172598

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AHP'DE DİLSEL KARŞILAŞTIRMA SÜRECİNİN BULANIK MANTIKLA GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Müh. Atakan ALKAN

Anabilim Dalı: Endüstri

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Didem YILMAZ

OCAK 2006

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AHP'DE DİLSEL KARŞILAŞTIRMA SÜRECİNİN BULANIK MANTIKLA GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Müh. Atakan ALKAN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 Aralık 2005

Tezin Savunulduğu Tarih : 02 Ocak 2006

Tez Danışmanı	**Üye**	**Üye**
Yrd. Doç. Dr.	**Prof. Dr.**	**Yrd. Doç. Dr.**
Didem YILMAZ	**Alpaslan FIĞLALI**	**Ayhan DEMİRİZ**
(..............................)	(..............................)	(..............................)

Ocak 2006

ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİNDE SÖZEL KARŞILAŞTIRMA SÜRECİNİN BULANIK MANTIK KULLANILARAK GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Atakan ALKAN

Anahtar Kelimeler: Bulanık Mantık, Analitik Hiyerarşi Proses, Sözel Karşılaştırma

Özet: Bu çalışmada, bir çok amaçlı karar verme yöntemi olan Analitik Hiyerarşi Proses (AHP) yöntemindeki ikili karşılaştırma süreci ve hesaplamalar, klasik yöntem ve bulanık yöntem kullanılarak bir örnek üzerinde ayrı ayrı uygulanarak karşılaştırılmıştır. Örnek çalışmada deneklerden, geometrik şekillerin alansal karşılaştırmasını yapmaları istenmiştir. Bu çok kriterli karşılaştırma sürecinde kullanılan iki yöntemden elde edilen sonuçlar gerçek değerler ile karşılaştırılarak başarım karşılaştırması yapılmıştır.

LINGUISTIC COMPARISON USING FUZZY LOGIC IN ANALITIC HIERARCHY PROCESS

Atakan ALKAN

Key Words: Fuzzy Logic, Analitic Hierarchy Process, Linguistic Comparison

Abstract: In this study, pairwise comparison process and calculations of Analitic Hierachy Process ,a popular multi-criteria decision making tool, are compared on an example by using both classical and fuzzy approaches. In experimental study subjects are asked to compare the areas of geometric shapes. The results obtained from these two methods of the multi-criteria decision process are compared with real results and performances are evaluated.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Karar verme durumu insanın yaşamı boyunca karşılaştığı bir süreçtir. Bir çok olay karşısında insanlar çeşitli seçenekler arasından kendi beklenti ve amaçları doğrultusunda en iyi olanı belirlemeye çalışırlar. Bu en iyi seçeneği belirleme aşamasında bir çok belirsizlik ve kesin olmayan durumla karşı karşıya kalınmaktadır. Bulanık Mantık teorisi bu belirsizlik ve kesin olmayan durumlar karşısında ortaya çıkan karmaşıklığı gideren bir yöntemdir. İnsanın belirsizlik altında rasyonel karar verme becerisini kullanarak karmaşık durumların modellenmesinde ve çözümünde kullanılmaktadır. Analitik Hiyerarşi Proses yöntemi ise ölçütler arasında yapılan ikili karşılaştırmalar esasına dayanan bir çok ölçütlü karar verme yöntemidir. Çözüm süreci sonucunda problemde yer alan ölçütlerin ağırlıkları belirlenmekte ve sonucun ortaya çıkmasında hangi ölçüde payları olduğu belirlenmektedir.

Bu çalışmada, değişik geometrik şekillerin alansal karşılaştırması yapılan anket çalışması ile gerçekleştirilmiştir. Analitik Hiyerarşi Proses yönteminin ikili karşılaştırma sürecindeki dilsel karşılaştırmaları hem klasik yöntem hem de bulanık mantık yöntemi ile ayrı ayrı değerlendirilmiş, elde edilen sonuçlar gerçek değerler ile karşılaştırılmıştır.

Bu tezin hazırlanmasında beni her konuda destekleyen danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Didem YILMAZ'a (KOÜ M.F.), çalışmamın her aşamasında bilgi ve fikirleriyle beni aydınlatan Sayın Prof. Dr. Alparslan FIĞLALI'ya (KOÜ M.F.), bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan Arş. Gör. Yıldız YULUĞKURAL (KOÜ M.F.) ve Arş. Gör. Ümit TERZİ'ye (KOÜ M.F.), her konuda beni bıkmadan usanmadan destekleyen arkadaşım Sevgi FELEK'e, çalışmalarım boyunca yanımda olan çalışma arkadaşlarıma ve maddi, manevi desteklerini benden esirgemeyen sevgili aileme sonsuz teşekkür ederim.

Atakan ALKAN

İÇİNDEKİLER

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

C : Bulanık kısıtlar
D : Bulanık karar
G : Bulanık hedef
R : Şartın toplam ilişkisi
W : Göreli öncelik değeri (Relative Priority)
λ : Özdeğer
CI : Tutarlılık indeksi (Cosistency İndex)
CR : Tutarlılık Oranı (Consistency Ratio)
EB : En büyük
EK : En kjüçük
RI : Tesadüfi Rassal İndeks
AHP : Analitik Hiyerarşi Proses
SCI : Saaty Compatibility Index
ÇAKV : Çok amaçlı karar verme
ÇÖKV : Çok ölçütlü karar verme

ŞEKİLLER LİSTESİ

TABLOLAR LİSTESİ

BÖLÜM 1. GİRİŞ

İnsanlar yaşamlarının birçok aşamasında karar durumları ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu karar durumları hakkında, kesin olarak bilgi sahibi olamama veya başlangıçta kesinmiş gibi düşünülen ama sonuçta kesinlik arz etmeyen bilgi birikimine sahiptirler. Bu karar durumları karşısında sergiledikleri davranışlar ya da tercihler, geçmişteki deneyimlerinden, sezgisellikten veya çıkarımlardan kaynaklanır. Bu durumlar karşısında sağlıklı kararlar alabilme, belirlenen amaç veya amaçlar doğrultusunda sistemin bütününde ve alt sistemlerde gerçekleşen etkileşimleri doğru bir biçimde ilişkilendirmeyi gerekli kılmaktadır.

Karar durumlarının sonucunda ortaya çıkabilecek seçeneklerin ise, doğrudan görülebilen etkilerinin yanında, fark edilebilen ama niceliksel olarak ifade edilemeyen etkileri de söz konusudur. Yani karar problemlerini çözerken kalite, konfor, tecrübe gibi niteliksel faktörleri çözüm süreçlerine katmak kolay değildir. Bunların, varolan sistemin analizine yansıtılarak toplamda en çok katkısı olan seçeneğin belirlenmesi, karar vericiyi hem zorlar hem de çok fazla zamanını alır. Bu durumların sistematik bir şekilde önceden planlanarak sayısal öngörülerinin yapılması ancak bir takım kabul ve varsayımlardan sonra mümkün olabilmektedir. Karar verici, çoğu zaman bu faktörleri sezgisel olarak göz önünde bulundurmaktadır.

İnsanlar yaşamları boyunca birçok karmaşıklık ile karşılaşırlar. Bu karmaşıklık genel olarak belirsizlik, kesin düşünceden yoksunluk ve karar verilmeyişten kaynaklanır. Birçok sosyal, iktisadi ve teknik konularda insan düşüncesinin tam anlamı ile olgunlaşmamış olmasından dolayı belirsizlikler her zaman bulunur. Bu belirsizlik ve kesin düşünceden yoksunluk durumlarına ilave olarak, özellikle sözel olan bilgilerin de içeriği vurgulanmalıdır. İnsan sözel düşünebildiğine ve bildiklerini başkalarına sözel ifadelerle aktarabildiğine göre bu ifadelerin kesin olması beklenemez. Her insanın sözel olarak ifade ettiği, vurgulamaya çalıştığı durumun insandan insana farklılık göstermesi kaçınılmaz bir sonuçtur.

Belirsizlik, kesin düşünceden yoksunluk yada sözel olarak ifade edilen bilgilerin kullanılması durumlarındaki karmaşıklığı Bulanık Mantık teorisi gidermektedir. Bulanık mantık insanın belirli türdeki belirsizlikleri kullanarak, rasyonel karar alabilme becerisinin taklit edilmesi yolu ile analitik yöntemlerle modellenmesi çok zor problemlerin çözümlenmesinde kullanılmaktadır. Bulanık mantık insanın sahip olduğu sözel düşünce yapısının bilimsel hesaplamalarda kullanılmasına imkan veren bir yöntemdir. Sahip olduğu geçişken yapının insan düşüncesini daha iyi ifade etmesi nedeniyle kullanıldığı birçok alanda daha başarılı sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır.

Günlük yaşamımızda vermek zorunda olduğumuz kararlar bazen basit bazen de derinlemesine düşünmeyi ve gözden geçirmeyi gerektirir. Amaçlarımıza ulaşmak için karşımıza çıkan seçenekler arasında hep seçim yapmak durumunda kalırız. İnsanoğlu bu seçenekler arasından en iyi seçimi yapabilmek için bedenen ve zihnen bir çaba harcamakta bazen de çevresinden yardım almaktadır. Analitik Hiyerarşi Proses (AHP) yöntemi ise sonlu sayıda seçeneğin yer aldığı çok ölçütlü karar problemlerinde en iyi seçeneği bulan bir tekniktir. Çözüm süreci sonucunda problemde yer alan faktörlerin ağırlıkları elde edilmekte, böylece sonucun ortaya çıkmasında hangi ölçüde payları olduğu belirlenmektedir. Duyarlılık analizi ile ağırlıklarda olabilecek değişikliklerin en iyi seçeneği ve faktörlerin önem derecelerini nasıl değiştireceği görülebilmektedir.

Bu çalışmada bir çok amaçlı karar verme yöntemi olan Analitik Hiyerarşi Proses yöntemindeki ikili karşılaştırma süreci ve hesaplamalar, klasik yöntem ve bulanık yöntem kullanılarak bir örnek üzerinde ayrı ayrı uygulanarak karşılaştırılmıştır. Örnek çalışmada deneklerden, değişik şekillerin alansal karşılaştırmasını yapmaları istenmiştir. Bu çok kriterli karşılaştırma sürecinde kullanılan iki yöntemden elde edilen sonuçlar gerçek değerler ile karşılaştırılarak başarım karşılaştırması yapılmıştır.

İkinci bölümde karar verme, karar vermenin temel kavramları, karar verme süreci, çok ölçütlü karar verme, çok ölçütlü karar verme yöntemlerine değinilmiş, bunlardan sonra Analitik Hiyerarşi Proses yönteminin genel tanımı yapılarak hiyerarşi tasarımı, ikili karşılaştırmalar matrisi, yöntemde kullanılan ölçüm skalası ve yöntemin hesaplama prosedürü ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde ise bulanık mantık kavramı, tarihçesi, temelleri anlatılmış, bulanık mantığın geleneksel mantık ve geleneksel küme kavramları ile karşılaştırması yapılmış, bulanık mantık kontrol sistemleri ve bulanık matematiğin temel özellikleri verilmiştir.

Dördüncü bölümde bulanık çok ölçütlü karar verme durumuna değinilmiş, Bulanık Analitik Hiyerarşi Proses Yöntemleri anlatılmış ve bu yöntemler arasında değerlendirme yapılmıştır. Ayrıca bu bölümde, literatürde Bulanık Analitik Hiyerarşi Proses yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalara da değinilmiş ve bu çalışmaların kısa özetleri sunulmuştur.

Beşinci bölümde ise yapılmış olan anket çalışması, Analitik Hiyerarşi Proses yöntemindeki ikili karşılaştırma sürecinin klasik ve bulanık olarak değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Sonuçların gerçek değerlere ne ölçüde yakın olduğu Hadamard Çarpımı yöntemi ile hesaplanmıştır.

