 Amaç Programlama Metotları yardımıyla gerçekleştirmiş ve bu iki

metodun performansını araştırıp tartışmışlardır (Dağdeviren & Eren, 2001). Çebi ve Bayraktar 2003 yılında, Sözlüksel Amaç Programlama ile AHP metodunu birleştiren bütünlük bir çalışma yapmışlardır (Çebi ve Bayraktar, 2003).

Son zamanlarda oldukça yaygın alanlarda uygulamasına rastlanan ve akademik çalışmalarda ilk defa Osman Kulak tarafından kullanımı gösterilen çok kriterli karar verme aracı şeklinde kullanılan "Bilgi Aksiyomunun" da, Kulak ve Kahraman 2005 yılında, Modern İmalat Sistemlerinin (MİS) kalite, maliyetlendirme, kullanım kolaylığı, rekabetçi olma, çeşitli alanlara uygulanabilirlik ve bunun gibi ölçütlerle bilgi aksiyomunu karşılaştırmasını ve kullanımını gerçekleştirmişlerdir (Kulak & Kahraman, 2005).

Soner ve Ögüt 2006'da birden fazla nitel ve nicel kriter göz önüne alarak uygun tedarikçiyi seçmek amacıyla, çok kriterli karar verme tekniklerinden sıralama prensibine göre alternatifleri değerlendiren bir teknik olan ELECTRE ve AHP'yi birlikte kullanmışlardır (Soner ve Ögüt, 2006).

Schnetzler ve arkadaşları 2007 yılında Tedarik Zinciri Yöntemine bakış açısının geliştirilmesi amacıyla Tedarik Zinciri'ne Aksiyomatik Tasarım yaklaşımının uygulanabilirliğini önermiş ve göstermişlerdir. Bir örnek çalışmada yöntemin uygulanabilirliği açıklanmıştır (Schnetzler ve ark., 2007).

Xia ve Wu 2007 yılında, aynı anda kullanılması gereken tedarikçilerin kaç tane olduğunu bulmak ve çoklu ürün, çoklu kaynak, çoklu ölçütlü ve tedarikçilerin kapasite kısıtlamalarının gerektiği durumda tedarikçiler için belirlenecek sipariş sayısını bulmak amacıyla AHP metodunu işlemlerinde kullanarak Aksiyomatik Tasarım Tekniğini kullanmışlardır (Xia ve Wu, 2007).

2.2. Tedarikçi Seçim Problemleri

Tedarikçi seçimi en genel ifade ile, üretim için gerekli hammadde, yarı mamuller veya diğer malzemelerin ne zaman kimden ve ne kadar alınacağını belirlenmesi olarak tanımlanır. İşletmemizin stratejilerine uygun tedarikçiler ile çalışmak, piyasadaki rekabet edilebilirliği önemli düzeyde etkilemektedir. Ayrıca üretim için satın alma işlemleri, üretim maliyetlerini düşürmede oldukça etkilidir.

Piyasadaki birçok işletme, en uygun fiyat, istenen tam miktar, istenen tam zaman ve en kaliteli ürünü tedarik etmek için çaba gösterir. Seçim işlemi ise alternatif tedarikçiler arasından aranan kıstasları tam veya en yakın sağlayanı seçme işlemine verilen addır. Mevcut tedarikçilerin değerlendirilmesinde kullanılan kriterler, işletmeden işletmeye farklılık gösterse de ortak amaç tedarik etme olasılığı yüksek tedarikçileri saptamak ve bunlardan en iyisini seçebilmektir (Bozdağ, 2003).

Tedarikçi seçim problemleri karmaşık problemlerdir ve bunun üç nedeni vardır (Muralidharan, 2001).

- a) Problemin yapısında yer alan elemanları anlaşılabilir hale getirmenin oldukça zor olması ve bu elemanların bazılarının nitel bazılarının da nicel olarak ifade edilmesi,
- b) Seçim aşamasında bazen birbiriyle çelişen ve bazen de birbirini tamamlayan kriterlerin olması,
- c) Fazla sayıda tedarikçinin olması.

2.2.1. Tedarikçi seçiminin önemi

Genel olarak maliyet ve performans olarak iki ana başlık altında toplanabilir. Bunları inceleyecek olursak aşağıdaki şekilde incelenebilir.

2.2.1.1. Maliyet etkisi

Üretilen ürünlerin maliyetlerinin büyük bir kısmını satın alma aşamasında, hammadde, yarı mamul ve diğer giderlerin oluşturduğu pazarda, doğru tedarikçinin seçilmesi ürünün maliyetlerini minimize ederken, kalitesini de arttıracaktır. Olası bir durumda hatalı, eksik, zamansız gelen her sipariş, hem işletme değerinin müşteri gözünden düşmesine sebep olacak hem de üretim hattı sıkışacağından ara stoklar oluşup üretim maliyetlerini arttıracaktır.

2.2.1.2. Performans etkisi

Satın alma yaptığımız tedarikçilerin teslimatlarını doğru zamanda, doğru miktarda, doğru ürünler olacak şekilde yapmaları, işletmenin tedarik sürecindeki aksaklıkları ortadan kaldırıp, tam zamanında ürün çıkarmasına etki edeceğinden, doğru tedarikçi seçimi işletme açısından uzun vadede başarı artışı sağlayacaktır.

2.2.2. Tedarikçi değerlendirme aşamaları

Rekabetin çok olduğu pazarda, işletmelerin varlıklarını uzun süre koruyabilmeleri ve yüksek kar edebilmeleri için, tedarikçilerle aralarında olan ilişkiler rekabet piyasasına uygun olarak yürütülmelidir. Bu kapsamda işletmelerin stratejileri oldukça önemlidir.

İşletmeler, iş yaptıkları tedarikçileri değerlendirme noktasında, tedarikçinin belirlenmesinde hangi kriterlere bakacağını iyi belirlemelidir. Bu sayede değerlendirme ve seçim aşamaları çok daha kolay olacaktır. Tedarikçi seçiminde izlenen değerlendirme ve seçim aşamalarını Baykoç ve ark. aşağıdaki gibi özetlemiştir (Baykoç ve Öz, 2004).

- a) Kaynak temini stratejisinin belirlenmesi,
- b) İlk belirleme, tedarikçi havuzu oluşturma,
- c) Tedarikçi değerlendirme yönteminin belirlenmesi,
- d) Seçimin yapılması.

2.2.3. Tedarikçi seçiminin yapılması

Tedarikçilerin değerlendirme yöntemlerinin belirlenmesinden sonra yapılan aşamadır. Değerlendirme kriterleri, işletmenin belirlemiş olduğu stratejilere uygun olmalıdır. Kullanılan kriterlerin birbiriyle çelişmesi sonucu etkileyecektir. Genellikle listeleme, sıralama, doğrusal programlama, AHP, TOPSIS, bulanık mantık yöntemleri, seçimin yapılmasında etkili olacaktır. Her yöntemin kendine has artıları ve eksileri olduğundan sonuçlar birbirinden farklı olabilir.

Yukarıda da anlatıldığı gibi, tedarikçi değerlendirme ve seçimi, çok sayıda sayısal ve sayısal olmayan kriterleri içerdiği için, birbiriyle ilişkili karar yapılarından, kurallarından oluştuğu, grup kararları gerektirebildiği ve içinde belirsizliği barındırdığı için tek adımdan oluşan basit bir işlem değildir (Boer ve ark., 1998).

2.3. Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi

Zhu 2007 yılında yapmış olduğu çalışmada, Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi'ndeki "Yeşil Faaliyetleri" ve tanımlarını aşağıdaki gibi yapmıştır.

- a) Yeşil Satın Alma: Geri dönüştürülebilir, yeniden kullanıma uygun malzemeleri satın alma faaliyetidir.
- b) Yeşil Üretim : Üretimde kullanılan enerji, teknoloji, üretim süreci, hurdalar, atıklar, yenilenebilir ve tekrar kullanılabilir olmalı.
- c) Yeşil Lojistik : İleriye ve Geriye dönük lojistik işlemleri, kontrol sistemleri, dağıtım politikaları ve teslimat zamanları tam zamanında ve sürdürülebilir olmalıdır. Taşıma yapılan sistemlerde enerji ve yakıt çevre dostu olmalıdır.
- d) Yeşil Tasarım: Ürün tasarımında ve paketleme işlemlerinde geri dönüşümlü ürünler tercih edilmelidir.
- e) Yeşil Tersine Lojistik: Üretim sürecinde kullanılan ve artık olarak oluşan tüm hurdaların biriktirilerek, yeniden kullanılması, satılması ve bunların doğaya kazanılır hale getirilmesidir.

2.4. Çok Kriterli Karar Modelleri

Tedarikçi seçimi problemlerinde sıklıkla kullanılan yöntemlerden biri olan, çok kriterli karar verme yöntemleri, kategorik yöntemler, ağırlık noktası hesaplama, sıralama, AHP yaklaşımları olarak dörde ayrılabilir (Bayrakçıl, 2007).

Kategorik yöntemde, tedarikçiler belirlenen kriterler göre yeterli, yetersiz veya sıfır (nötr) olacak şekilde puanlandırılır. Tüm puanlar toplanarak her bir tedarikçinin toplam notu hesaplanır. Tedarikçiler toplam not üzerinden en çok / en az puan alan seçilecek şekilde seçilir. Ancak bu yöntemde her bir kritere eşit puan verildiğinden dolayı çözüm için zayıf bir yöntemdir (Bayrakçıl, 2007).

Ağırlık noktası hesaplama yöntemi, kriterlere birer ağırlık yazılarak, kategorik yöntemle benzeyecek şekilde yeterli, yetersiz, sıfır puanlar verilerek toplamlar ağırlıklandırılmış değerler üzerinden hesaplanır. Bu yöntemde zayıf olan nokta, etkisi sıfır veya yetersiz olan değere sahip tedarikçiler çok yeterli oldukları başka bir kriterden dolayı seçilebilir. Bu da çözüme olumsuz yönde etki edecektir (Bayrakçıl, 2007).

Sıralama yöntemi, tedarikçi seçiminde yer alabilecek istenmeyen durumlar için bir sınırlama imkânı verir. Fakat seçeneklerin karşılaştırılma güçlüğü ve belirsizlikler nedeniyle ancak kısmi bir iyileştirme sağlamaktadır. Temelde işletme için kritik olan kriter kalite iken, kalite yönünden zayıf olan fakat diğer kriterlerden çok fazla puan almış bir tedarikçinin seçimi halen önlenememiş durumdadır (Bayrakçıl, 2007).