BÖLÜM 2. KARAR VERME ve ANALİTİK HİYERARŞİ PROSES (AHP)

İnsanoğlu varoluşundan bu yana karar verme sorunu ile karşı karşıya kalmıştır. Genellikle savunulanın aksine, çoğunlukla karar verme aşamasında mevcut olan karar teorilerinden yararlanıp düşünce ve inançlarının doğruluğunu irdelemeye çalışmamıştır. Genellikle bireyler kendi değer sistemlerini ve ne istediklerini tam olarak bildikleri inancında olduklarından başka birinin, tamamen kendilerine ait bir takım düşünceleri düzenleyip daha iyi karar vermelerine yardımcı olacaklarına inanmazlar. Buna karşın, yapılan araştırmalar ise, insanoğlunun beyin kapasitesinin karmaşık kararların etkin ve sezgisel bir şekilde sentezini gerçekleştirmeye yeterli olmadığını ortaya koymaktadır.

Karar verme, mevcut verileri değerlendirerek durumu kavrama ve alternatif seçeneklerin getireceği sonuçları gözden geçirerek en uygun seçimi yapmak olarak tanımlanabilir. Karar verme problemi, günlük yaşamımızda karşımıza sıkça çıkan sorunlardan birisidir. Vermek zorunda olduğumuz kararlar bazen basit bazen de derinlemesine düşünmeyi ve gözden geçirmeyi gerektirir. Amaçlarımıza ulaşmak için karşımıza çıkan seçenekler arasında hep seçim yapmak durumunda kalırız. İnsanoğlu bu seçenekler arasından en iyi seçimi yapabilmek için bedenen ve zihnen bir çaba harcamakta bazen de çevresinden yardım almaktadır. Bu bağlamda iyi bir karar;

✓ Mantığa dayanmalı,

✓ Tüm mevcut kaynakları kullanmalı,

✓ Tüm olası seçenekleri incelemeli,

✓ Sayısal bir yöntem uygulamalıdır.

Hepimizin bildiği gibi aslında karar verme işlemi, her biri bir dizi istenen amacı gerçekleyen çeşitli seçenekleri değerlendirip aralarından tüm amaç setimizi en iyi gerçekleyeni bulmaktan ibarettir. Böylesi bir seçim yaparken önce seçeneklerin alt amaçları gerçeklemedeki göreli değerlendirmesi, alt amaçlarında daha üst düzey amaçları gerçeklemedeki göreli değerlendirmesi vs. saptanmalıdır. Çünkü ancak bu şekilde seçeneklerin en üst düzeydeki amaca hizmet etmedeki göreli etkinliklerini yansıtabilecek sayısal değerleri saptayıp bu değerleri kaynaklarımızı tahsis etme sırasında kullanabiliriz (Evren ve Ülengin 1992b).

2.1. Karar Vermenin Temel Kavramları

Karar vermenin temel kavramları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Evren ve Ülengin 1992a).

2.1.1. Amaç

Amaç, ölçütlerin karar vericinin arzuları doğrultusunda yönlendirilmiş şekli olarak tanımlanabilir. Karar vericinin istek ve arzularını ifade eder.

Amacın daha da somutlaştırılarak belirli değerlere dönüştürülmüş şekillerine de hedef denilmektedir. Bir örnekle açıklayacak olursak bir mağaza için günlük satış cirosunun yüksek olması isteği mağazanın amacını, günlük 1000 YTL ciroya ulaşma isteği ise mağazanın hedefini temsil etmektedir.

2.1.2. Ölçütler

Ölçütler, karar verme sürecini yönlendiren ölçütler, kurallar ve standartlardır. Diğer bir ifadeyle ise ölçütler amacın ölçüleridir. Seçenekleri bakış açısı ile ele alarak ve analiz ederek seçimler veya sıralamalar yapmamızı sağlar. Yeni bir buzdolabı almak isteyen bir kişi için buzdolabının fiyatı, enerji tüketimi, iç hacmi gibi unsurlar bu kişi için ölçüt olarak örneklendirilebilir.

2.1.3. Seçenekler

Karar verme probleminin ortaya çıkış nedenini oluşturmaktadırlar. Bir başka ifadeyle karar verme için hammadde oluşturur.En az iki seçenek arasında yada bulunan seçenekler arasından bir amaç doğrultusunda belirlenen ölçütleri değerlendirerek en iyi veya en iyilerinin seçimi gerçekleştirilir.

Seçenekler iki şekilde incelenebilir

- Seçenekler sonlu veya sayılabilir olduğu durumda
- Seçenekler sonsuz veya yeterince çok olduğu durumda

Seçenekler sonlu ve sayılabilir olduğu durumda her bir seçenek bireysel olarak listeler halinde ifade edilir. Sonsuz ve yeterince çok olduğu durumda ise matematiksel ilişkiler yardımıyla değerlendirme yaparak ifade edilir.

2.2. Karar verme süreci

Karar verme süreci, kararı etkileyen faktörlerin gerçekleşme olasılıklarından, seçeneklerin sonuçlarının tam olarak bilinip bilinmemesinden ve hangi seçeneğin en iyi olduğunun belirlenebilmesi için elde yeterli bilginin olup olmamasından önemli ölçüde etkilenir. Karar verme süreci aşağıda açıklanacağı üzere aşamalardan oluşmaktadır.

2.2.1. Karar verme sürecinin aşamaları

Karar alma süreci belirli adımlardan oluşur. Bu adımlar detaylı olarak şu şekilde sıralanabilir;

- ✓ Amacın belirlenmesi
- ✓ Kontrol edilebilen değişkenlerin belirlenmesi

✓ Kontrol edilemeyen değişkenlerin belirlenmesi

✓ Kısmi kontrol edilebilen değişkenler ve onların kontrol edilebilen değişkenler ile olan ilişkisinin belirlenmesi

✓ Amaca bağlı olarak her bir mümkün kararın (seçenek veya her bir kontrol edilebilen eylemin değeri) etkisinin belirlenmesi

✓ Kararın verilmesi

✓ Sonuçların yorumlanması

✓ Sonraki çalışma zamanı için karar sürecinin yinelenmesi

Karar verme süreci en basit şekilde ise üç adımda incelenebilir.

1. Bilgi toplama aşaması: Sorunun ne olduğunun detaylı olarak araştırılarak belirlenmesi.

2. Tasarım aşaması: Sorunun nedenlerine bakarak çeşitli çözüm önerilerinin geliştirilmesi.

3. Seçim aşaması: Tasarım aşamasında geliştirilen çözüm önerilerinin içinden en uygun bir veya birkaçının seçilmesi

Karar verme süreci esnasında yapılabilecek muhtemel hatalardan birisi bazı seçeneklerin değerlendirilmemesi olabilir. Dikkate alınmayan bir seçenek verilebilecek en iyi karar niteliği taşıyor olabilir. Diğer bir hata ise seçenekleri değerlendirdiğimiz ölçütlerden birinin incelenmemesi olabilir. Bunun neticesi ise kararımızın mantıklı olmamasına ve istenilmeyen sonuçlara neden olur.

2.3. Çok Ölçütlü Karar Verme

Çok ölçütlü karar verme (ÇÖKV) genelde birbiriyle çelişen ölçütlerin varlığında karar vermeyi içerir. Çok amaçlı karar vermeden (ÇAKV) farkı çok maçlı karar vermede sürekli olan karar uzayının çok ölçütlü karar vermede kesikli olmasıdır. Yani çok ölçütlü karar vermede belirli ve sonlu sayıdaki seçenekler arasından seçim yapılırken çok amaçlı karar vermede kısıtlar tarafından daraltılan bir uzayda en iyi nokta aranır (Kabak, 2003).

ÇÖKV'nin temel unsurları alternatifler, birden çok ve genelde birbirleriyle çelişen ölçütler, farklı ölçekler, karar ağırlıkları ve karar matrisidir.

Alternatifler karar vermede göz önüne alınan ve en sonunda bir veya bir kaçı üzerinde uzlaşılarak seçilen seçeneklerdir. Alternatifler deyince akla adaylar ve işlemin sebebi gelmelidir. ÇÖKV için önemli olan unsur alternatiflerin sonlu sayıda olmasıdır.

Ölçüt, karar verme işleminde alternatifleri değerlendirmek için kullanılan alternatiflerin özellikleridir. Bir ÇÖKV probleminde birden çok ölçüt olmalıdır. Ölçütlerin çok fazla olduğu durumlarda ölçütler hiyerarşik bir yapı ile temsil edilebilir. Ana amaç, ölçütleri temsil etmek için başlıca ölçütleri belirlemek ve bu ölçütlerle ilişkilendirilerek diğer alt ölçütleri ve bunların da alt ölçütlerini belirleyerek bir yapı oluşturmaktır.

ÇÖKV'de bir çok ölçüt genelde birbiriyle çelişir. Aksi halde aynı ölçüt ile gösterilmeleri gerekebilir. Bunun bir uç durumu olan tüm ölçütlerin benzer olmasında, tüm ölçütler sadece bir ölçüte indirgenebilir ve çok ölçütlü karar verme yapısına uymayabilir.

ÇÖKV'de genelde ölçütlerin ölçülmesi için gerekli ölçekler birbirinden farklıdır. Bu yüzden ölçütlerin tümünü dikkate alarak bir toplu puan elde etmek ÇÖKV için çok önemli bir aşamadır.

2.3.1. Çok ölçütlü karar sorunlarının temel özellikleri

Çok ölçütlü karar sorunlarının temel özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Karşılaştırılamama durumu: Bir seçenek diğer bir seçenekten belli bir ölçüte göre daha iyi ve başka bir ölçüte göre ise bu seçenekler arasında aksi bir durum söz konusu ise hangi seçeneğin doğru olduğuna karar vermek için ek bilginin olması gerekir. Böyle bir bilgi karar vericinin tercihlerine bağlıdır. Bu nedenle karar vericinin tercihlerini de içinde bulunduran ek bir modellemeye ihtiyaç duyulmaktadır.

2. Optimal çözümün olmaması: Çoğu karar sorununda bir seçeneğin tüm ölçütlere göre diğer tüm seçeneklerden üstün olduğu bir durumla karşılaşılmaz. Bu nedenle sorunlar matematiksel olarak çok net tanımlanamaz.

3. Uzlaşık çözüm: Net olarak tanımlanamayan durumlarda uzlaşık çözüm elde edilir. En iyi uzlaşık çözümün bulunması ise karar analistinin karar verici ile etkileşimiyle olur.

4. Genel en iyi uzlaşık çözümün olmaması: Tek ölçütlü sorunların evrensel optimal çözümleri vardır, ancak çok ölçütlü sorunlarda bu söz konusu değildir. En iyi uzlaşık çözümler özneldir, karar vericilere bağlıdır.

2.3.2. Çok ölçütlü karar verme yöntemleri

Doğru kararın verilebilmesi için doğru yöntemin seçilmesi gereklidir. Vereceğimiz karar bizim çok sayıdaki amacımızı karşılamalı ve hepsinin değerlendirilmesiyle elde edilmelidir.

Çok sayıda ÇÖKV yöntemi bulunmaktadır. Bunların arasında, Analitik Hiyerarşi Proses (AHP), Analitik Network Proses (ANP), Etkileşimli Beklenti Düzeyi Yaklaşımı (AIM), Electre, Hedef Programlama, v.b. sayılabilir.

Analitik Hiyerarşi Proses, çok sayıda ölçütün bir ölçütler hiyerarşisinde ikili karşılaştırılması şeklindedir. Bu karşılaştırmaların tutarlı olduğu sonucuna varılırsa, karşılaştırma sonuçları en alt kademeden en üst kademeye doğru taşınır ve tüm seçeneklerin ihtiyaçlarımızı ne derecede karşıladığı belirlenir.

Analitik Network Prosesi , çok sayıda ölçütün bulunduğu bir durumda ikili karşılaştırma esasına dayanmaktadır. Bu karşılaştırmalar sonucu her bir seçenek için ağırlıklar belirlenmektedir. ANP'nin bağımlılık ve geribildirim özellikleri nedeniyle hiyerarşi içerisindeki ölçütler diğer ölçütlere bağlı oldukları gibi, aynı zamanda kendi içlerinde de bağımlılık gösterebilmektedir Karşılıklı veya tek yönlü bu etkileşimler, AHP'deki hiyerarşik yapıdan farklıdır. Seviyeleri ortadan kaldırarak oluşturulan ağlarla bir örümcek ağı yapısını andırmaktadır.

Etkileşimli Beklenti Düzeyi Yaklaşımı, Prof. Vahid Lotfi ve Stanley Zionts tarafından geliştirilmiş eklektik bir yaklaşımdır. Çok sayıda seçenek çok sayıda karar ölçütü ile değerlendirilir. AHP'den farklı olarak tek aşamalıdır. Tüm ölçütler aynı seviyede değerlendirilir. Ölçü birimleriyle (zaman, adet, hız, para v.b.) ölçülebilen değişkenlerin sayısal değerleri artan, azalan ve hedef olarak belirtildikten sonra tüm seçenekler ölçütler açısından değerlendirilir ve en uygun seçenek belirlenir.

Electre yönteminde diğer yöntemlerde olduğu gibi birden çok amaç ve seçenek vardır. Tüm seçenekler ölçütler açısından incelenip sayılarla ifade edildikten sonra kendi aralarında ikili olarak ölçütleriyle beraber değerlendirilir. Bu, seçeneklerin değerlerinin birbirine göre üstünlüğü açısındandır. Bu yol ile uyumluluk matrisi hesaplanır. Daha sonra 1. ve 2. uyumsuzluk matrisleri hazırlanarak (p) uyumluluk ve (q) uyumsuzluk eşiklerinin ardında kalan değerler ile yeni bir matris oluşturulur ve buradan yola çıkarak en uygun seçenek belirlenir.

2.4. Analitik Hiyerarşi Proses (AHP) Yaklaşımı

2.4.1. Genel tanım

Bir karar verme sürecinde temel problem; birbiri ile çelişen ölçütlere göre değerlendirilen seçenekler kümesinden en iyi seçeneği belirlemektir. Bu amaca yönelik olarak geliştirilmiş karar verme yöntemlerinin büyük bir bölümü, sadece nicel ölçüleri kapsamaktadır. Oysa gerçek hayatta karar verme süreci yarı nicel ya da nitel ölçütlerden önemli ölçüde etkilenmektedir (Yuluğkural, 2001).

Çeşitli olaylar karşısında karar verme durumlarında karar vericiler, çoğunlukla karşılıklı ilişkiler içerisinde bulunan unsurlara sahip karmaşık sistemlerle yüz yüze gelmektedirler. Bu karmaşık yapıya getirilecek yaklaşım ne kadar gerçekçi ve isabetli ise verilecek karar da o derece etkin ve isabetli olacaktır.

Saaty (1976) tarafından otaya konulan Analitik Hiyerarşi Proses (AHP) Modeli; insanların nasıl bir karar vermeleri gerektiği hususunda bir metot kullanma zorunluluğu yerine, onları, kendi karar verme mekanizmalarını tanıma imkanına kavuşturarak daha iyi karar vermelerini amaçlamaktadır.

AHP yönteminin dayandığı teori, gerçekte insanoğlunun hiçbir şekilde kendisine öğretilmemiş olmasına rağmen tamamen içgüdüsel olarak belirlediği karar mekanizmasını yansıtır. Çok sayıda ve birbirleri ile ilişkili öğeler seti ile karşılaşıp, bunların ancak bir kısmını kontrol altında tutabileceğimizi anladığımızda çoğunlukla içgüdüsel olarak söz konusu öğeleri, belirli bir takım ortak özelliklere sahip olup olmamalarına bağlı olarak, gruplar halinde birleştirmeye çalışırız. İşte Analitik Hiyerarşi Prosesin temelde gerçeklemeyi amaçladığı da, insanoğlunda doğuştan var olan bu gruplara ayırmaya yönelik beyinsel faaliyet sürecini taklit edip, söz konusu grupları sistemin belli bir düzeyinin öğeleri olarak yansıtmaktır. Bu gruplar, daha sonra bir başka özellikler kümesine göre yine kendi aralarında gruplandırılıp sistemin bir üst düzeyini oluştururlar ve bu süreç sistemin en üst düzeyine, bizim karar verme sürecimizin ana gayesini oluşturan öğeye ulaşana kadar devam eder. Diğer bir deyişle sürecin ilk adımı, karar verme probleminin olabildiğince ayrıntılı olarak ortaya konması ve daha sonra hiyerarşi olarak adlandırılan ve her biri bir dizi öğeden meydana gelen katmanlar halinde incelenmesidir. Bundan sonra yapılacak olan işlem, en alt düzeydeki hiyerarşinin kapsamındaki öğelerin en üst düzeyde bulunan ve bizim ana amacımızı ortaya koyan öğe üzerindeki göreli etkilerinin saptanmasıdır. Bunun belirlenmesi ise karar verme probleminin her hiyerarşik düzeyi için ileride açıklanacak olan bir dizi ikili karşılaştırma ve göreli ağırlıkların bulunmasına dayanır. Özetle AHP insanoğlunun karmaşık bir problemi nasıl algılayıp biçimlendirdiğini gözler önüne seren bir modeldir (Evren ve Ülengin 1992b).

AHP'nin temelinde sistem yaklaşımı kuramı mevcuttur. Bir sistemin yapısı ve işlevleri, birbirinden ayrılmaz bir bütün teşkil eder. AHP bu yapı-işlev bileşkesini bir bütün olarak eşanlı bir şekilde irdelemeye yöneliktir. Sürecin kullandığı hiyerarşiler sistem yapısını oluşturan öğelerin birbirleri ile olan işlevsel ilişkilerini ve tüm sistem üzerindeki etkilerini saptamak amacı ile söz konusu yapıyı ortaya çıkarmak üzere oluşturulur. Hiyerarşiler çeşitli şekilde olabilir fakat hepsi bir ana amaçtan başlayıp, alt amaçlara, bu alt amaçları etkileyen kuvvetlere, kuvvetlere tesir eden kişilere, onların amaçlarına, politikalarına, stratejilerine ve son olarak da söz konusu stratejilerin çıktılarına doğru bir iniş gösterirler. AHP'nin kullanılabilmesi için katedilmesi gereken ilk aşama sistem işlevlerini hiyerarşik bir yapıda ortaya koymak olacaktır. Bundan sonraki aşama ise hiyerarşideki herhangi bir öğenin etkilerini saptamaya yönelik bir ölçüm tekniği kullanmaktır.

Analitik hiyerarşi yöntemi, bir grup veya komisyonun birlikte karar vermek durumunda oldukları karar problemlerinde uygulanmaktadır.

AHP, öğeleri arasında karmaşık ilişkiler sergileyen sistemlere ait karar problemlerinde; sistemi alt sistemleriyle ilişkili hiyerarşik bir yapıda oldukça basitleştirerek ifade edip, sezgisel ve mantıksal düşünceyle irdeleyebilen bir yaklaşımdır. Ayrıca Karar Destek Sistemi olan Expert Choice'ın sağlayabildiği olanaklar sebebiyle de; Pazarlama Karması Optimizasyonu, Gemi Seçimi Sağlık Kurumu Seçimi, Kent içi Ulaşım Problemleri, En İyi Bölge Seçimi ve Tedarikçi Seçimi gibi geniş bir problem yelpazesine çözüm üretebilir niteliktedir. (Yuluğkural, 2001). Bunların yanı sıra AHP'nin diğer yöntemlerle bütünleştirilerek uygulanmasında büyük artış görülmüş ve karar verme problemlerine büyük ölçüde; AHP ve Hedef Programlama, AHP ve Veri Zarflama Analizi ve AHP ve Bulanık Mantık yöntemleri birlikte uygulanmıştır. Bu çalışmalarda yer seçimi, üretim, yatırım, enerji ve kalite kontrol vs. konuları ile ilgili karar verme problemlerine AHP ile birlikte diğer yöntemler bütünleşik olarak uygulanmıştır (Dağdeviren ve diğ., 2004).

Yukarıda da belirtildiği gibi, AHP değişik alanlardaki karar problemlerine sahip kişiler tarafından kabul görmüş esnek bir modeldir. Kişi ve gruplara kendi varsayımlarını değerlendirerek bunlardan yararlı sonuçlar çıkarma olanağı sağlar. Yargıları ve öznel değerleri mantıksal bir şekilde birleştirip problemin hiyerarşisini oluşturma, çözümün duyarlılığını ve bilgideki değişimleri sınama yeteneğine sahiptir.

Analitik hiyerarşi ve ölçüm prosesinin kriterlerin önemini belirlemede kullanılan diğer yaklaşımlardan temel farkı, bazı kompleks, çok kriterli, çok elemanlı ve çok periyotlu problemleri hiyerarşik bir şekilde yapılandırmasıdır. Hiyerarşinin her bir düzeyindeki öğeler, bir üst düzeyde bağlı oldukları öğe baz alınarak karşılaştırıldığında çift yönlü ağırlık matrisleri elde edilir. Bu matrislerin normalize edilmiş özvektörleri ise, hiyerarşik yapıyı son düzeyin ağırlıklarına indirgeyerek karmaşık yapıya çözümlenebilir basitlik sağlar.

Saaty modelin adında ifadesini bulan analitik, hiyerarşi, proses (süreç) kelimelerini de şu şekilde açıklamıştır.

Analitik: Mantık yolunu, matematik ifade işlemlerini, temel bilim teorilerini ve yöntemlerini kullanan her yöntem analitik olarak kabul edilir. Sonuçta, bu yöntemle alınan kararların kabul gömesi ve anlaşılması şansı çok yüksektir.

Hiyerarşi: Kişinin sorunu kavrayışına bağlı olarak amaçlar ve kriterler, alt kriterler ve alternatifler arasındaki deterministik sistematik ilişkiyi karakterize eder. Karar verecek olan kişinin problemi parçalara ayırmak suretiyle, her aşamada küçük karar kümeleri üzerine daha fazla dikkatini vermesini sağlar. Karmaşık, zor durumlarda hiyerarşi seçimi ve kullanımı oldukça önemlidir.

Proses: Belirli olaylar ve etkinliklerin gerçekleştiği ortamdır, aşamadır. Bir çok problemle ilgili uygun kararların tek aşamada alınamadığı herkesçe bilinir. AHP modelinde de uygun çözüm birçok aşamada alınır. İsabetli uygun karar için birbirlerini izleyen süreçler gerekir; problem hakkında bilgi toplamak, kısıtları, modeli, çözüm algoritmasını belirleme gibi aşamalar, süreçler gerekir. Bu yönde, karar problemleri öncelikle öğrenme, tartışma ve önem ve öncelikleri belirleme, ayıklama süreçlerini kapsar (Yuluğkural, 2001).

Karar vericinin, problem ile ilgili ne hakkında karar vereceğini bilmesi çoğunlukla karar verme hususunda yeterli değildir. Kara verme ortamında, doğru karar için ne gibi verilerin de olduğunu bilmek gerekir.