Analitik hiyerarşi yöntemi, kriter sayısı arttığında karar vericiler açısından karar verme işlemleri karmaşıklaşır. Bu sorunu çözmek için AHP yöntemi tedarikçi seçimi problemlerine uygulandığı gözlemlenmiştir. AHP karar vericiler için kriterleri ikili karşılaştırmalar yaparak önem değerlerini hesaplar. İkili karşılaştırmalar yaparak problemlere ağırlık atanması çözümün doğruluğunu arttırmaktadır. Hem nitel hem nicel kriterleri kendi içinde sistematik şekilde karşılaştırma imkânı tanımaktadır (Bayrakçıl, 2007).

2.5. Matematiksel Programlama Modelleri

Matematiksel programlama modelleri, karar vericilerin sübjektif yaklaşımlarından oluşan zayıf durumları ortadan kaldırmak için kullanılmaktadır. Amaçları fonksiyonu ve kısıtları matematiksel modeller ile ifade ederek çözüm arayan yöntemlerdir. Tedarikçi seçimlerinde genellikle hedef programlama teknikleri tercih edilmektedir. Bu yöntemler tek amaçlı ve çok amaçlı modeller olmak üzere iki ana grupta incelenebilir (Haouori ve ark., 2007).

2.6. İstatistiksel Modelleleler

İstatistiksel modeller, tedarikçi seçiminde kullanımı sınırlıdır. Çok sayıda tedarikçinin bulunduğu problemlerde tedarikçiler için bir ön analiz ile sınıflandırma işlemi istatistiksel modeller ile yapılabilmektedir. Tedarikçi seçimine ilişkin klasik belirsizliklerin değerlendirilmesi için istatistiksel modeller kullanılabilmektedir. Bu durumda talep miktarı, teslimat ve sipariş süresi gibi belirsizlikler göz önünde bulundurulmalıdır (Bayrakçıl, 2007).

2.7. Maliyete Dayalı Modeller

Maliyete dayalı modellerde, tedarikçilerin seçimi ve karşılaştırmada tedarik sürecindeki maliyetler göz önüne alınmaktadır. Kalite, teslimat gecikmesi, üretim süresi vb. gibi maliyet artışları satın alam modeline eklenmektedir. Bu modeller doğrusal ağırlıklandırma modellerine benzemektedir.

Doğrusal ağırlıklandırma modellerinde tedarikçilerin toplam puan değerleri belirli kriterlere göre hesaplanırken, maliyete dayalı yaklaşımlarda ise önceden belirlenen maliyet kalemlerine göre toplam puanları hesaplanır ve son karar bu değerlere göre verilir. Aralarındaki fark inceledikleri değerlerdedir. Maliyete dayalı yaklaşımlar, ölçülebilir maliyet değerleriyle ilgilenecek doğrusal ağırlıklandırma modellerinin içerdği sübjektifliği gidermek amacını taşımaktadır (Altınöz, 2001).

2.8. Karar Teorisi

Karar problemleri hayatımızın her noktasında karşımıza çıkan problemlerdir. Gün içerisinde onlarca karar almak zorunda kalabiliyoruz. Bu kararlarımız aslında belirli kısıtlar altında, belirli bir amaca ulaşmak için en optimal şartları bulabilmek için yapmaktayız. Özetle karar verme, hedef ve amaçların gerçekleştirilmesi için, eylem planlarından birini seçme sürecidir. Çok sayıda seçeneğin olması karar verme sürecini zorlaştırır. Karar vericilerin tecrübesi, sosyal-siyasal çevresi, ekonomik durumu ve diğer çevresel faktörleri çözüme etki eden faktörlerdir. Karar vericilerin bu durumu süreci dinamik bir yapıya dönüştürmektedir (Artuç, 2001).

Karar verme süreci;

- a) Problemin belirlenmesi ve tanımlanması,
- b) Seçeneklerin belirlenmesi,
- c) En iyi seçeneğin belirlenmesi aşamalarından oluşur.

Problemin belirlenmesi sürecinde çeşitli yöntemler vardır. Bu amaçla, “Beyin Fırtınası”, “Veri Toplama”, “Veri Gruplandırma”, “Kontrol Tabloları”, “İzleme Diyagramları”, “Pareto Diyagramı”, “Akış Diyagramları”, “Sebeup-Sonuç Diyagramı”, “Histogram”, “Dağılım Diyagramı”, “Kontrol Diyagramları” gibi yöntemlerden faydalanılabilir. Problemin belirlenmesinden sonra detaylı olarak tanımlanması, kaynak kısıtları ve çözüm için gerekli parametreler belirlenmeli.

Tanım yapıldıktan sonra, kısıtlar doğrultusunda çözüm için mevcut seçenekler sıralanır.

Son aşamada ise belirlenen kısıtlar ve kriterler çerçevesinde problemin çözümü için en uygun seçenek belirlenir.

2.8.1. Karar verme yöntemlerinin sınıflandırılması

2.8.1.1. Tek amaçlı karar verme problemleri

Bu tip karar problemlerine örnek olarak doğrusal ve doğrusal olmayan programlama, tam sayılı programlama ve dinamik programlama gibi klasik optimizasyon modelleri verilebilir.

2.8.1.2. Çok amaçlı karar verme problemleri

Bu tip problemlerde birden fazla amaç, aynı anda göz önüne alınarak, amaca ulaşmak için alternatifler arasından en iyi olanı seçmektir. Amaçlar, maliyet minimizasyonu, kâr maksimizasyonu, pazar payını arttırmak, toplumsal refahın artışı, olabilir. Bu tip problemlerin çözümünde klasik optimizasyon yöntemler kullanılabilir.

Daha farklı bir ifadeyle, sonlu sayıda seçeneğin, sıralanma sınıflandırma, önceliklendirme veya elenme amacıyla genellikle ağırlıklandırılmış birbirleri ile çelişen nicel ve nitel değerler alan çok sayıda kriter kullanıcılara değerlendirilmesi işlemidir. Çok kriterli karar vermede, kriterler arasındaki çelişkiler göz önüne alınarak karar verici için en uygun kararın verilmesi amaçlanır. Kendi aralarında sayısal yöntemler ve sayısal olmayan yöntemler olmak üzere ikiye ayrılırlar.

Sayısal olmayan çok kriterli karar verme yöntemleri, daha çok karar vericilerin sezgisel ve tecrübelerine dayanarak verdiği kararları içerir. Sayısal herhangi bir işlem söz konusu değildir. Sayısal çok kriterli karar verme yöntemleri, problemdeki parametreleri ve diğer değişkenlerin sayısal olarak ifade edilebildiği durumlarda kullanılır.

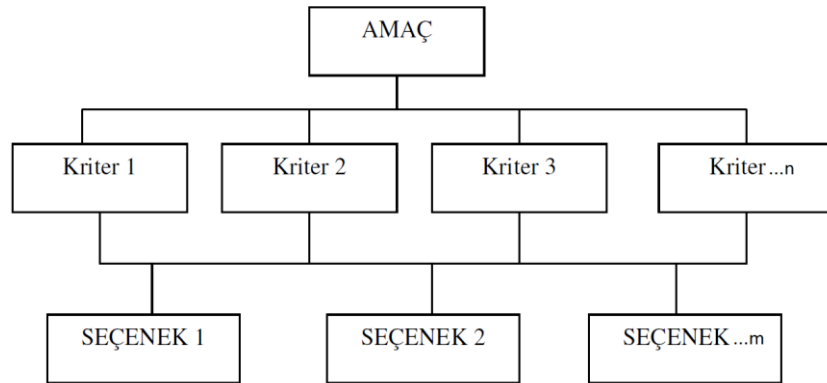
2.9. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), ilk olarak 1968 yılında Myers ve Alpert tarafından gün yüzüne çıkmış ve 1977 de ise Saaty tarafından bir model olarak geliştirilerek karar verme problemlerinin çözümünde kullanılabilir hale getirilmiştir. AHP, hem sayısal hem de sayısal olmayan kriterlerin çözümlemesinde kullanılan bir yöntemdir. AHP, karar hiyerarşisinin tanımlanabilmesi durumunda kullanılan, kararı etkileyen faktörler açısından karar noktalarının yüzde dağılımlarını veren, karar verme yöntemidir (Saaty, 2004).

AHP bir karar hiyerarşisi üzerinde, önceden tanımlanmış bir karşılaştırma matrisi kullanılarak gerek kararı etkileyen faktörler ve gerekse bu faktörler açısından, karar noktalarının önem değerleri açısından, birebir karşılaştırmalara dayanmaktadır. Sonuçta önem farklılıkları, karar noktaları üzerinde yüzde dağılıma dönüşmektedir.

AHP, karışık problemleri, hiyerarşik bir yapıda inceleyerek daha kolay problem parçalarına bölerek çözümü arar. Hiyerarşinin en tepesinde, ele alınan problemin ana amacı yer alır. Alt seviyelerde amacın değerlendirilmesi için kullanılan üst kriterler ve bu kriterlerle ilgili alt kriterler bulunur. En alt kısımda ise, çözüm için uygulanması muhtemel çözümler yer alır.

Analitik Hiyerarşi Süreci; karar vericinin tüm kriterlerini yakalayan en iyi alternatifi seçmekle, “Hangisini seçeceğiz?” veya “En iyisi hangisidir?” sorularına cevap bulur.



Şekil 2.1. AHP'nin Genel Yapısı

2.9.1. AHP uygulama adımları

2.9.1.1. Problem tanımı

Problem tanımında, karar noktalarının sayısı m , karar noktalarını etkileyen faktör sayısı ise n ile sembolize edilmiştir. Özellikle sonucu etkileyecek faktörlerin sayısının doğru belirlenmesi ve her bir faktörün detaylı tanımlarının yapılması, ikili karşılaştırmaların tutarlı ve mantıklı yapılabilmesi açısından önemlidir.

2.9.1.2. Faktörler arası karşılaştırma matrisi oluşturulması

Faktörler arası karşılaştırma matrisi, $n \times n$ boyutlu bir kare matristir. Bu matrisin köşegeni üzerindeki matris bileşenleri 1 değerini alır. Karşılaştırma matrisi aşağıda gösterilmiştir.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Karşılaştırma matrisinin köşegeni üzerindeki bileşenler, yani $i=j$ olduğunda, 1 değerini alır. Çünkü bu durumda ilgili faktör kendisi ile karşılaştırılmaktadır. Faktörlerin karşılaştırılması, birbirlerine göre sahip oldukları önem değerlerine göre birebir ve karşılıklı yapılır.

Örneğin; birinci faktör üçüncü faktöre göre karşılaştırmayı yapan tarafından daha önemli görünüyorsa, bu durumda karşılaştırma matrisinin birinci satır üçüncü sütun bileşeni ($i = 1, j = 3$) değerini alacaktır. Aksi durumda yani birinci faktörün üçüncü faktörle karşılaştırılmasında, daha önemli tercihi üçüncü faktörden yana kullanılacaksa bu durumda karşılaştırma matrisinin birinci satır üçüncü sütun bileşeni $1/3$ değerini alacaktır. Bunun için aşağıdaki formül kullanılmaktadır.

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad (2.2)$$

Faktörlerin birebir karşılıklı karşılaştırılmasında Aşağıdaki tablodaki önem skalası kullanılır.

Önem Değerleri	Değer Tanımları
1	Eşit Önemde
3	Biraz Daha Önemli (Az Üstünlük)
5	Oldukça Önemli (Fazla Üstünlük)
7	Çok Önemli (Çok Üstünlük)
9	Son Derece Önemli (Kesin Üstünlük)
2, 4, 6 ve 8	Ara Değerler (Uzlaşma Değerleri)

Tablo 2.1. Önem Skalası

2.9.1.3. Faktörlerin yüzdelerik önem hesaplanması

Karşılaştırma matrisi, faktörlerin birbirlerine göre önem seviyelerini belirli bir mantık içerisinde gösterir. Ancak bu faktörlerin bütün içerisindeki yüzde önem dağılımlarını belirlemek için, karşılaştırma matrisini oluşturan sütun vektörlerinden yararlanılır ve n adet ve n bileşenli B sütun vektörü oluşturulur. Bunun için aşağıdaki vektör kullanılır.

$$B_i = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ b_{n1} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

B Vektörlerinin hesaplanması için aşağıdaki formül kullanılır.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (2.4)$$

n adet B vektörü, bir matris formatında bir araya getirildiğinde ise aşağıda gösterilen C matrisi oluşturulacaktır.

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & & & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

C matrisinden yararlanarak, faktörlerin birbirlerine göre önem değerlerini hesaplayan yüzde önem dağılımları elde edilebilir. Bunun için aşağıdaki formülde gösterildiği gibi C matrisini oluşturan satır bileşenlerinin aritmetik ortalaması alınır ve Öncelik Vektörü olarak adlandırılan W sütun vektörü elde edilir.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{n} \quad (2.6); \quad W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

2.9.1.4. Faktörlerin tutarlılık oranı hesaplanması

AHP her ne kadar tutarlı bir sistem olsa da karar verici kişinin faktörler arasında yaptığı karşılaştırmalardaki tutarlılığa bağlı olacaktır. Bu tutarlılığın ölçülebilmesi için “Tutarlılık Göstergesine” (CI) bağlı, “Tutarlılık Oranı” (CR) hesaplaması yapılmaktadır. AHP, CR hesaplamasının özünü, faktör sayısı ile “Temel Değer” adı verilen (λ) bir katsayının karşılaştırılmasına dayandırmaktadır. λ ’nın hesaplanması için öncelikle A karşılaştırma matrisi ile W öncelik vektörünün matris çarpımından D sütun vektörü aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$D = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Hesaplanan D sütun vektörü ile W sütun vektörünün karşılıklı elemanlarının bölümünden her bir değerlendirme faktörüne ilişkin temel değer E elde edilir. Bu değerlerin aritmetik ortalaması ve karşılaştırmaya ilişkin temel değeri λ verir.

$$E_i = \frac{d_i}{w_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n); \quad \lambda = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (2.9)$$

λ Hesaplandıktan sonra “Tutarlılık Göstergesi” olan CI ise aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (2.10)$$

CR hesaplanması için bir adı Standart Düzeltme olan, Random Gösterge (RI) aşağıdaki tablodan okunarak hesaplaması formüldeki gibi yapılır.

N	RI	N	RI
1	0	8	1,41
2	0	9	1,45
3	0,58	10	1,49
4	0,9	11	1,51
5	1,12	12	1,48
6	1,24	13	1,56

Tablo 2.2. Standart Düzeltme Tablosu

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2.11)$$

Hesaplanan CR değerinin 0.10 dan küçük olması karar vericinin yaptığı karşılaştırmaların tutarlı olduğunu gösterir. CR Değerinin 0.10’ dan büyük olması karar vericinin karşılaştırmalarındaki tutarsızlığını gösterir. Tutarsızlık durumunda yapılan ikili karşılaştırma matrisleri tekrar gözden geçirilmelidir.

2.9.1.5. Faktörlerin yüzde önemlerinin hesaplanması

Her bir faktör açısından karar noktalarının yüzde önem dağılımları belirlenir. Bunun için her bir karşılaştırma işleminden sonra $m \times 1$ boyutlu ve değerlendirilen faktörün karar noktalarına göre yüzde dağılımlarını gösteren S sütun vektörleri elde edilir. Bu sütun vektörleri aşağıda tanımlanmıştır.

$$S_i = \begin{bmatrix} s_{11} \\ s_{21} \\ \vdots \\ s_{m1} \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

2.9.1.6. Karar noktasındaki sonucun hesaplanması

Bir önceki adımda anlatılan n tane $m \times 1$ boyutlu S sütun vektöründen meydana gelen ve $m \times n$ boyutlu K karar matrisi oluşturulur. Karar matrisi aşağıda tanımlanmıştır.

$$K = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{m1} & s_{m2} & \dots & s_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

2.9.2. AHP'nin uygulama alanları

AHP ortaya çıkışından bu yana karar verme amacıyla birçok sektörde ve birçok alanda kullanılmıştır. Bunlardan en çok kullanılanları sayacak olursak, kuruluş yeri seçimi uygulamaları, tedarikçi seçimi, işe alma, sürekli iyileştirme projelerinin seçimi, donanım ve yazılım seçimi, yatırım kararı, en uygun stratejinin belirlenmesi, performans değerlendirme, tüketiciler için ürün alternatifleri arasından seçim kararı vb. alanlar sayılabilir.

2.9.3. AHP'nin katkıları

AHP'nin problemin çözümüne ilişkin katkılarını aşağıdaki şekilde listeleyebiliriz.

- a) Karmaşık görünen sayısal ve sayısal olmayan karar verme problemlerinin kolay şekilde çözümlenmesini sağlar.
- b) Karar vericinin tutarlılık derecesini ölçmemize yardımcı olur ve tutarsız sonuçların önüne geçer.
- c) Karar verme sürecini sistematik hale getirir ve doğru kararlar verilmesini sağlar.
- d) Karar verici için duyarlılık analizi yapar ve alınan kararın esnekliğinin analizini sağlar.
- e) Grup kararı alımlarında uygundur.
- f) Karar vericinin problemin tanımına ilişkin anlayışlarını artırır.
- g) Çeşitli yazılım paketleri çözümü kolay şekilde gerçekleştirir.

2.10. Bulanık Mantık

Bulanık mantık alanında ilk çalışma 1965'te Zadeh tarafından yapılmıştır. Zadeh bu çalışmada 0 ve 1 değerlerinden oluşan ikili mantıksal sisteminin yetersizliğinden bahsetmiştir. Kişiler karar vermede birtakım zorlukları yaşar. Bu zorluklar doğal etkilere ya da içsel nedenlerden kaynaklanır. Bu gibi durumlarda problemler bulanık mantık ile modellenmektedir.

Adından da anlaşılacağı gibi, sayısal değerlerden daha çok, sayısal olmayan değerler ile ifade edebileceğimiz tüm değişkenler bulanık mantık ile en yakın sonuca ulaşmamıza yardımcı olacaktır. Bu durumda geleneksel olan (0, 1) değer kümesi $[0, 1]$ aralığında farklı değerler alabilen bir değer kümesine dönüşür.

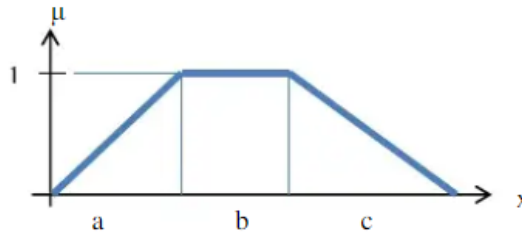
Bulanık kümede kullanılmakta olan üyelik fonksiyonları “Tekil, Üçgen, Yamuk, Gaussian, Çan Şekli, Sigmoidal, Başkaya'nın (Baskaya, 2011) bahsetmiş olduğu Π olarak belirlenmişlerdir. Aynı çalışmada bahsettiği üzere bulanık küme, çeşitli üyelik

fonksiyonları ile tanımlandıklarından aynı şekilde bulanık sayı çeşitleri de bulunmaktadır.

$\tilde{A}$ bir bulanık küme, $x \in \tilde{A}$ ve $\mu(x)$, x bulanık sayısının üyelik fonksiyonu ise, $\mu(x)$ fonksiyonu aşağıdaki denklemde gösterilmiştir,

$$\mu(x) = \begin{cases} a \leq x < b & \text{ise} & \frac{(x-a)}{(b-a)} \\ b \leq x \leq c & \text{ise} & 1 \\ c < x \leq d & \text{ise} & \frac{(d-x)}{(d-c)} \end{cases} \quad (2.14)$$

Klir, George ve Yuan'ın çalışmasında da tanımladığı üzere x , yamuksal ve bulanık sayıdır. Aşağıdaki şekilde yamuksal ve bulanık sayı $x = (a; b; c; d)$ şekilden gösterilmiştir. $b = c$ olduğunda bulanık sayı üçgensel bulanık sayıya dönüşmektedir (Klir ve ark., 1995).



Şekil 2.2 Bulanık Mantık Gösterimi

2.11. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi

Günlük hayatımızda kesinlik içermeyen, bazen de sanki daha önceden kesinmiş gibi düşünen ama aslında kesinlik arz etmeyen durumlar ile karşılaşabiliriz. Genel olarak gün içerisinde karşılaştığımız her olay belirsizlik içermektedir. Bu belirsizlikleri çözmek için birçok yöntem vardır. Bunlardan biri de bulanık mantık yöntemlerinden yararlanmaktır (Şen, 2001).