2.4.2. Hiyerarşi tasarımı

Amaçlar veya fikirler ve ayrıca bunlar arasında ilişkiler tanımladığımızı düşünürsek, herhangi bir şeyi tanımlarken, karşılaştığımız karmaşayı ayrıştırırız. İlişkileri ortaya koyduğumuzda bunları sentezleriz. Bu sezgisel esasa dayanan temel bir süreçtir: ayrışma ve sentez. Buradan hareketle, hiyerarşi, bir sistemin yapısını, elemanlarının fonksiyonel etkileşimlerini ve sistem bütününden farklılıklarını araştıran bir ayrışmadır diyebiliriz (Yuluğkural, 2001).

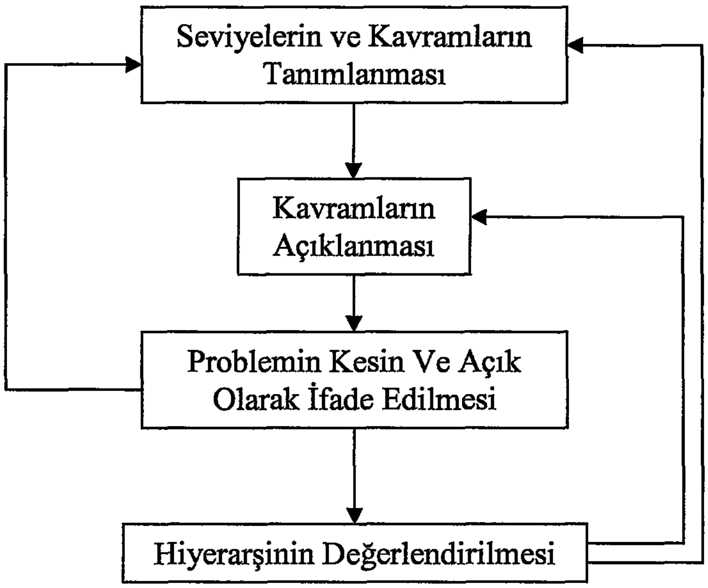
Hiyerarşi aslında özel bir sistem tipidir ve ortaya çıkarılan birimlerin ayrı ayrı birimler halinde gruplanabileceği ve bir gruba ait öğelerin diğer gruptaki öğeleri etkileyeceği varsayımına dayanır. Bir gruba ait öğeler ise birbirinden bağımsız olarak kabul edilir. Eğer bunlar arasında da karşılıklı ilişkiler varsa önce bağımsızlık sonra bağımlılık incelenip birleştirilir. Bir hiyerarşide mutlaka belirli bir düzeydeki bir öğenin, o düzeyin bir altındaki tüm öğelerle ilişkisi olması gerekmez. Her düzey, probleme ilişkin farklı bir kesiti yansıtabilir. Bir düzey sosyal öğeleri ortaya koyarken diğeri sosyal olmayan öğeler cinsinden değerlendirilerek politik öğeleri temsil edebilir. Ayrıca, karar verici söz konusu sisteme yeni düzey veya öğeler ekleyip çıkartabilir ve bu şekilde göreli önemleri daha belirginleştirmek veya sistemin bir veya daha fazla parçası üzerinde yoğunlaşmak isteyebilir. Hatta tüm öğelerin göreli önceliklerinin hesaplanmasından sonra daha az önemli olan öğeler ana amaç üzerinde daha az etki yaptıklarından sistemden çıkarılabilir ve göreli öncelikler tekrar hesaplanabilir (Evren ve Ülengin 1992b).

Hiyerarşi, insan beyninin karmaşık durumları nasıl analiz ettiğini gösteren bir modeldir. Uygulamada hiyerarşiye dahil edilecek ölçüt ve öğeleri oluşturmak için belirli bir yöntem olmamasına karşın, konu ile ilgili tüm kaynakların gözden geçirilmesi veya konu ile ilgili kişilerle beyin fırtınası yapılması önerilebilir.

AHP' de karar uygulamaları iki safhada yerine getirilir; hiyerarşi tasarımı ve değerlendirme. Hiyerarşilerin tasarımı, problem bölgesi hakkında bilgi ve deneyim gerektirir. İki karar verici, aynı problem için, doğal olarak iki farklı hiyerarşik yapı oluşturacaktır. Bu nedenle hiyerarşi tek olamaz. Bunun aksine, iki kişi hiyerarşiyi tamamen aynı tasarladığında, bu kişilerin tercihleri çalışmaya farklı bir yön kazandırabilecektir. Bununla birlikte, bir grup insan, hiyerarşinin tasarlanması ile düşünce ve değerlendirmelerin ortaya konmasında, fikir birliğine varmak için birlikte çalışabilirler (Yuluğkural, 2001).

Hiyerarşi oluşturulurken dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, öğeleri değil seviyeleri oluşturmaktır. Seviyeleri doğru sınırlarla belirlemek önemli ölçüde öğelerin de doğru seçilmesine olanak sağlar.

AHP' nin yürütülmesindeki bu safha, sırasız ilişkilendirilmiş üç işlemi kapsar: seviye ve eleman tanımlama, kavram açıklama ve konunun kesin ve net bir şekilde ifade edilmesi. Şekil 2.1, hiyerarşi tasarımının bu üç elemanı arasındaki ilişkiyi özetlemektedir.



Şekil 2.1. Hiyerarşi Tasarımı (Yuluğkural, 2001).

İlk adımda seviyeler ve kavramlar, seviye içinde tanımlanmıştır. Bunlar daha sonra açıklanmış ve konunun açık bir şekilde ifade edildiği aşamada kullanılmıştır. Eğer karar verici bu soruları yanıtlamada herhangi bir problemle karşılaşırsa, bu seviye ve kavramlara göre yeniden gözden geçirilip düzeltilmelidir. Hiyerarşik tasarım, yanıtlanmış olan sorular ve cevapların, sorularla çağrışım yapması, hiyerarşideki elemanların ve seviyelerin saptanması kavramlarında tekrarlanan bir süreçtir. Sorgulama prosesindeki belirsizlikler, karar vericinin yanlış kriter veya alternatifi seçmesine yol açabilir. Tüm sorular, varoluş bilgisiyle tutarlı ve cevaplanabilir nitelikte olmalıdır.

Genel pratik yönteme göre, hiyerarşi, genelden (üst seviyeler) özele (alt seviyeler) veya şüpheli ya da idare edilemeyenden (üst seviyeler) daha kesin ya da idare edilebilene (alt seviyeler) doğru genişletilmiştir. Planlamanın İleri-Geri prosesi, zaman ve dikkatli inceleme gerektiren bir süreçtir.

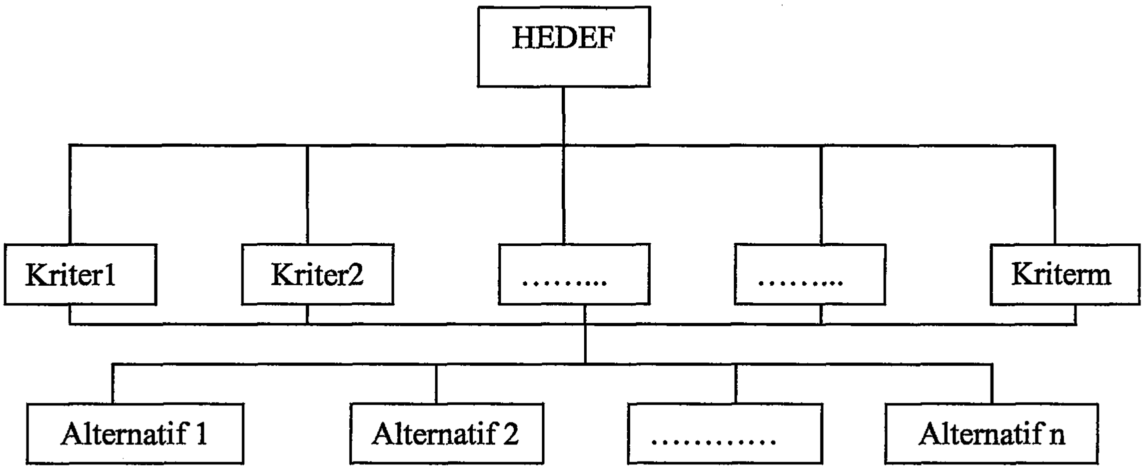
Planlama, belirlenen hedefe ulaşmak için, ihtiyaçların tanımlanması ve kaynakların tahsisinde kullanılan bir süreçtir. İleri proses, şuandan başlar ve zaman düzlemleri, çevresel senaryolar, menfaat sahipleri, menfaat sahiplerinin amaçları, hareket tarzları ve gösterim senaryoları gibi seviyeleri içeren hiyerarşi boyunca geleceğe doğru uzanır. Geri Proses, (arzu edilen) gelecekten, şimdiye doğru, arzu edilen senaryolar, sorunlar-fırsatlar, menfaat sahipleri, hedefler (isteğe bağlı, seçmeli) ve hareket tarzları gibi seviyeleri içeren hiyerarşi boyunca uzanır.

Her iki hiyerarşi değerlendirilmiştir. Geriye doğru prosesteki hareket tarzları, ileri doğru prosesteki hareket tarzlarıyla ağırlıkları veya önceliklerine ve hareket tarzlarının tipine göre karşılaştırılmaktadır. Eğer bunlar eşitse veya yaklaşık olarak aynıysa süreç durdurulur. Bununla birlikte, eğer geriye doğru prosesteki hareket tarzları, ileriye doğru prosesteki hareket tarzlarıyla aynı eğilimde değilse bunlar gruba ilave edilirler. Gösterim senaryoları, tasarlanmış gelecekteki hareket tarzlarına olan etkisini belirten yeni hareket tarzları dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Eğer tasarlanan gelecek, arzu edilen geleceğe yakınsa süreç durdurulur.

Geriye doğru proses yaratıcı bir süreçken ileriye doğru proses bir değerlendirme prosesidir. Geriye doğru proseste oluşturulan hareket tarzları, tasarlanan gelecek üzerindeki etkilerini saptamak üzere ileriye doğru proseste değerlendirilir. Bu süreç özellikle, alternatiflerin hareket tarzını veya zıtlaşan grupların etkisini inceleyen zıtlaşma çözüm bölgesinde ve bu iki harekete yol gösteren senaryolarda yararlıdır (Yuluğkural, 2001).

Alternatiflerin alt amaçları sağlamadaki izafi ağırlıkları tespit edildikten sonra, alt amaçların da esas amacı sağlamadaki izafi ağırlıkları bulunmalıdır. Böylece, alternatiflerin esas amaca hizmet etme noktasında izafi etkinliklerini yansıtabilecek sayısal ağırlık değerleri bulunabilir. AHP modeli, daha önce belirtildiği gibi yalnız nicelik olarak değil nitelik olarak da kriterleri göz önüne alır. Bu durum, farklı düşüncelere ve görüşlere de önem vermeyi gerektirir. Konuya bu açıdan bakıldığında, çeşitli hiyerarşilerin tamamı esas amaçtan başlamak üzere alt amaçlara ve onu etkileyen faktörlere, faktörleri etkileyen kişilere kişilerin amaçlarına, stratejilerine, menfaatlerine, v.s. doğru ayrılmaktadır.

Şekil 2.2 hiyerarşik yapının genel ve basit bir halini göstermektedir.



Şekil 2.2. AHP Modelinin Hiyerarşik Yapısı (Saaty 1980)

2.4.3. İkili karşılaştırmalar matrisi

İkili karşılaştırmalar, AHP' de temel yapı taşlarıdır. İki öğe için göreli tercihleri belirtirken, AHP, 1'den 9'a kadar değerler içeren bir temel skala kullanır. Karar vericinin sözlü tercihleri için önerdiği sayısal değerlendirmeler tabloda görülmektedir. İki öğe arasında yapılan tercihte, ayırt etmekte kullanılan 9-birim skalası araştırma ve deneyimle yerleşmiştir (Saaty 1980).