Bulanık mantık yöntemleriyle karşımıza çıkan belirsizlik durumlarını minimize ederiz. Klasik AHP yönteminde karar vericiler şahsi değerlendirmelerini yaparken sayısal değerler kullandıkları için zorlanmaktadırlar. Bulanık AHP (BAHP) sayesinde ikili

değerlendirmeler yapılarak karar vericilerin değerlendirme yapma imkanları kolaylaştırılmaktadır.

2.11.1. BAHF'nin AHP'ye göre üstünlükleri

- a) Bulanık sayılar, gerçek sayılara göre insanların belirli kriterlerin değerlendirmelerini daha iyi yansıtabilmektedir.
- b) Bulanık sayılar, karar vericilere asıl amaca ulaşmada değerlendirme yaparken çözüm kolaylıkları sağlarlar.

2.11.2. BAHF'ın çözüm adımları

Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesinde, kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde Buckley'in (Buckley, 1985) bulanık AHP yönteminden yararlanılmıştır. Göksu ve Güngör'ün (Göksu & Güngör, 2008) çalışmasında bahsettiği üzere, Buckley'in yaklaşımının avantajı, yapılan işlemlerin sonucunda tek bir sonucu garanti eder ve bulanıklaştırılması çok daha kolaydır. Yöntem içinde fazla işlem olması ise yöntemin dezavantajıdır.

Buckley'in bulanıklaştırılmış AHP yöntemi için kullandığı adımlar ve formülasyonları aşağıdaki sıralanmıştır.

Adım 1: Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. İki kriterin hangisinin önemli olduğu sorgulanıp belirlenir ve karşılık gelen dilsel ifadelerinin karşılığı atanır.

$$\tilde{A} = \begin{vmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & . & . & . & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & . & . & . & \tilde{a}_{2n} \\ . & . & . & . & . & . \\ \tilde{a}_{m1} & \tilde{a}_{m2} & . & . & . & 1 \end{vmatrix} \quad (2.15)$$

$$\tilde{a}_{ij} = \begin{cases} i > j, & (1,1,3), (1,3,5), (3,5,7), (5,7,9), (7,9,9) \\ i = j, & (1,1,1) \\ i < j, & (1/3, 1,1), (1/5, 1/3,1), (1/7, 1/5, 1/3), (1/9, 1/7, 1/5), (1/9, 1/9, 1/7) \end{cases}$$

Adım 2: Geometrik ortalama yardımıyla, bulanık geometrik ortalama bulunur:

$$\tilde{r}_i = \sqrt[n]{\tilde{a}_{i1} \otimes \tilde{a}_{i2} \dots \otimes \tilde{a}_{in}} \quad (2.16)$$

Adım 3: Her kriterin bulanık ağırlıkları tek tek hesaplanır.

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 \oplus \tilde{r}_2 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_n)^{-1} \quad (2.17)$$

$\tilde{w}_i$, i. kriterin bulanık ağırlığıdır. $\tilde{w}_i = (lw_i, mw_i, uw_i)$ şeklinde ifade edilir.
 lw_i, mw_i, uw_i , i. kriterin bulanık ağırlığının alt, orta ve üst değerlerini ifade eder.

Adım 4: Aşağıdaki formül ile her kriterin en iyi bulanık olmayan performans Değeri bulunur.

$$w_r = \frac{\tilde{w}_r}{\sum_{i=1}^n \tilde{w}_i} = \frac{w_{rl} + w_{rm} + w_{ru}}{\sum_{i=1}^n \tilde{w}_i} \quad (2.18)$$

Her bir seçeneğin hesaplanmış değerine göre, seçeneklerin sıralaması elde edilir.

2.12. Aksiyomatik Tasarım

Karar problemlerinde karar verici için karar verme işlemlerini kolaylaştırma adına sürekli yeni karar verme yöntemleri ortaya çıkmaktadır. Aksiyomatik tasarımda bu yöntemlerden biridir. Bu yöntemde şirketlerin talepleri doğrultusunda, fonksiyonel ihtiyaçlarla tasarımsal parametreler oluşturulur ve sonuca ulaşmak için Aksiyomatik Tasarım yöntemi uygulanır. Bu yöntem çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde müşteri istekleri doğrultusunda sistematik bir yaklaşım sunmaktadır.

Yöntem Dr. Suh Nam PYO tarafından 1990'larda geliştirilen, tasarım parametreleri ve fonksiyonel gereksinimler içindeki müşteri ihtiyaçlarını matris yöntemi kullanarak sistematik olarak analiz eden sistem tasarım yöntemidir. Yöntem neyi hedefliyoruz ve bu hedefe ulaşmada nasıl bir yol izleyebiliriz sorularına yanıt aramaktadır.

Aksiyomatik tasarım yönteminde bağımsızlık aksiyomu ve bilgi aksiyomu olmak üzere 2 tasarım aksiyomu bulunmaktadır. Bunlarla alternatif seçenekler karşılaştırılarak en uygun olan seçilir.

- a) Bağımsızlık Aksiyomu: Fonksiyonel ihtiyaçlarla tasarım parametreleri arasındaki ilişkiye bakar. Fonksiyonel talepler ve birbirinden bağımsız olmak zorundadır.
- b) Bilgi Aksiyomu: Seçenekler arasında minimum bilgi içeriği üreten sonuç optimum alternatifi oluşturur.

2.12.1. Aksiyomatik tasarım uygulama adımları

“Bilgi İçeriği” I_i ifade edilen bir fonksiyonel ihtiyacın (F_i), gerçekleşme olasılığı (p) olarak açıklanır. Bilgi içeriği denkleminin diğer bir adı Shannon eşitliği'dir. I_i Hesaplanması aşağıdaki (2.19) gibidir.

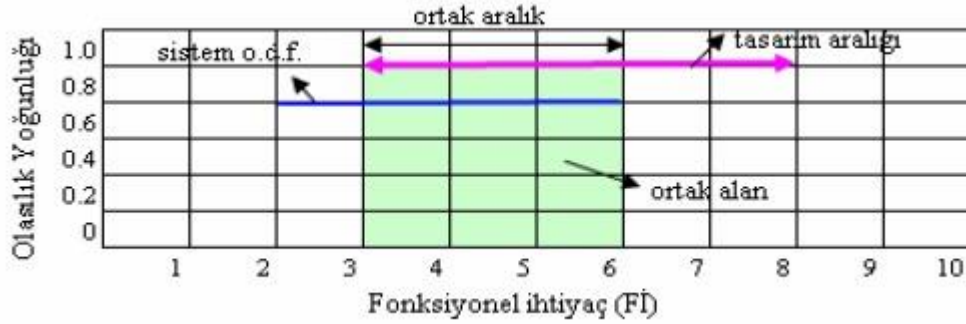
$$I_i = \log_2(1/p_i) \quad (2.19)$$

Bilgi birimlerden oluşur. Karşılanması gereken fonksiyonel ihtiyaçlar olduğundan, bilgi içeriğinin oluşması için logaritmik fonksiyonlardan yararlanılmıştır. N tane F_i olduğu durumda, bilgi içeriği bu olasılıkların toplamına eşittir. Bu toplam aşağıdaki (2.20) gibi hesaplanmaktadır;

$$I_{sistem} = \sum_{i=1}^n \log_2(1/p_i) \quad (2.20)$$

Hesaplanan bu toplam 1'e eşit olursa bu bilgi içeriğinin 0 olduğu, bir veya birden fazla olasılık 0 olduğunda ise bilgi içeriğinin sonsuz olduğu anlamına gelmektedir (Suh N. , 1998).

Gerçekleşme olasılığı, F_i 'nin tasarım aralığı (dr) ve fonksiyonel ihtiyaçları (F_i) sağlayacak tasarım için sistem aralığı (sr) belirlenerek bulunur. Bir F_i 'nin sistem olasılık dağılım fonksiyonu, uniform olduğunda, tasarımcı tarafından belirlenen 'tasarım aralığı' ve sistemin gerçekleştirdiği sistem aralığının kesiştiği bölgeye ortak alan denir ve çözüm bölgesi bu alandır.



Şekil 2.3. TA, SA, OA ve Fİ'nin Olasılık Dağılımı (Özel & Özyörük, 2007)

Sistem olasılık dağılım fonksiyonunun uniform olma durumunda gerçekleşme olasılığı olan P_i aşağıdaki (2.21) gibidir.

$$P_i = \frac{\text{Ortak Aralık}}{\text{Sistem Aralığı}} \quad (2.21)$$

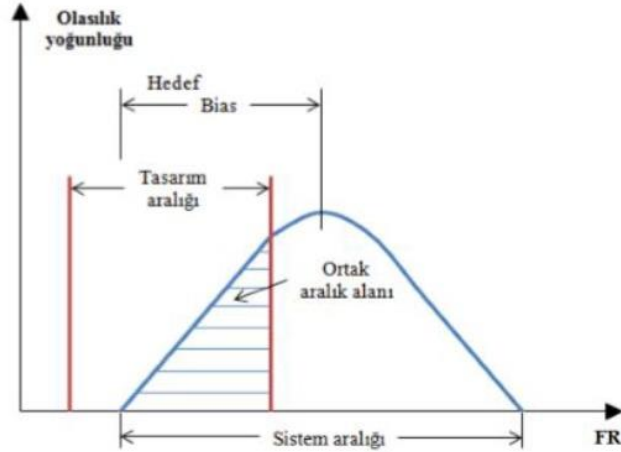
Bilgi içeriğinin hesabı aşağıdaki (2.22) şekildedir;

$$I_i = \log_2 \left(\frac{\text{Sistem Aralığı}}{\text{Ortak Aralık}} \right) \quad (2.22)$$

Eğer F_i sürekli rasgele değişken ise P_i bilgi içeriğinin aşağıdaki (2.23) şekildedir;

$$P_i = \int_{dr_1}^{dr_u} P_s(F_i) dF_i \quad (2.23)$$

Olasılık yoğunluk fonksiyonunun, integrali alınarak sistem aralığının gerçekleşme olasılığı bulunur. Şekil 2.4.'te sistem aralığı belirlenmiş olup fonksiyonel ihtiyaçlara göre olasılık yoğunluk fonksiyonu gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Sistem Aralığı ve Tasarım Aralığı Ortak Alanı

Sadece F_i 'nin sağlandığı bölge, tasarım aralığı ve sistem aralığı arasındaki ortak alan (cr) olarak gösterilir. Sonuç olarak, sistem aralığı alanının, ortak aralığın alanına bölümü, tasarım için belirlenen hedefin gerçekleşme olasılığına eşittir.

$$I = \log_2(A_{sr}/A_{cr}) \quad (2.24)$$

Sistem aralığının alanı A_{sr} , Şekil 2.4.'te taralı olarak gösterilen, ortak aralığın alanı ise A_{cr} ile gösterilir.

$$I = \log_2(1/A_{cr}) \quad (2.25)$$

Sonuç olarak bilgi içeriği hesabı aşağıdaki gibidir.

$$I = \log_2 \left(\frac{\text{Sistem Tasarımının Üçgensel Bulanık Alanı}}{\text{Ortak Alan}} \right) \quad (2.26)$$

2.12.2. Ağırlıklı bulanık aksiyomatik tasarım

Bulanık AT'de her kriterin ağırlığı bilgi içeriklerinde hesaplanırken eşit olarak kabul edilmiş ancak her bir kriterin farklı ağırlık değeri olduğunda bilgi içeriklerini hesaplamak için ek olarak aşağıda verilen ifade kullanılır ve bu yapı “Ağırlıklı Bulanık Aksiyomatik Tasarım” yaklaşımı ile tanımlanır.

$$I_{ij} = \begin{cases} \left[\log_2 \left(\frac{1}{p_{ij}} \right) \right]^{1/w_j}, & 0 \leq I_{ij} \leq 1 \\ \left[\log_2 \left(\frac{1}{p_{ij}} \right) \right]^{w_j}, & I_{ij} \geq 1 \\ w_j, & I_{ij} = 1 \end{cases} \quad (2.27)$$

2.12.3. Aksiyomatik tasarımın avantajları

- a) Karar vermede sürece yardımcı bir sistemdir.
- b) Sonuçların gerçekçi olmasını ve doğru kararlar verilmesini sağlar.
- c) Çok kriterli karar verme problemlerinde en uygun çözüm için kullanılır.

BÖLÜM 3. UYGULAMA

3.1. Giriş

Çalışmamız, Sakarya’da kurulu bulunan bir “Otomotiv Yan Sanayii” işletmesinde gerçekleştirilmiştir. İşletme, pazarda üretici firma olarak faaliyet göstermektedir. Kendi müşterilerin talepleri doğrultusunda, istenen hammadde ve yarı mamulleri, mevcut pazardan tedarik edip, işleme ve montajını yaparak, sonrasında ise dağıtımını yapan işletme görevini üstlenmektedir.

İşletme, rekabet ortamının arttığı pazarda, alınan son yönetim kurulu kararı doğrultusunda “yeşil üretim” stratejisini izlemek istemektedir. Ancak üretim sürecindeki paydaşların bir kısmı bu stratejiyi karşılarken bir kısmı ise yetersiz kalıp karşılayamamaktadır. Şartları sağlayan paydaşlar arasından çalışılabilecek düzeyde olanların bulunması istenmektedir. Böyle kritik bir konuda karar alınırken bir yöntemin yetersiz kalacağı düşünüldüğünden iki farklı metot kullanılarak çözüm arayışı yapılacaktır.

İşletmemizde problemin karmaşık oluşundan dolayı, çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan “Aksiyomatik Tasarım” ve “Bulanık AHP” yöntemleri ayrı ayrı uygulanmıştır.

Aksiyomatik tasarımda üçgensel üyelik fonksiyonlarının görsel olarak oluşturabilmek ve formüllerde kullanılan alanları otomatik hesaplayabilmek için matematik yazılımı olan GeoGebra kullanılmıştır. Bulanık AHP yöntemi için, Excel’de hazırlanan özel formülasyonlardan yararlanılarak çözüm üretilmiştir. Son kısımda ise yapılan iki farklı çalışmanın çıktıları karşılaştırılmış olup ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

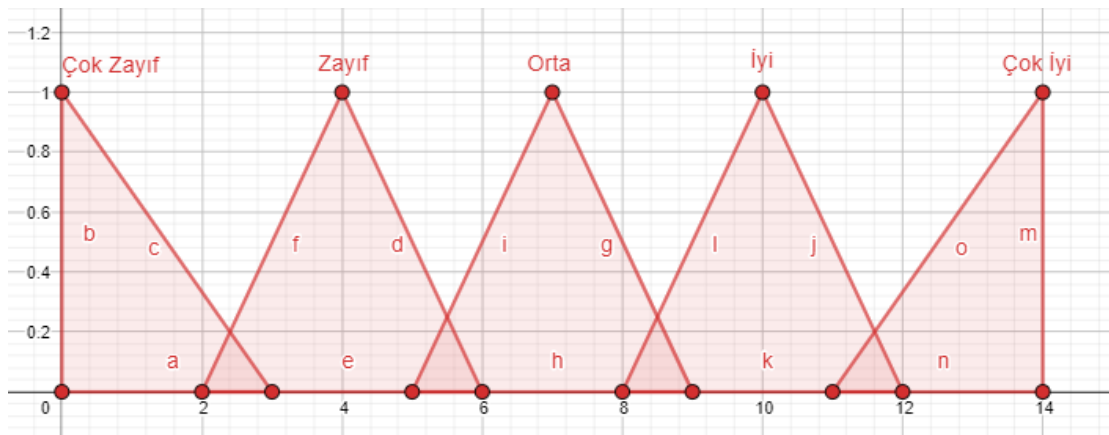
3.2. Aksiyomatik Tasarım

AT yönteminde bilgi aksiyoğunun uygulanabilmesi için, AT gereksinimlerinden bağımsızlık aksiyoğunun sağlanması gerekmektedir. Uygulamada kriterlerin sağladığı fonksiyonel ihtiyaçlar (Fi) yani belirtilen alternatifler birbirinden bağımsız olduğu varsayılmıştır. AT uygulanabilmesi için öncelikle bilgi içeriklerinin hesaplanması gereklidir. Her bir alternatife ait bilgi içeriklerinin hesaplanması için ilk önce Fi tasarım aralıklarının belirlenmesi gerekmektedir. İşletmedeki uzman kişiler tarafından belirlenen tasarım aralıkları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Fonksiyonel İhtiyaçlar	İşletmenin Tasarım Aralıkları
Yeşil Satın Alma	9 – 16 (Birim Puan Aralığında)
Yeşil Üretim	6, 14, 14 (Üçgensel İfade)
Yeşil Lojistik	3 – 7 (Gün Aralığında)
Yeşil Tasarım	4, 14, 14 (Üçgensel İfade)
Yeşil Tersine Lojistik	5, 14, 14 (Üçgensel İfade)

Tablo 3.1. Fonksiyonel İhtiyaçlar İçin Tasarım Aralıkları

Kesin olarak ifade edilebilen verileri ifade edebilmek için sayısal ifadeler kullanılır. Ancak sayısal olmayan dilsel ifadeleri ise belirli bir kurala bağlı olarak sayısal forma dönüştürme gerekir. Bulanık Küme Teorisi bu aşamada kullanılabilecek yöntemlerden biridir. Bulanık Küme Teorisinin üçgensel gösterimi Şekil 3.1.'deki gibidir.



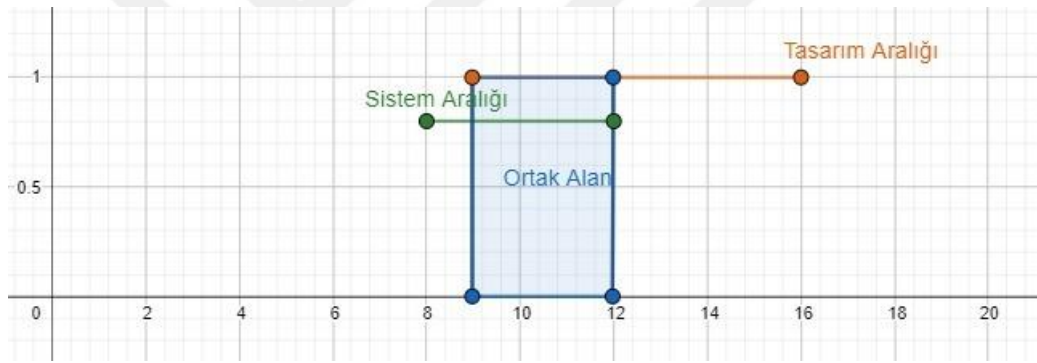
Şekil 3.1. Bulanık Küme Teorisinin Üçgensel Gösterimi

İşletmenin alternatif olarak gördüğü beş firmanın karşılayabileceği Fi'ler aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Bunlar arasından en iyi şartı sağlayanı seçeceğiz.

Firmalar	Yeşil Satın Alma	Yeşil Üretim	Yeşil Lojistik	Yeşil Tasarım	Yeşil Tersine Lojistik
Firma 1	8-12	Orta	2-5	Çok iyi	Zayıf
Firma 2	12-17	İyi	5-10	Zayıf	Orta
Firma 3	7-15	Çok iyi	1-6	Orta	Orta
Firma 4	6-11	Çok iyi	4-9	İyi	Çok iyi
Firma 5	14-18	Orta	1-5	Zayıf	İyi

Tablo 3.2. Firmaların Karşılayabileceği Fonksiyonel İhtiyaçlar

Firma 1 için “Yeşil Satın Alma” grafiksel gösterimi aşağıdaki gibidir. Diğer firmalar için fonksiyonel ihtiyaçları formüle göre tek tek hesaplanır.