AHP karar probleminin kendi hiyerarşisi içinde, karara etkili olabilecek tüm kriterler hakkında görüş sahibi olmamız mümkündür. Bu işi gerçekleştirmenin en etkin yolu ise faktörleri ikişer ikişer ele alıp, onları her bir kriter altında değerlendirirken diğer kriterlerle geçici bir süre ilgilenmemektir. Karşılaştırmak istediğimiz ve önem değerleri w olarak ifade edilen, w_1, w_2, w_3, ...w_n olan n tane ayrı alternatif olduğunu varsayalım. Her alternatifin diğerlerine ağırlık nispeti matris satırları şeklinde yazılır. Bu durumda karşılaştırılan her iki alternatifin birbiriyle karşılaştırmalı olarak ağırlıkları tespit edilebilir. Örnek olarak, A1 alternatifi, A2 alternatifinin 5 katı ağırlığında olması, aynı zamanda A2 alternatifinin A1 alternatifine göre 1/5 ağırlığında olduğunu da gösterir.

	A_1	A_2	.	.	A_n
A_1	W_1/W_1	W_1/W_2	.	.	W_1/W_n
A_2	W_2/W_1	W_2/W_2	.	.	W_2/W_n
.	.	.	.	.	.
			.	.	.
A_n	W_n/W_1	W_n/W_2	.	.	W_n/W_n

Şekil 2.3. İkili Karşılaştırmalar Matrisi

Şekil 2.3.'de yer alan İkili karşılaştırmalar matrisi, elemanları $a_{ij}=w_i/w_j$ (i,j=1,2,3,…,n) olan bir A matrisi oluşturulabilir. İdeal bir matriste tüm a_{ij};w_i/w_j değerine eşit, pozitif ve ters çevrilebilir ($a_{ji}=1/a_{ij}$) olmalıdır.

AHP model olarak, hiyerarşik düzeyinde, bir düzeyin tüm kriterleri ile bir üst düzeydeki tek bir kriterin veri olarak alınıp alt düzeydeki tüm kriterlerin üst düzey kriterleri üzerindeki izafi etkileri bakımından ikişerli olarak karşılaştırılıp, Şekil 2.3.`de görüldüğü gibi bir matris oluşturulmasına ve bu matrisin en büyük özdeğere sahip özvektörünün bulunması esasına dayanmaktadır.

2.4.4. Ölçekler

Karar verme, yargılara atanan ağırlıklar üzerinde birtakım aritmetik işlemlerle yapılan değiş-tokuş işlemini içerir. Çok kriterli sorunlarda ağırlıklar üzerinde uygulanan aritmetik işlemlerin türü çok önemlidir, çünkü ölçümlerin keyfi şekilde toplanıp çarpılması mümkün değildir. Ölçümlerin ve aritmetik işlemlerin yapılabileceği dört tip ölçek vardır (Felek, 2005).

1. Nominal Ölçek: Genel olarak nesnelere etiketler atamak suretiyle gerçekleştirilen ölçüm şeklidir. Belirli bir kimlik kazandırma amacı ile kullanılır ve temsil ettiği eleman hakkında herhangi bir tercih yada sıra bilgisi vermez. Bir kişiye ait vergi sicil numarası, bir işyerine ait telefon numarası veya bir otomobilin rengi örnek olarak verilebilir.

2. Sırasal Ölçek: Azalan yada çoğalan numaralar ile ilgilenilen tüm elemanların sıralanmasından oluşan ölçektir. Sayısal sıralar temsil ettikleri elemanın nicel performansı hakkında bir fikir verse de bir üstteki veya bir alttaki eleman ile arasındaki performans farkı hakkında bilgi içermediğinden (bilgi kaybına neden olduğundan) çok kullanışlı değildir. Örnek olarak bir ülkedeki şehirlerin nüfuslarına göre sıralanması durumunda en kalabalık şehre 1, daha az nüfusu olan ikinci şehre 2 gibi sayılar vererek yapılan ölçüm verilebilir. Bilgi kaybına örnek olarak birinci şehirle ikinci şehir arasındaki nüfus farkı 5 milyon kişi iken aralarında benzer şekilde bir sıra farkı olan yetmiş birinci şehir ile yetmiş ikinci şehir arasındaki nüfus farkının sadece 500 kişi olması gösterilebilir.

3. Aralık Ölçeği: Aralığa göre ölçme işleminde ilk iki ölçümün anlamının yanı sıra elemanlar arasındaki performans farkı da anlamlı hale gelir.

4. Oran Ölçeği: Oranlar yoluyla ölçmek anlam olarak en yüksek seviyede kullanılan ölçüm şeklidir.Oran ölçeği üzerinde ölçüm yapılması durumunda bir mutlak sıfır noktası kullanılır. Ölçüm değerlerinin oranları birimden bağımsız ve anlamlı olur. Örnek olarak kütle, uzunluk veya Kelvin ölçeği ile sıcaklık ölçümü verilebilir.

Oran ölçekleri ile somut eylemlerden oluşan seçeneklerin soyut kriterler ve değerler ile ilişkilendirilmesi mümkündür. Bu somut ve soyut varlıklar daha üst değerler ve amaçlarla ilişkili olabilirler; hatta ilişkili olma durumu belli bir kararın odağı olan amaca kadar uzanabilir. Somut kriterlerin seçeneklerinin belli ölçüm değerleri varsa bunlar yapıya göreli biçimde dahil edilebilir. Örneğin bir araba alımı sorununda, arabanın gerçek fiyatının karşıtı yapıya eklenebilir. Çünkü araba ne kadar ucuzsa maliyet kriterine göre o kadar çok tercih edilecektir. Oran ölçekleri özelliklerinden dolayı bağımlılık ve geri bildirim içeren karar teorilerinin modellenmesi için kullanılabilecek tek araçtır.

2.4.5. Ölçüm skalası

AHP'de ölçme ve karar verme sürecine bakarsak, öncelikle ortaya konulan kriterler ikişerli olarak ele alınarak karşılaştırılır. Karşılaştırmada 1~9 ölçeğine dayalı bir ölçüm skalası kullanılır. Bu skala Tablo 2.1.'de gösterilmiştir.

Bu skalaya göre bulunacak ağırlık değerleri ile ikili karşılaştırmalar matrisi bulunur.

Tablo 2.1. AHP Ölçüm Skalası (Yuluğkural, 2001).

SAYISAL DEĞERLER	TANIM
1	Eşitlik
3	Az önemli (Az üstün olma hali)
5	Oldukça önemli (Oldukça üstün olma hali)
7	Çok önemli (Çok üstün olma hali)
9	Son derece önemli (Kesin üstün olma hali)
2,4,6,8	Ara değerler
Ters Değerler	İkinci alternatifin birinci alternatife olan aynı kriter açısından kıyaslaması

2.4.5.1. Göreli öncelik değeri

Karşılaştırma matrisi, faktörlerin birbirlerine göre önem seviyelerini belirli bir mantık içerisinde gösterir. Ancak bu faktörlerin bütün içerisindeki ağırlıklarını diğer bir deyişle yüzde önem dağılımlarını belirlemek için dört farklı yöntem mevcuttur (Evren ve Ülengin 1992b).

- En Basit ve Sapmalı Yöntem: Her satırın toplamı alınıp, her toplam değeri söz konusu toplamların toplamına bölünür. Böylece cevapların toplamı normalize edilir. Elde edilen vektörün birinci elemanı, birinci ölçütün göreli önceliğini, ikincisi ikinci ölçütün göreli önceliğini vs. verir.

- Daha İyi Yöntem: Her sütundaki elemanların toplamı alınır ve bu toplamların eşlenikleri bulunur. Söz konusu değerlerin toplamını normalize etmek için, her eşlenik eşleniklerin toplamına bölünür.
- İyi Yöntem: Her satırdaki n elemanı birbirleri ile çarpılıp n'inci kökü bulunur. Elde edilen değerler normalize edilir.
- İyi Yöntem: Her sütunun elemanları, o sütunun toplamına bölünür. Elde edilen değerlerin satır toplamı alınır ve bu toplam satırdaki eleman sayısına bölünür. Bu yöntemde karşılaştırma matrisini oluşturan sütun vektörlerinden yararlanılır ve n adet ve n bileşenli B sütun vektörü oluşturulur. Bu vektör şöyledir;

$$B_i = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ . \\ . \\ b_{n1} \end{bmatrix} \qquad (2.1)$$

$$b_{ij} = a_{ij} / \sum_{i=1}^{n} a_{ij} \qquad (2.2)$$

Her faktör için bu işlem tekrarlandığında faktör sayısı (n) kadar B sütun vektörü elde edilecektir. n adet B sütun vektörü bir matris formatında bir araya getirildiğinde ise nxn boyutlu C matrisi elde edilir.

$$C = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & \dots & b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & b_{n3} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix} \qquad (2.3)$$

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

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} \\ w_{21} \\ . \\ w_{n1} \end{bmatrix} \tag{2.4}$$

$$w_i = \sum_{j=1}^{n} c_{ij} \ / \ n \tag{2.5}$$

2.4.6. Tutarlılık oranı

AHP'de anahtar adım, yalnızca tanımlanmış ikili karşılaştırma prosedürünün kullanımı yoluyla önceliklerin hesaplanmasıdır. Verilen hükmün tutarlılığına ilişkin verilen nihai kararın kalitesi göz önüne alındığında önemli olan, karar vericinin ikili karşılaştırmaları sezisi sırasında ortaya koyduklarıdır.

Mükemmel tutarlılığın başarılmasının oldukça zor olduğu açıktır ve hemen her ikili karşılaştırma kümesinde tutarlılık eksikliğinin bulunması beklenen bir durumdur. Tutarlılık sorununu halletmek için AHP, karar verici tarafından verilen ikili hükümler arasındaki tutarlılık derecesini ölçen bir yöntem sağlamaktadır. Eğer tutarlılık derecesi kabul edilebilir düzeyde ise, karar sürecinin devam etmesinde bir sakınca yoktur. Ancak tutarlılık derecesi kabul edilemez düzeyde ise, karar verici analize devam etmeden önce ikili karşılaştırma hükümlerini gözden geçirmeli ve belki de yeniden düzenlemelidir (Saaty 1980).

A matrisinin tutarlı olması için gerekli ve yeterli şart, A' nın en büyük özdeğerinin (λ_{max}), n (matrisin boyutu)' e eşit olmasıdır.

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} a_{ij} w_j}{w_i} \tag{2.6}$$

değerlerinden, "maksimum λ değeri" alınır.

İkili karşılaştırma matrisinde ayrıca tutarlılıktan sapma derecesi, Tutarlılık İndeksi (CI) ile ölçülür. İdeal olan bu değerin sıfıra eşit olmasıdır. Bu, en büyük özdeğerin (λ_{max}), matrisin boyutuna (n) eşit olmasıyla sağlanacaktır.

$$CI = (\lambda_{max} - n)/(n-1) \tag{2.7}$$

Ayrıca bunun yanında, n=1-15 arası Tesadüfi Rassal İndeks (RI) değerleri tablo olarak hazırlanmıştır.

Tablo 2.2 AHP Tesadüfi Rassal İndeks (Saaty 1980)

N	1	2	3	4	5	Ö	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

CI değerinin sıfıra yakınlığı, yargılardaki tutarlılığın bir ölçüsüdür. Asıl kabul tutarlık olan Tutarlılık Oranı (C.R), CI değerini RI değerine bölünmesi ile elde edilir.

$CR = CI / RI$

(2.8)

formülü ile bulunur.

$CR < 0.1$ olması, bulduğumuz sonuçların kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğunu göstermektedir (Saaty 1980).

BÖLÜM 3. BULANIK MANTIK

Her insan günlük hayatında kesin olarak bilinmeyen, bazen de önceden sanki kesinmiş gibi düşünülen, ama sonuçta kesinlik arz etmeyen durumlarla karşılaşır. Bu durumların sistematik bir şekilde önceden planlanarak sayısal öngörülerinin yapılması ancak bir takım kabul ve varsayımlardan sonra mümkün olabilmektedir. Şimdiye kadar yapılan mühendislik araştırmalarında ve modellemelerinde bu varsayım ile kabul ve kavramlara kesinlik kazandırmak için değişik çalışmalarda bulunulmuştur. Halbuki, büyük ölçeklerden küçük ölçeklere doğru geçildikçe incelenen olayların kesinlikten uzaklaşarak belirsizlikler içeren yönlere doğru gitmeleri söz konusudur.

Gerçek dünya karmaşıktır. Bu karmaşıklık genel olarak belirsizlik, kesin düşünceden yoksunluk ve karar verilmeyişten kaynaklanır. Birçok sosyal, iktisadi ve teknik konularda insan düşüncesinin tam anlamı ile olgunlaşmamış olmasından dolayı belirsizlikler her zaman bulunur. Genel olarak, değişik biçimlerde ortaya çıkan karmaşıklık ve belirsizlik gibi tam ve kesin olamayan bilgi kaynaklarına bulanık (fuzzy) kaynaklar adı verilir (Şen, 2001).

1900'lü yılların başında kesinlik esasına dayanan Newton fiziğinin bir çok durumda yetersiz kalması, belirsizliğin bilimin içerisine girmesine olanak sağlamıştır. Moleküler düzeyde ki fizik çalışmalarında ortaya çıkan ve çözüm için farklı bir yaklaşım gerektiren bu ihtiyaç, birbirinden bağımsız istatistik metotlarının gelişimine yol açmıştır. Newton fiziğinde, belirsizliğe yer vermeyen matematiksel analizin rolü istatistiksel mekanikte, olasılık teorisi tarafından karşılanmıştı ve bu teori aslında belirli bir tipteki belirsizliklerin giderilmesini amaçlamaktaydı. Klasik mantığa dayanan analitik yöntemler ile olasılık teorisine dayanan istatistiksel yöntemler birbirini tamamlar nitelikte görünmektedirler. Biri tam belirlilik kabulüyle, diğeri ise rastsallık kabulü ile kendi alanlarındaki problemlerin çözümünde kullanılmaktadırlar.

Bu tamamlayıcılığa rağmen, bu metotlar sadece içinde kompleksiik veya rastsallıktan birini bulunduran problemlerin çözümü için işe yararlar. Waren Weaver bu iki tür problem yapısı için organize edilmiş basitlik ve organize edilmemiş karmaşıklık kavramlarını kullanmış ve bütün sistem problemleri içerisinde bu kavramsallaştırmalara ait problemlerin çok küçük bir yer tuttuğunu ifade etmiştir. Çoğu problem, aslında bu iki uç arasında yer almaktadır. Bu tür sistemler deterministik olamayan, zengin ilişkilere sahip, doğrusal olmayan sistemlerdir. Weaver bu tür problemleri organize edilmiş karmaşıklık olarak kavramlaştırır. Bu sistemler, yaşamda, sosyal bilimler ve çevre bilimlerinde yaygın olduğu kadar tıp ve modern teknolojinin uygulamalarında yaygınca görülürler (Tiryaki, 1998).

Trafikte araç kullanma, hastalık teşhisi, endüstriyel süreçlerin kontrolü, alışveriş yapma gibi günlük hayatta ve çeşitli alanlarda görülen birçok faaliyette belirsiz veri girişleri bulunan ya da karar verme süreci klasik matematikle modellenemeyen durumlar söz konusudur. Organize edilmiş karmaşıklık sınıfina giren bu tip faaliyetlerin bilgisayarlar tarafindan gerçekleştirilmesi çok zor iken, insanlar tarafindan basit dilsel mantık süreçleri ile, kolay ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedirler.

İnsanoğlunun mantık süreçlerinin daha etkin ve hızlı çalışmasının nedeni bulanık bir yapıya sahip olmasıdır. Biraz kısa, uzun, ılık, hafif gibi sınırları tam olarak belirli olmayan kavramlar, diğer insanlarla anlaşmak için başarılı bir şekilde kullanılmasının yanında; mantık süreçlerinin bilgisayarlara göre başarılı bir şekilde yürümesini de sağlamaktadır.

Geleneksel mantık sisteminde yalnızca doğru (1) ve yanlış (0) bulunur. Dolayısıyla belirsiz, kesin olmayan ya da karmaşık bir problemin çözümünde bu yöntem yetersiz kalır, hatta bazen bu yöntemle çözümler olanaksız olabilir. Gerçek Dünya Dilini kullanan bulanık mantık, bir takım Dilsel Niteleyiciler yardımıyla biraz sıcak, çok uzak, hafif soğuk, yüksek, çok fazla yüksek gibi günlük yaşamımızda kullandığımız kelimeler yardımıyla insan mantığına en yakın doğrulukta denetimi gerçekleştirebilir (Engelkıran, 2001).

Temeli Bulanık Küme Kuramı'na dayanan bulanık mantıkta da yine geleneksel mantıkta olduğu gibi doğru (1) ve yanlış (0) değerleri vardır. Ancak bulanık mantık yalnızca bu değerlerle yetinmeyip bunların ara değerlerini de kullanarak, bir önermenin yalnızca doğru ya da yanlış olduğunu belirtmekle kalmayıp ne kadar doğru ya da ne kadar yanlış olduğunu da söyler (Yuan and Klir, 1994).

Bulanık mantığın en geçerli olduğu iki durumdan ilki, incelenen olayın çok karmaşık olması ve bununla ilgili yeterli bilginin bulunmaması durumunda kişilerin görüş ve değer yargılarına yer verilmesi, ikincisi ise insan kavrayış ve yargısına gerek duyan hallerdir. İnsan düşüncesinde sayısal olmasa bile belirsizlik, yararlı bir bilgi kaynağıdır. İşte bu tür bilgi kaynaklarının, olayların incelenmesinde özgün bir biçimde kullanılmasına bulanık mantık ilkeleri yardımcı olacaktır. (Baykal ve Beyan, 2004)

Bulanık mantık, elektrikli ev aletlerinden oto elektroniğine, gündelik kullandığımız iş makinelerinden üretim mühendisliğine, endüstriyel teknolojilerden otomasyona kadar aklımıza gelebilecek her yerde kendisine uygulama alanı bulabilmiştir.

3.1. Tarihçe

Çok değerli mantığın tarihi çok eskilere dayanır. Heraklitus ve Anaksimender gibi eski Yunan Filozofları, iki değerli mantığın kurucusu olan Aristo'dan 200 yıl evvel çok durumlu mantıksal sistemler geliştirmişlerdi (Hamitoğulları, 1999).

1920'li yıllarda Polonya'lı mantıkçı Jan Lukasiewicz, önermelerin sadece bir veya sıfır doğruluk değeri alabildiği klasik mantıktan farklı olarak önermelerin bir ve sıfır arasında da kesirli doğruluk değeri alabildiği "çok değerli" mantık ilkelerini oluşturmuştur. 1937'de ise kuantum felsefecisi Max Black yayımlanan bir makalesinde liste ya da nesnelerden oluşan kümelere "çok değerli mantığı" uygulayarak ilk bulanık küme eğrilerini çizmiştir (Aykanat, 2000).

1965 Yılında California Üniversitesinden Prof. Lotfi A. Zadeh ilk defa bulanık küme kuramının temel taşı olan "yumuşak" yaklaşım ile sistem tanım ve tasarımını gerçekleştirmiştir. Zadeh'in bu çalışmasında, insanların bazı sistemleri makinelerden daha iyi kontrol edebilmelerinin nedeni olarak, insanların belirsiz, yani kesinlik ifade etmeyen bir takım bilgiler kullanarak karar verebilme özelliğine sahip olmaları gösterilmektedir (Temurtaş, 2000).

1966'da bulanık küme kuramının bulanık mantık üzerine uygulanması Bell Laboratuarlarında, Dr. Peter Marinos tarafından gerçekleştirildi. 1972 yılında Londra Üniversitesinden Prof. E.H. Mamdani bulanık mantık temelli uzman sistemle bir buhar türbininin hızının ve performansının çok başarılı bir şekilde denetlenebileceğini göstermiştir. Bulanık mantık kuramının ilk önemli endüstriyel uygulaması 1980 yılında Danimarka'da bir çimento fabrikasında gerçekleştirilmiş, değirmen içinde çok hassas bir denge ile oranlanması gereken sıcaklık ve oksijen ayarı en uygun biçimde yapılmıştır. Bundan sonra bir başka çarpıcı uygulama ise Hitachi firmasının dahil olduğu konsorsiyum tarafından 1987 yılında Sendai Metrosunda gerçekleştirilmiştir. Bu sayede trenin istenen konumda durması 3 kat iyileşmiş, kullanılan enerji ise %10 azalmıştır. Bunun üzerine Hitachi firmasına, benzeri bir sistemin Tokyo metrosuna da kurulması için istek gelmiştir. 1988'de ise Yamaichi Securities Firmasının geliştirdiği bulanık mantık temelli uzman sistem yine 1988 yılının Ekim ayında Kara Pazar adı verilen büyük çöküşü 18 gün önceden haber verebilmiştir. 1988 yılından beri portföyündeki hisse senetlerinin değerleri Nikkei ortalamasından sürekli olarak %20 ve genelde ise %40 fazla olmuştur. Bu kadar başarılı uygulamanın ardından bulanık mantığa olan ilgi artmış, uluslararası bir çalışma zemini oluşturabilmek amacıyla 1989 yılında aralarında SGS-Thomson, Omron. Hitachi, NCR, IBM, Toshiba ve Matsushita gibi Dünya devlerinin de bulunduğu 51 firma tarafından LIFE laboratuarları kurulmuştur (Zeydan, 1999).

Bulanık küme teorisi, Zadeh'in yayınladığı tarihten bu yana, başta yöneylem araştırması, yönetim bilimi, kontrol teorisi, yapay zeka/akıllı sistemler, insan davranışları olmak üzere pek çok uygulama sahası bulmuştur ve uygulamalar artan bir çeşitlilikte dünya ölçeğinde yaygınlaşmaktadır (Paksoy ve Atak, 2003).

3.2. Bulanık Küme Kuramı

3.2.1. Geleneksel mantık ile kısa karşılaştırma

İsminin insanlarda çağrıştırdığının aksine bulanık mantık belirsiz ifadelerle yapılan, belirsiz işlemler değildir. Gelişmiş bir olasılık hesaplama yöntemi de değildir. Aslında, modelleme aşamasında değişkenler ve kuralların esnek belirlenmesidir. Bu esneklik asla rastgelelik ya da belirsizlik içermez. Nasıl bir lastik içinde bulunduğu duruma göre şeklini değiştirirken bütünlüğünü ve yapısını koruyabilirse, bir bulanık mantık modeli de değişen koşullara değişen cevaplar verirken özündeki yapıyı muhafaza eder (Mercan, 2004).