Şekil 3.2. Firma 1'in “Yeşil Satın Alma” Ortak Alan Gösterimi

$$I_{ys1} = \log_2 \left(\frac{12-8}{12-9} \right) = 0,415 ,$$

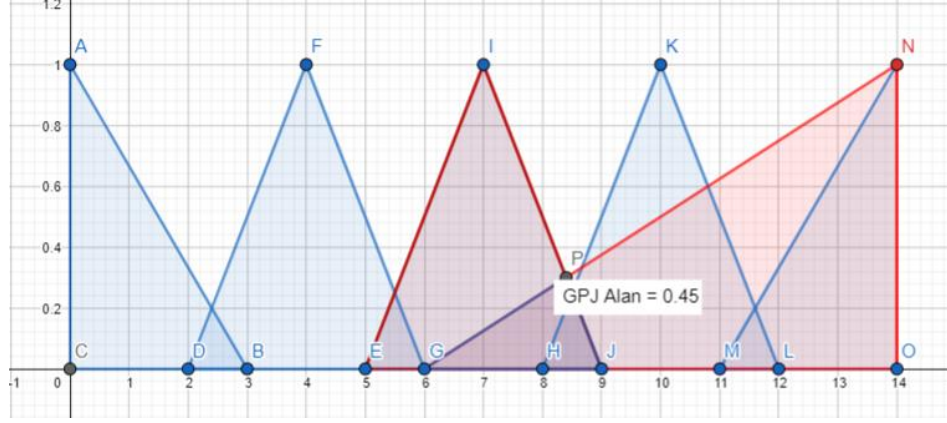
$$I_{ys2} = \log_2 \left(\frac{17-12}{16-12} \right) = 0,3219,$$

$$I_{ys3} = \log_2 \left(\frac{15-7}{16-12} \right) = 0,415,$$

$$I_{ys4} = \log_2 \left(\frac{14-11}{11-9} \right) = 0,5849,$$

$$I_{ys5} = \log_2 \left(\frac{15-7}{16-12} \right) = 1$$

Firma 1 için “Yeşil Üretim” grafiksel gösterimi aşağıdaki gibidir. Diğer firmalar için fonksiyonel ihtiyaçları formüle göre tek tek hesaplanır.



Şekil 3.3. Firma 1'in "Yeşil Üretim" Ortak Alan Gösterimi

$$I_{yü1} = \log_2 \left(\frac{2}{0,45} \right) = 2,1520 ,$$

$$I_{yü2} = \log_2 \left(\frac{2}{1,466} \right) = 0,4481 ,$$

$$I_{yü3} = \log_2 \left(\frac{2}{1,5} \right) = 0,4150 ,$$

$$I_{yü4} = 0 ,$$

$$I_{yü5} = \log_2 \left(\frac{2}{0,45} \right) = 2,1520$$

Firma1 için "Yeşil Lojistik" grafiksel gösterimi aşağıdaki gibidir. Diğer firmalar için fonksiyonel ihtiyaçları formüle göre tek tek hesaplanır.



Şekil 3.4. Firma 1'in "Yeşil Lojistik" Ortak Alan Gösterimi

$$I_{yl1} = \log_2 \left(\frac{5-2}{5-3} \right) = 0,584 ,$$

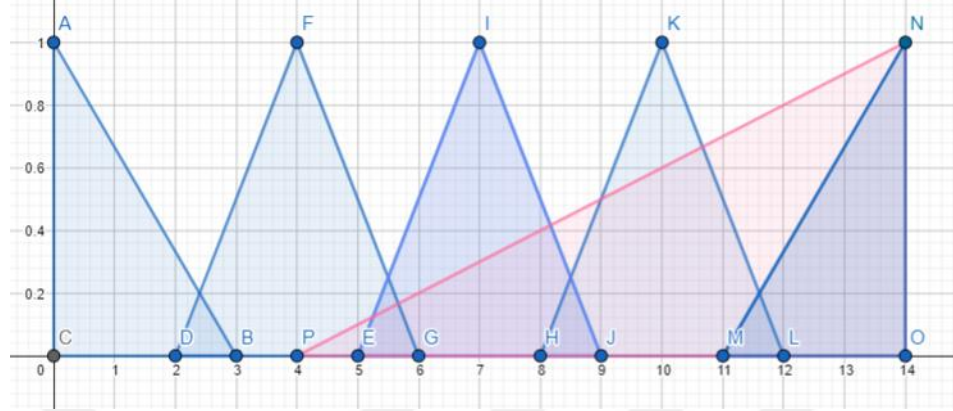
$$I_{yl2} = \log_2 \left(\frac{10-5}{7-5} \right) = 1,321 ,$$

$$I_{yl3} = \log_2 \left(\frac{6-1}{6-3} \right) = 0,736 ,$$

$$I_{yl4} = \log_2 \left(\frac{9-4}{7-6} \right) = 2,321 ,$$

$$I_{yl5} = \log_2 \left(\frac{5-1}{5-3} \right) = 2$$

Firma 1 için “Yeşil Tasarım” grafiksel gösterimi aşağıdaki gibidir. Diğer firmalar için fonksiyonel ihtiyaçları formüle göre tek tek hesaplanır.



Şekil 3.5. Firma 1'in “Yeşil Tasarım” Ortak Alan Gösterimi

$$I_{yt1} = 0,$$

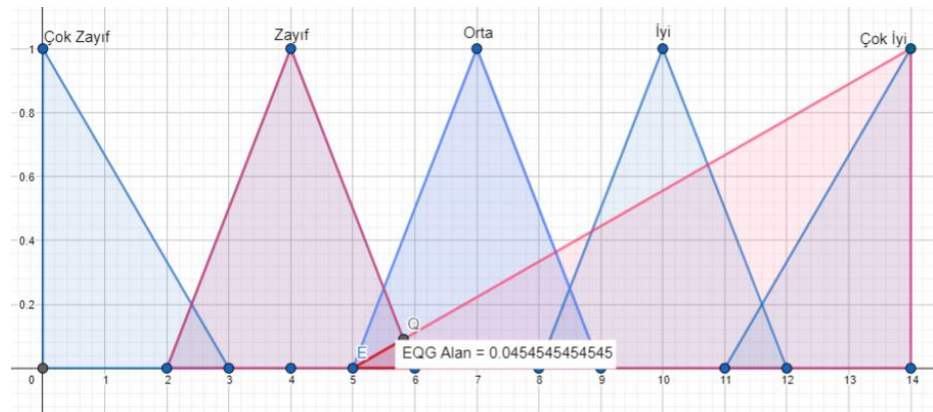
$$I_{yt2} = \log_2 \left(\frac{2}{0.1667} \right) = 3.590,$$

$$I_{yt3} = \log_2 \left(\frac{2}{0.974} \right) = 1.038,$$

$$I_{yt4} = \log_2 \left(\frac{2}{1.667} \right) = 0.262,$$

$$I_{yt5} = \log_2 \left(\frac{2}{0.1667} \right) = 3.590$$

Firma 1 için “Yeşil Tersine Lojistik” grafiksel gösterimi aşağıdaki gibidir. Diğer firmalar için fonksiyonel ihtiyaçları formüle göre tek tek hesaplanır.



Şekil 3.6. Firma 1'in “Yeşil Tersine Lojistik” Ortak Alan Gösterimi

$$I_{ytl1} = \log_2 \left(\frac{2}{0.045} \right) = 5.473 ,$$

$$I_{ytl2} = \log_2 \left(\frac{2}{0.7246} \right) = 1.464,$$

$$I_{ytl3} = \log_2 \left(\frac{2}{0.7246} \right) = 1.464, \quad I_{ytl4} = 0,$$

$$I_{ytl5} = \log_2 \left(\frac{2}{1.5844} \right) = 0.336$$

Firmaların her bir Fi puanlaması değerleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. En küçük toplam değeri alan Firma 4 seçilmiştir.

Firmalar	Yeşil Satın Alma	Yeşil Üretim	Yeşil Lojistik	Yeşil Tasarım	Yeşil Tersine Lojistik	Toplam
Firma 1	0,415	2,1520	0,584	0	5,473	8,624
Firma 2	0,3219	0,4481	1,321	3,590	1,464	7,145
Firma 3	0,415	0	0,736	1,038	1,464	3,653
Firma 4	0,5849	0	2,321	0,262	0	3,1679*
Firma 5	1	1	1	3,59	0,336	6,926

Tablo 3.3. Firmaların Fi puanları

Şekillerde görüldüğü üzere tasarım aralığı ve sistem aralığı arasındaki alanlar her bir firma ve kriter için hesaplanarak, bilgi içeriği formülünde kullanılmıştır. Sonuç olarak Tablo 3.3. oluşmuştur. Tercih edeceğimiz alternatif firma, toplam bilgi içeriği puanı en küçük olan Firma 4 olmuştur.

Bulanık Aksiyomatik Tasarımın “Bilgi İçeriği” formülasyonlarına göre Tablo 3.3.’te üretilen değerler arasında, toplam bilgi içeriği puanı en küçük olan seçenek, bizim birinci firmamızdır. Bu durumda genel seçme sıralamasını yapacak olursak,

Firma 4 > Firma 3 > Firma 5 > Firma 2 > Firma 1 şeklinde oluşur.

3.3. Ağırlıkların Bulanık AHP İle Hesaplanması

Gerçek hayatta karar vericilerin belirlemiş oldukları kriterler ikili karşılaştırma yapılarak ve dilsel (iyi, orta, kötü) olarak ifade edilmektedir. Sayısal değerler ikili karşılaştırmalar için tercih edilmez. Sayısal ifadelerin olmadığı problemlerde dilsel ifadeleri sayısal forma dönüştürmek gerekmektedir. Böyle durumlarda Ağırlıklı Bulanık AHP’ye başvurulabilir.

Ağırlıkların belirlenebilmesi için, ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulmalıdır. Karşılaştırmalar, ana faktörler kendi aralarında olacak şekilde yapılır. Bu problemin çözümünde Akyüz tarafından belirlenen bulanık önem derecelerinden yararlanılmıştır. Bu önem dereceleri Tablo 3.4.'te verilmiştir (Akyüz, 2012). Bu değerler sabit değerlerdir ve karar vericilerin kıyaslama yaparken belirlemiş oldukları dilsel ifadeye karşılık gelen sayısal değerler kullanılmıştır.

Önem Durumu	Bulanık Ölçek	Karşılık Ölçek
Eşit Derecede Önemli	1, 1, 1	1, 1, 1
Biraz Daha Önemli	2/3, 1, 3/2	2/3, 1, 3/2
Daha Fazla Önemli	3/2, 2, 5/2	2/5, 1/2, 2/3
Çok Önemli	5/2, 3, 7/2	2/7, 1/3, 2/5
Kesin Önemli	7/2, 4, 9/2	2/9, 1/4, 2/7

Tablo 3.4. Bulanık Önem Dereceleri

Karar vericiler tarafından belirlenmiş ikili karşılaştırmalar için ana faktörlere ait, sayısal değerler Tablo 3.5'te yer almaktadır.