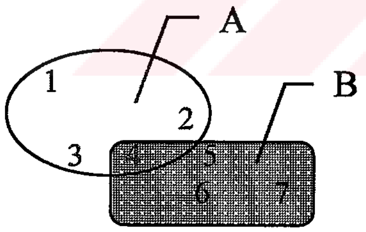
Geçmişte, belirsizliğin işlenmesi ve anlamlı sonuçlara varılabilmesi için ihtimaller teorisi kullanılmıştır. Matematik ve mühendislikte bu teori belirsizlik durumlarında istatistik yöntemlerle beraber kullanılır. Bu nedenle de bütün belirsizliklerin rastgele karakterde olduğu kavramı yaygınlaşmıştır. Rastgeleliğin en önemli özelliği, sonuçların ortaya çıkmasında tamamen şans olayının rol alması ve gerekli öngörüler ile tahminlerin kesin doğrulukta önceden yapılamamasıdır. Ancak, bilinen belirsizliklerin hepsi rastgele karakterde değildir. Günlük hayatta karşılaşılan belirsizliklerin çoğunun rastgele olmadığı kolayca anlaşılabilir. Rasgele karakterde olmayan olaylar için örneğin sözel belirsizlikler halinde inceleme ve sonuç çıkarma işlemlerinde ihtimaller hesabı ve istatistik gibi sayısal belirsizlikleri gerektiren yöntemler kullanılamaz (Şen, 2001).

Olasılık teorisi örneğin, "Yarın hava muhtemelen çok bulutlu olacak" ifadesinde 'muhtemelen' sözcüğünün modellemesinde kullanılabilir; ancak, 'çok bulutlu' sözcüğünün doğal belirsizliğinin modellenmesi için yeterli olmayacaktır. Kişiden kişiye bile, değişmesi doğal olan bu tür dilsel belirsizliklerin modellenmesinde bulanık mantık daha uygundur (Lai and Hwang, 1996).

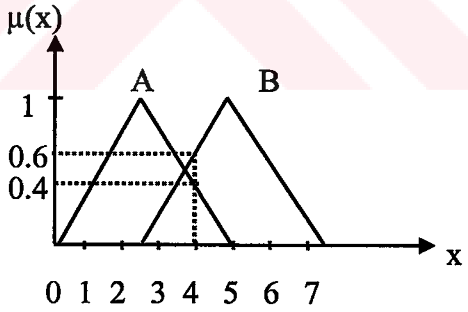
Geleneksel mantığın temelinde olasılık hesapları kullanılmaktadır. Yani, bir olayın olabilirliği, bu mantıkla çözümlenmeye çalışılır. Sonuç ise yalnızca evet veya hayır ile sınırlıdır. Ancak bulanık mantık bundan tamamen farklıdır ve olayın olabilirliği ilgili değil de ne kadar olduğu hakkında bilgi verir. Dolayısıyla, alınan cevap evet ve hayırla birlikte bunların ara değerlerini de içerir. Batı Florida Üniversitesinden Prof. James Bezdek bu farkı şöyle bir örnekle ortaya koymaktadır: Çölde kaybolduğunuzu ve elinizde de iki şişe su bulunduğunu düşünelim. Bu şişelerden birinin üzerinde "%91 olasılıkla kirli su" ve diğerinin üzerinde de "%91 i kirli su" yazsın. Hangisini içersiniz? İlk şişedeki su %91 olasılıkla kirlidir fakat %9 gibi bir şansla da temiz olma olasılığı vardır. Yani, aslında bu su temiz de kirli de olabilir. Ancak ikinci şişenin üzerindeki etikette ise suyun %91 inin kirli olduğu, yani bu suyun çok büyük bir kısmının kirlendiği ve neredeyse içilemez durumda olduğu belirtilmektedir. Bir başka deyişle bu su, bulanık mantıkta, üyelik fonksiyonu olarak da belirtebileceğimiz gibi "kötü su" olarak adlandırılır.

3.2.2. Bulanık ve geleneksel mantıkta küme kavramı

Klasik mantıkta kümeler arası ilişkiler incelendiğinde, Şekil 3.1.a'da görüldüğü gibi küme sınırlarının kesin olarak belirli olduğu görülür. Bu yaklaşımda bir eleman, bir kümeye aittir veya ait değildir, ya da her iki kümeye de eşit derecede aittir.

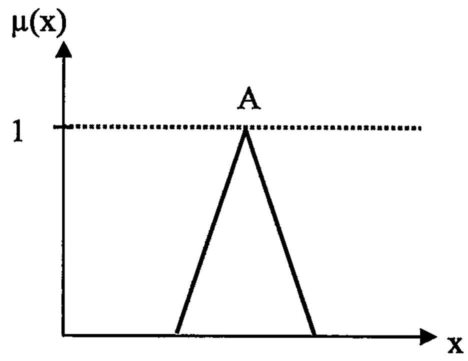


Şekil 3.1.a) Klasik küme,



Şekil 3.1.b) Bulanık küme.

Bulanık mantıkta ise küme elemanları, bir kümeye ne kadar ait olduklarını gösteren üyelik derecesi $\mu(x)$ ile birlikte tanımlanırlar. Bu durumda küme sınırları için kademeli bir geçiş söz konusu olmaktadır. Küme elemanları, farklı kümelere farklı derecelerde ait olabilmektedirler. Örneğin '4' elemanı klasik kümede her iki kümeye de eşit derecede üye iken; bulanık kümede A kümesine '0.4' seviyesinde üye, B kümesine '0.6' seviyesinde üye olabilmektedir (Şekil 3.1.b). Bulanık kümenin her elemanı, bu küme içerisinde bir üyelik değerine sahiptir ve bulanık A kümesinin üyelik fonksiyonu 0 ile 1 arasındaki gerçel sayılardan oluşur (şekil 3.2). Yani, $\mu(x)$ [0,1] dir.



Şekil 3.2. A bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu.

X evrensel kümesinde yer alan, sınırlı ve sonlu sayıdaki x elemanlarından oluşan A bulanık kümesi aşağıdaki gibi gösterilir.

$$\mathrm{X}=\left\{\frac{\mu_{\mathrm{A}}(x_1)}{x_1}+\frac{\mu_{\mathrm{A}}(x_2)}{x_2}+.....\right\}=\left\{\sum_i \frac{\mu_{\mathrm{A}}(x_i)}{x_i}\right\} \tag{3.1}$$

Bulanık kümenin sürekli olması halinde ise gösterim aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\mathrm{X}=\left\{\int \frac{\mu_{\mathrm{A}}(x)}{x}\right\} \tag{3.2}$$

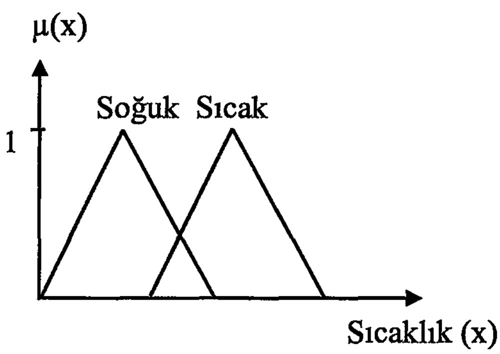
Bu gösterimde toplama ve bölme işaretleri aritmetik anlamlarında kullanılmamışlardır. Bölme işareti, paydada bulunan x elemanının $\mu(x)$ üyelik derecesine sahip olduğu gösterir. Toplama işareti ise elemanların aynı kümede olduklarını göstermek için kullanılmaktadırlar.

Bulanık mantık, temel olarak insan düşünüş şeklini örnek almaktadır. Dolayısıyla bu mantığın küme elemanları da insan mantığına çok yakın ya da aynı olan elemanlardır. Örneğin, hava sıcaklığının kişilere göre ifadesi farklılık gösterir.

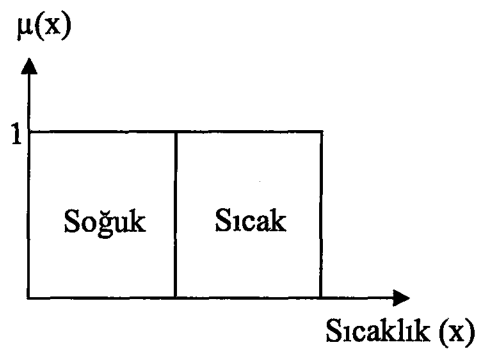
Kimine göre hava sıcak, kimine göre ılık, kimine göre soğuk, kimine göre ise çok sıcak olarak ifade edilebilmektedir. İşte burada kullanılan dilsel niteleyiciler, ifade şekli ve sayısı ne olursa olsun bulanık küme elemanlarını meydana getirirler. Ancak aynı olayı geleneksel mantıkla düşünürsek hava sıcaklığı ya soğuk hava (0) ya da sıcak hava (1) şeklinde ifade edilebilecekti.

Burada dikkat edilmesi gereken çok önemli diğer bir nokta da geleneksel küme elemanlarının birbirine geçiş sürecinin ne kadar kesin olduğudur. Örneğin 25 °C yi sıcaklık sınırı olarak kabul edersek, geleneksel mantığa göre 24 °C yi soğuk kabul etmemiz gereklidir. 25 °C aslında pek de sıcak kabul edilecek bir ısı değildir; aynı şekilde hemen 1 °C daha az olan ısının yani 24 °C nin de soğuk ya da sıcak olarak kabul edilmesi pek de uygun düşmez. Sıcaklık ifadesinin bulanık ve klasik kümelerdeki değişimi Şekil 3.3 a ve b'de gösterilmektedir.

Ancak bulanık küme elemanlarının birbirlerine geçişi yumuşaktır. Eğer bu fonksiyonu $\mu(x)$ olarak tanımlarsak, fonksiyonun alacağı değer sıfır ile bir arasında olacaktır. Yani fonksiyonun üyelik değeri $\mu(x)$ [0,1] dir. Dolayısıyla, sıcak ve soğuk arasındaki herhangi bir değer de tanımlanabilmektedir.Örneğin bir endüstriyel denetim sisteminde ani sıcaklık değişimleri yerine yumuşak geçişlerle denetim sağlanır ve istenilen ara değerler kullanılabilir. Böylelikle hem denetim kalitesi artırılmış hem de enerji tasarrufu sağlanmış olur (Yuan and Klir, 1994).



Şekil 3.3.a) Bulanık sıcaklık kümesi.



Şekil 3.3.b) Klasik sıcaklık kümesi.

Bu noktada bulanık mantıkta kullanılan bazı tanımların bilinmesi gerekmektedir. Yukarıda verilen örnekte hava sıcaklığını belirtmek için sıcak, soğuk, ılık gibi niteleyiciler kullanılmaktadır. Bu niteleyiciler 'sıcaklık' kümesinin bulanık alt kümelerini ifade etmektedirler. Buradaki alt kümeler 'dilsel niteleyici' ; evrensel küme 'sıcaklık' ise dilsel değişken olarak tanımlanır. Yani, bulanık mantıkta dilsel değişkenlerin alt kümelerini ifade etmek için dilsel niteleyiciler kullanılmaktadır.

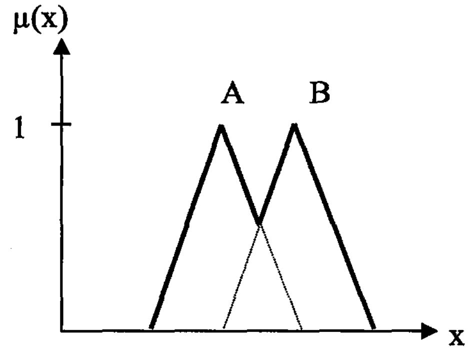
3.2.3. Bulanık ve geleneksel mantıkta küme işlemleri

X evrensel kümesinde A ve B bulanık alt kümelerini tanımlayalım ve x yine bu kümelere ait bir eleman olsun, A ve B bulanık kümeleri arasında yapılacak küme işlemleri için bazı kuralların tanımlanması gerekmektedir (Terzi, 2004).