Fİ	Yeşil Satın Alma	Yeşil Üretim	Yeşil Lojistik	Yeşil Tasarım	Yeşil Tersine Lojistik
Yeşil Satın Alma	1, 1, 1	2/3, 1, 3/2	2/3, 1, 3/2	5/2, 3, 7/2	2/3, 1, 3/2
Yeşil Üretim	2/3, 1, 3/2	1, 1, 1	3/2, 2, 5/2	2/3, 1, 3/2	3/2, 2, 5/2
Yeşil Lojistik	2/3, 1, 3/2	2/5, 1/2, 2/3	1, 1, 1	3/2, 2, 5/2	5/2, 3, 7/2
Yeşil Tasarım	2/7, 1/3, 2/5	2/3, 1, 3/2	2/5, 1/2, 2/3	1, 1, 1	5/2, 3, 7/2
Yeşil Tersine Lojistik	2/3, 1, 3/2	2/5, 1/2, 2/3	2/7, 1/3, 2/5	2/7, 1/3, 2/5	1, 1, 1

Tablo 3.5. Ana Faktörlerin İkili Karşılaştırılması

İkili karşılaştırmalardaki değerlerimizi ilgili formülde (2.16) yerine yazarsak, bulanık geometrik ortalamalar hesaplanır.

$$\tilde{r}_i = \sqrt[n]{\tilde{a}_{i1} \otimes \tilde{a}_{i2} \dots \otimes \tilde{a}_{in}}; \quad >> \quad \tilde{r}_i = (\tilde{a}_{11} * \tilde{a}_{12} * \tilde{a}_{13} * \tilde{a}_{14} * \tilde{a}_{15})^{1/5}$$

$$\tilde{r}_1 = (1 * \frac{2}{3} * \frac{2}{3} * \frac{5}{2} * \frac{2}{3})^{\frac{1}{5}}, (1 * 1 * 1 * 3 * 1)^{\frac{1}{5}}, (1 * \frac{3}{2} * \frac{3}{2} * \frac{7}{2} * \frac{3}{2})^{\frac{1}{5}}$$

$$\tilde{r}_1 = (1.4614, 1.2457, 1.6385)$$

$$\tilde{r}_2 = \left(\frac{2}{3} * 1 * \frac{3}{2} * \frac{2}{3} * \frac{3}{2}\right)^{\frac{1}{5}}, (1 * 1 * 2 * 1 * 2)^{\frac{1}{5}}, \left(\frac{3}{2} * 1 * \frac{5}{2} * \frac{3}{2} * \frac{5}{2}\right)^{\frac{1}{5}}$$

$$\tilde{r}_2 = (1, 1.3195, 1.6967)$$

$$\tilde{r}_3 = \left(\frac{2}{3} * \frac{2}{5} * 1 * \frac{3}{2} * \frac{5}{2}\right)^{\frac{1}{5}}, \left(1 * \frac{1}{2} * 1 * 2 * 3\right)^{\frac{1}{5}}, \left(\frac{3}{2} * \frac{2}{3} * 1 * \frac{5}{2} * \frac{7}{2}\right)^{\frac{1}{5}}$$

$$\tilde{r}_3 = (1, 1.2457, 1.5431)$$

$$\tilde{r}_4 = \left(\frac{2}{7} * \frac{2}{3} * \frac{2}{5} * 1 * \frac{5}{2}\right)^{\frac{1}{5}}, \left(\frac{1}{3} * 1 * \frac{1}{2} * 1 * 3\right)^{\frac{1}{5}}, \left(\frac{2}{5} * \frac{3}{2} * \frac{2}{3} * 1 * \frac{7}{2}\right)^{\frac{1}{5}}$$

$$\tilde{r}_4 = (0.7177, 0.8705, 1.0696)$$

$$\tilde{r}_5 = \left(\frac{2}{3} * \frac{2}{5} * \frac{2}{7} * \frac{2}{7} * 1\right)^{\frac{1}{5}}, \left(1 * \frac{1}{2} * \frac{1}{3} * \frac{1}{3} * 1\right)^{\frac{1}{5}}, \left(\frac{3}{2} * \frac{2}{3} * \frac{2}{5} * \frac{2}{5} * 1\right)^{\frac{1}{5}}$$

$$\tilde{r}_5 = (0.4651, 0.5609, 0.6931)$$

Hesaplanan $\tilde{r}_i$ değerlerini Tablo 3.6.'de yerine yazarsak;

$\tilde{r}_i$	l	m	u
$\tilde{r}_1$	1,4614	1,2457	1,6385
$\tilde{r}_2$	1	1,3195	1,6967
$\tilde{r}_3$	1	1,2457	1,5431
$\tilde{r}_4$	0,7177	0,8705	1,0696
$\tilde{r}_5$	0,4651	0,5609	0,6931

Tablo 3.6. Bulanık Geometrik Ortalamalar

Geometrik ortalamalar hesaplandıktan sonra $\tilde{w}_i$ hesaplanması için, ilgili formülde (2.17) değerler yerlerine yazılır.

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i * (\tilde{r}_1 + \tilde{r}_2 + \tilde{r}_3 + \dots + \tilde{r}_n)^{-1}$$

$$\tilde{w}_1 = (1.4614, 1.2457, 1.6385) * \begin{bmatrix} 1/(1.6385 + 1.6967 + 1.5431 + 1.0696 + 0.6931) \\ 1/(1.2457 + 1.3195 + 1.2457 + 0.8705 + 0.5609) \\ 1/(1.4614 + 1 + 1 + 0.7177 + 0.4651) \end{bmatrix}$$

$$\tilde{w}_1 = (0,22, 0.2376, 0.2903) ;$$

$$\tilde{w}_2 = (1, 1.3195, 1.6967) * \begin{bmatrix} 1/(1.6385 + 1.6967 + 1.5431 + 1.0696 + 0.6931) \\ 1/(1.2457 + 1.3195 + 1.2457 + 0.8705 + 0.5609) \\ 1/(1.4614 + 1 + 1 + 0.7177 + 0.4651) \end{bmatrix}$$

$$\tilde{w}_2 = (0.1505, 0.2517, 0.3006);$$

$$\tilde{w}_3 = (1, 1.2457, 1.5431) * \begin{bmatrix} 1/(1.6385 + 1.6967 + 1.5431 + 1.0696 + 0.6931) \\ 1/(1.2457 + 1.3195 + 1.2457 + 0.8705 + 0.5609) \\ 1/(1.4614 + 1 + 1 + 0.7177 + 0.4651) \end{bmatrix}$$

$$\tilde{w}_3 = (0.1505, 0.2376, 0.2734);$$

$$\tilde{w}_4 = (0.7177, 0.8705, 1.0696) * \begin{bmatrix} 1/(1.6385 + 1.6967 + 1.5431 + 1.0696 + 0.6931) \\ 1/(1.2457 + 1.3195 + 1.2457 + 0.8705 + 0.5609) \\ 1/(1.4614 + 1 + 1 + 0.7177 + 0.4651) \end{bmatrix}$$

$$\tilde{w}_4 = (0.1080, 0.166, 0.1895);$$

$$\tilde{w}_5 = (0.4651, 0.5609, 0.6931) * \begin{bmatrix} 1/(1.6385 + 1.6967 + 1.5431 + 1.0696 + 0.6931) \\ 1/(1.2457 + 1.3195 + 1.2457 + 0.8705 + 0.5609) \\ 1/(1.4614 + 1 + 1 + 0.7177 + 0.4651) \end{bmatrix}$$

$$\tilde{w}_5 = (0,07, 0.107, 0.1227)$$

Hesaplanan $\tilde{w}_i$ değerlerini Tablo 3.7.'de yerine yazarsak;

$\tilde{w}_i$	l	m	u
$\tilde{w}_1$	0.22	0.2376	0,2903
$\tilde{w}_2$	0.1505	0.2517	0.3006
$\tilde{w}_3$	0.1505	0.2376	0.2734
$\tilde{w}_4$	0.1080	0.166	0.1895
$\tilde{w}_5$	0.07	0.107	0.1227

Tablo 3.7. Bulanıklaştırılmış Ağırlıklar

Bir sonraki adımda Tablo 3.7.'deki değerler kullanılarak, Tablo 3.8.'deki "Durulaştırılmış Ağırlık Değerleri" bulunacaktır.

$$BNP_{wi} = [(U_{wi} - L_{wi}) + (M_{wi} - L_{wi})]/3 + L_{wi}$$

$$BNP_{w1} = \frac{[(0.2903 - 0.22) + (0.2376 - 0.22)]}{3} + 0.22 = 0.2693$$

$$BNP_{w2} = \frac{[(0.3006 - 0.1505) + (0.2517 - 0.1505)]}{3} + 0.1505 = 0,2545$$

$$BNP_{w3} = \frac{[(0.2734 - 0.1505) + (0.2376 - 0.1505)]}{3} + 0.1505 = 0.2218$$

$$BNP_{w4} = \frac{[(0.1895 - 0.1080) + (0.166 - 0.1080)]}{3} + 0.1080 = 0.1545$$

$$BNP_{w5} = \frac{[(0.1227 - 0.07) + (0.107 - 0.07)]}{3} + 0.07 = 0.0999$$

$\tilde{w}_i$	Kriterler	Ağırlıklar
$\tilde{w}_1$	Yeşil Satın Alma	0,2693
$\tilde{w}_2$	Yeşil Üretim	0,2545
$\tilde{w}_3$	Yeşil Lojistik	0,2218
$\tilde{w}_4$	Yeşil Tasarım	0,1545
$\tilde{w}_5$	Yeşil Tersine Lojistik	0,0999

Tablo 3.8. Durulaştırılmış Ağırlıklar

3.4. Ağırlıklı Bulanık Aksiyomatik Tasarım Hesaplaması

Bilgi içeriğinin hesabında gelen bilgi içeriklerinin birden büyük olma durumuna, birden küçük olma durumuna veya bire eşit olma durumuna bakılarak işlem yapılır. Yapılan işlemler aşağıdaki gibidir.

Firma 1 için yeşil satın alma: $0 \leq 0.4150 \leq 1$

$$I_{11} = (0.415)^{\frac{1}{0.2693}} = 0,0381$$

Firma 2 için Yeşil satın alma $0 \leq 0.3219 \leq 1$

$$I_{12} = (0.3219)^{\frac{1}{0.2693}} = 0,0148$$

Firma 3 için yeşil satın alma: $0 \leq 0.4150 \leq 1$

$$I_{13} = (0.415)^{\frac{1}{0.2693}} = 0,0381$$

Firma 4 için yeşil satın alma: $0 \leq 0.5849 \leq 1$

$$I_{14} = (0.5849)^{\frac{1}{0.2693}} = 0,1364$$

Firma 5 için yeşil satın alma: $1 = 1$

$$I_{15} = 0,2693$$

Firma 1 için Yeşil Üretim: $2.152 \geq 1$

$$I_{21} = 2.152^{0,2545} = 1,2153$$

Firma 2 için Yeşil Üretim: $0 \leq 0.4481 \leq 1$

$$I_{22} = (0.4481)^{\frac{1}{0.2545}} = 0,426$$

Firma 3 için Yeşil Üretim: 0

$$I_{23} = 0$$

Firma 4 için Yeşil Üretim: 0

$$I_{24} = 0$$

Firma 5 için Yeşil Üretim: $2.152 \geq 1$

$$I_{25} = 2.152^{0,2545} = 1,2153$$

Firma 1 için Yeşil Lojistik: $0 \leq 0.584 \leq 1$

$$I_{31} = (0.584)^{\frac{1}{0.2218}} = 0.884$$

Firma 2 için Yeşil Lojistik: $1.321 \geq 1$

$$I_{32} = (1.321)^{0.2218} = 1.0636$$

Firma 3 için Yeşil Lojistik: $0 \leq 0.736 \leq 1$

$$I_{33} = (0.736)^{\frac{1}{0.2218}} = 0.2964$$

Firma 4 için Yeşil Lojistik: $2.321 \geq 1$

$$I_{34} = (2.321)^{0.2218} = 1.2053$$

Firma 5 için Yeşil Lojistik: $1 = 1$

$$I_{35} = 0.2218$$

Firma 1 için Yeşil Tasarım: 0

$$I_{41} = 0$$

Firma 2 için Yeşil Tasarım: $3.59 \geq 1$

$$I_{42} = (3.59)^{0.1545} = 1.2183$$

Firma 3 için Yeşil Tasarım: $1.038 \geq 1$

$$I_{43} = (1.038)^{0.1545} = 1.0057$$

Firma 4 için Yeşil Tasarım: $0 \leq 0.262 \leq 1$

$$I_{44} = (0.262)^{\frac{1}{0.1545}} = 0.0001$$

Firma 5 için Yeşil Tasarım: $3.59 \geq 1$

$$I_{45} = (3.59)^{0.1545} = 1.2183$$

Firma 1 için Yeşil Tersine Lojistik: $5.473 \geq 1$

$$I_{51} = (5.473)^{0.0999} = 1.185$$

Firma 2 için Yeşil Tersine Lojistik: $1.464 \geq 1$

$$I_{52} = (1.464)^{0.0999} = 1.0388$$

Firma 3 için Yeşil Tersine Lojistik: $1.464 \geq 1$

$$I_{53} = (1.464)^{0.0999} = 1.0388$$

Firma 4 için Yeşil Tersine Lojistik: 0

$$I_{54} = 0$$

Firma 5 için Yeşil Tasarım: $0 \leq 0.336 \leq 1$

$$I_{55} = (0.336)^{\frac{1}{0.0999}} = 0$$

	Yeşil Satın Alma	Yeşil Üretim	Yeşil Lojistik	Yeşil Tasarım	Yeşil Tersine Lojistik	Σ
Firma 1	0,0381	1,2153	0,884	0	1,185	3,3224
Firma 2	0,0148	0,426	1,0636	1,2183	1,0388	3,7615
Firma 3	0,0381	0	0,2964	1,0057	1,0388	2,3790
Firma 4	0,1364	0	1,2053	0,0001	0	1,3418*
Firma 5	0,2693	1,2153	0,2218	1,2183	0	2,92470

Tablo 3.9. ABAT Bilgi İçeriği Sonuçları

Ağırlıklandırılmış Bulanık Aksiyomatik Tasarımın “Bilgi İçeriği” formülasyonlarına göre üretilen Tablo 3.9.’da toplam bilgi içeriği puanı en küçük olan seçenek bizim birinci firmamızdır. Bu durumda genel seçme sıralamasını yapacak olursak,

Firma 4 > Firma 3 > Firma 5 > Firma 1 > Firma 2 şeklinde olur.

BÖLÜM 4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Aksiyomatik Tasarımda, sistem aralığı ve tasarım aralığı arasında kalan “Ortak Alan” hesaplamaları ile, istenilen kriterleri en iyi karşılayan seçme ve sıralama işlemleri yapılır. Bunun daha gerçekçi sonuçlar üretebilmesi için, Aksiyomatik Tasarıma, uzman kişiler tarafından AHP tekniği uygulanmış ve kriterlerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Bunun amacı, sonucun daha doğru olmasını sağlamaktır.

Bu çalışmamızda yeşil (çevreci) tedarik, üretim, dağıtım stratejilerini izleyen şirketimizde, alternatif 5 firma arasından, stratejilerimize uygun olanı, Ağırlıklandırılmış Bulanık Aksiyomatik Tasarım ve Bulanık Aksiyomatik Tasarım seçme yöntemlerini aynı probleme, ayrı ayrı uygulayarak en iyi alternatifi bulmaya çalışıldı. Sonuç olarak Tablo 4.1.’deki değerleri üretildi.

Bulanık Aksiyomatik Tasarım	Ağırlıklı Bulanık Aksiyomatik Tasarım
Firma 4	Firma 4
Firma 3	Firma 3
Firma 2	Firma 5
Firma 5	Firma 1
Firma 1	Firma 2

Tablo 4.1. ABAT Bilgi İçeriği Sonuçları

Her iki yöntemde de “Firma 4” ilk sırayı alırken, “Firma 3” ikinci sırayı almaktadır. Ancak sonrasında gelen üç firmada sıralamalar farklı olmuştur.

Bulanık Aksiyomatik Tasarım ’da uzman görüşleri eşit değerde kabul görür ve işlemler ona göre devam eder. Ancak Ağırlıklandırılmış Bulanık Aksiyomatik Tasarım ’da uzman görüşleri alınarak, her bir kriter için ağırlıklandırma işlemi yapılır. Sonrasındaki işlemler hesaplanan ağırlıklar üzerinden devam ettiği için, sonuçlar daha gerçeğe yakın çıkmıştır.

KAYNAKLAR

- Akyüz, G. (2012). Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Fabrika İmalat Performansının Ölçümü. *Ege Akademik Bakış Dergisi*, 323-338.
- Altınöz, C. (2001). Supplier Selection in Textiles: A Fuzzy Approach. Graduate Faculty of North Carolina State University, Doctor of Philosophy, 163.
- Artuç, A. (2001). Askeri Telsiz Sistemlerinin Performansının Bulanık Karar Ortamında Değerlendirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Başkaya, Z. (2011). Bulanık Doğrusal Programlama. Bursa: Bekin Yayınevi.
- Baykoç, Ö., & Öz, E. (2004). Tedarikçi Seçimi Problemine Karar Teorisi Destekli Uzman. *Gazi Üniversitesi Mim. Muh. Fak. Dergisi*, 19C, s. 275-286.
- Bayrakçıl, A. (2007). Tedarik Zinciri Yönetiminde Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi ve Tam Sayılı Programlama ile Tedarikçi Seçimi: Hipotetik Bir Uygulama. Sivas: Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Boer, Wegen, Telgen, J., & Van Der, J. (1998). Outranking methods in support of supplier selection. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, Volume 4, p. 109–118.
- Bozdağ, C. K. (2003). Fuzzy group decision making for selection among computer integrated manufacturing systems, *Computers in Industry*,. Volume 51, p. 13-29, .
- Buckley, J. (1985). Fuzzy Hierarchical Analysis. *Fuzzy Sets And Systems*, s. 233-247.
- Cochran, D., Eversheim, W., Kubin, G., & Sesterhenn, M. (2000). The application of AD and lean management principles in the scope of production system segmentation. *International Journal of Production Research*, 1159-1173.
- Çebi, F., & Bayraktar, D. (2003). An integrated approach for supplier selection. *Logistic Information Management*, 395-400.
- Dağdeviren, M., & Eren, T. (2001). Tedarikçi firma seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve 0-1 Hedef Programlama Yöntemlerinin kullanılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 41-52.

- Göksu, A., & Güngör, İ. (2008). Bulanık Analitik Hiyerarşik Proses ve Üniversite Tercih Sıralamasında Uygulanması. Süleyman Demirel Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi, 1-25.
- Haouori, M., Aissoui, N., & Hassini, E. (2007). Supplier selection and order lot sizing modeling: A review, Operations Research and Outsourcing.
- Klir, George, L., & Yuan, B. (1995). Fuzzy Sets and Fuzzy Logic. Prentice Hal.
- Kulak, O., & Kahraman, C. (2005). ulti-attribute comparison of advanced manufacturing systems using fuzzy vs. crisp axiomatic design approach. International Journal of Production Research, 415-424.
- Muralidharan, C. A. (2001). Vendor rating in purchasing scenario: A confidence interval approach, International Journal of Operations & Production Management. s. Volume 21, 1305-1325.
- Saaty, T. (1983). The analytic hierarchy process. McGraw- Hill, 25-50.
- Saaty, T. (2004). Decision Making - The Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP). Journal of Systems Science and Systems Engineering, 6.
- Schnetzler, M., Sennheiser, A., & Schönsleben, P. (2007). A decomposition-based approach for the development of a supply chain strategy. International Journal of Production Economics, 21-42.
- Soner, S., & Önüt, S. (2006). Çok Kriterli Tedarikçi Seçimi: Bir Electre-Ahp Uygulaması. Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 110-120.
- Suh, N. (1990). The Principles of Design. Oxford University Press, 67-90.
- Suh, N. (1998). Axiomatic Design Theory for Systems. Research in Engineering. 189-209.
- Suh, N., Cochran, D., & Paulo, C. (1998). Manufacturing system design. Annals of the CIRP, 627-639.
- Şen, Z. (2001). Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri . Bilge Kültür Sanat Yayınları, s. 172.
- Xia, W., & Wu, Z. (2007). Supplier selection with multiple criteria in volume discount environments. Omega, 394-504.

ÖZGEÇMİŞ

Zeynep ARDALI, 09.02.1991 yılında Sakarya’da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya’da tamamladı. Özel Kerime Hatun Lisesi’nden 2009 yılında mezun oldu. Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’nü 2009-2013 yıllarında bitirdi. 2014 yılında Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde Tezli Yüksek Lisansına başladı. 2014 yılından beri Sakarya Üniversitesi’nde Bilişim Personeli olarak işe çalışıyor. 2017 yılında evlendi ve 2 çocuğu var.