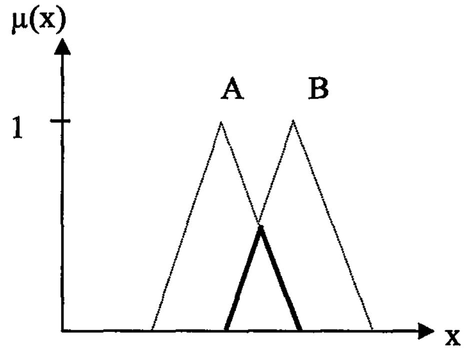
Bulanık kümelerde birleşim işlemi yapılırken klasik kümelerde kullanılan '$\cup$' işareti yerine veya '$\vee$' işareti kullanılır. Veya operatörünün kullanıldığı durumlarda bulanık mantıkta yapılan işlem iki üyenin ortak olan ve olmayan bütün üyelerini alınmasıdır. Bu durumda ortak olmayan üyelerin üyelik dereceleri aynı kalırken, ortak üyeler için En Büyük (EB) operatörü kullanılarak üyelik derecelerinden en büyük olanı alınır. Yani yeni birleşim bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu EB operatörü kullanılarak belirlenir.

Bulanık kümelerde kesişim işlemi yapılırken klasik kümelerde kullanılan '$\cap$' işareti yerine ve '$\wedge$' işareti kullanılır. Ve işaretinin kullanıldığı durumlarda bulanık mantıkta yapılan işlem iki üyenin ortak olan bütün üyelerini alınmasıdır. Bu durumda ortak üyeler için En Küçük (EK) operatörü kullanılarak üyelik derecelerinden en küçük olanı alınır. Yani yeni kesişim bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu EK operatörü kullanılarak belirlenir.

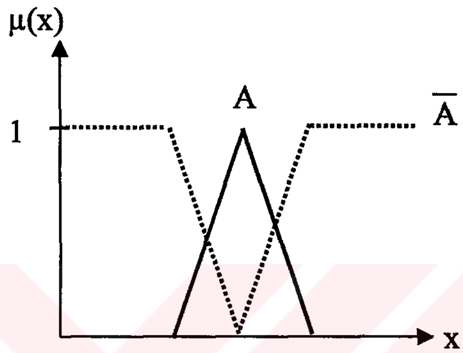
Bulanık kümenin tümleyeni ise küme elemanlarını üyelik derecelerinin birden çıkarılması ile bulunurlar. Bu ifadelere ait grafikler Şekil 3.4 a, b ve c' de gösterilmiştir.



(a) A ve B kümelerinin birleşimi



(b) A ve B kümelerinin kesişimi



(c) A kümesinin tümleri

Şekil 3.4. Bulanık kümelerde temel işlemler

$$\mu_{A\vee B}(x) = \text{EK}\,(\mu_A(x),\, \mu_B(x)) \tag{3.3}$$

$$\mu_{A\wedge B}(x) = \text{EB}\,(\mu_A(x),\, \mu_B(x)) \tag{3.4}$$

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \tag{3.5}$$

Örneğin, evrensel kümemiz X={3,4,5,6,7,8,9} olarak alınsın. A ve B bulanık kümeleri, $A = \left\{\frac{0.1}{3} + \frac{0.4}{4} + \frac{1}{5} + \frac{0.6}{8} + \frac{0.2}{9}\right\}$ ve $B = \left\{\frac{1}{4} + \frac{0.7}{5} + \frac{0.4}{6} + \frac{0.3}{7}\right\}$ olsun.

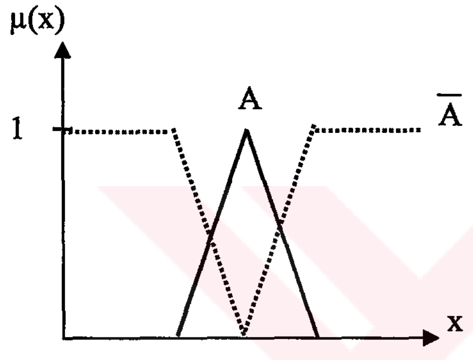
A'nın evriği $\bar{A} = \left\{\frac{0.9}{3} + \frac{0.6}{4} + \frac{0}{5} + \frac{1}{6} + \frac{1}{7} + \frac{0.4}{8} + \frac{0.8}{9}\right\}$

B'nın evriği $\bar{B} = \left\{\frac{1}{3} + \frac{0}{4} + \frac{0.3}{5} + \frac{0.6}{6} + \frac{0.7}{7} + \frac{1}{8} + \frac{1}{9}\right\}$

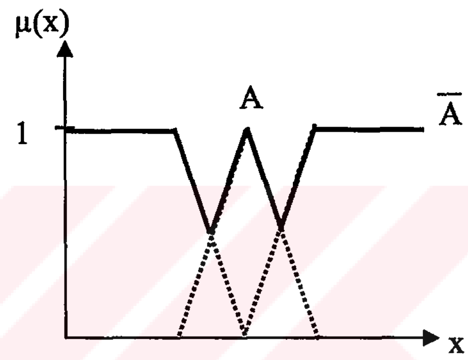
A ve B kümelerinin bileşimi, $A \vee B = \left\{ \frac{0.1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{0.4}{6} + \frac{0.3}{7} + \frac{0.6}{8} + \frac{0.2}{9} \right\}$

A ve B kümelerinin kesişimi, $A \wedge B = \left\{ \frac{0.4}{4} + \frac{0.7}{5} \right\}$

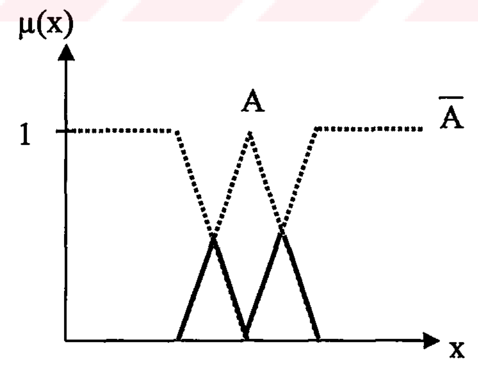
Görüldüğü gibi bulanık kümelerdeki işlemler geleneksel kümelerdeki işlemlerle benzeşmektedir. A bulanık kümesinin evriği ile birleşimi evrensel küme değildir. Ve A bulanık kümesinin evriği ile kesişimi boş küme değildir.Matematiksel olarak, $A \vee \overline{A} \neq X$ ve $A \wedge \overline{A} \neq \varnothing$ dir. Bu işlemlere ait grafikler Şekil 3.5'de görülmektedir.



(a) A bulanık kümesi ve tümleri



(b) A bulanık kümesi ve tümlerinin birleşimi



(c) A bulanık kümesi ve tümlerinin kesişimi

Şekil 3.5. A bulanık kümesi ve tümleri arası ilişkiler

Bunun dışındaki diğer küme işlem özellikleri, klasik küme işlem özellikleriyle benzeşirler:

$A \vee B = B \vee A$

$A \wedge B = B \wedge A$

$A \vee (B \vee C) = (A \vee B) \vee C$

$A \wedge (B \wedge C) = (A \wedge B) \wedge C$

$A \vee (B \wedge C) = (A \vee B) \wedge (A \vee C)$

$A \wedge (B \vee C) = (A \wedge B) \vee (A \wedge C)$

$A \vee A = A$ ve $A \wedge A = A$

$A \vee \varnothing = A$ ve $A \wedge X = A$

$A \wedge \varnothing = \varnothing$ ve $A \vee X = X$

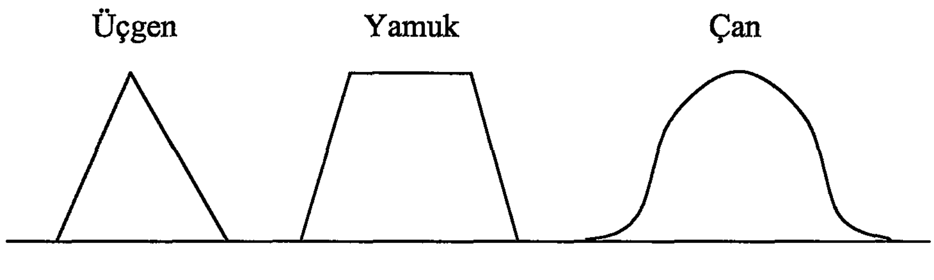
$\overline{A \wedge B} = \overline{A} \vee \overline{B}$

$\overline{A \vee B} = \overline{A} \wedge \overline{B}$

Eğer $A \subseteq B \subseteq C$ ise $A \subseteq C$ dir.

3.2.3.1. Üyelik fonksiyonları

Bulanık mantık süreçlerinin başlatılabilmesi için gerekli üyelik fonksiyonları, dilsel niteleyicilerden oluşan bir anlam gurubudur. Üyelik fonksiyonları biçimsel olarak denetlenen sürecin özelliklerine göre değişik şekilde olabilirler. Genelde aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi üçgen, yamuk veya çan şekillerindedir.

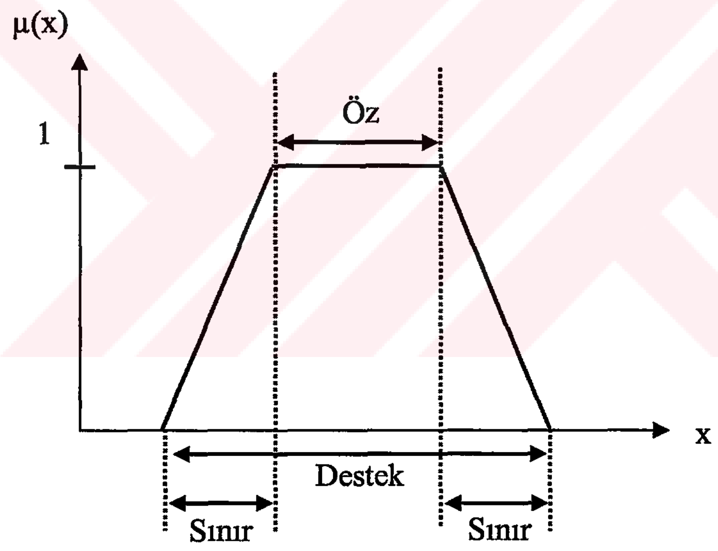


Şekil 3.6. Üyelik fonksiyonu şekilleri

Birçok farklı bulanık mantık uygulamalarında, sitemin yapısına bağlı olarak değişik tiplerde üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Ancak henüz değişkenleri temsil eden doğru bulanık üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi için standart bir yöntem bulunmamaktadır. Genellikle deneme yanılma yöntemi kullanılmaktadır (Hashmi et al, 1998).

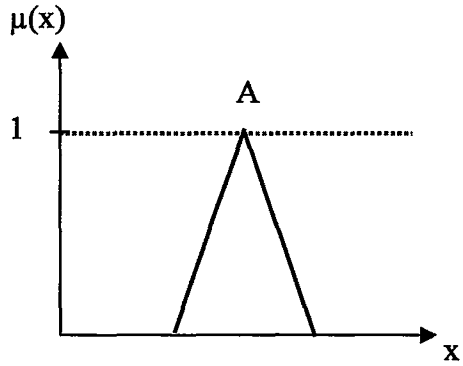
3.2.3.2. Üyelik fonksiyonunun özellikleri

Bulanık kümenin grafik olarak gösteriminden de kolayca görebileceğimiz gibi bazı üyelik fonksiyon tanımları bulunmaktadır. Bunlar Öz, Sınır ve Destek'tir (Şekil 3.7). Bulanık kümeye ait üyelik fonksiyonunun $\mu_A(x)=1$ olan bütün x elemanlarını kapsayan bölgesi, öz olarak adlandırılır. Yine bulanık kümeye ait üyelik fonksiyonunun $0<\mu_A(x)< 1$ olan bütün x elemanlarını kapsayan bölgesi, sınır olarak adlandırılır. Bulanık kümeye ait üyelik fonksiyonunun $\mu_A(X)>0$ olduğu bütün bölgeler ise destek bölgesidir.

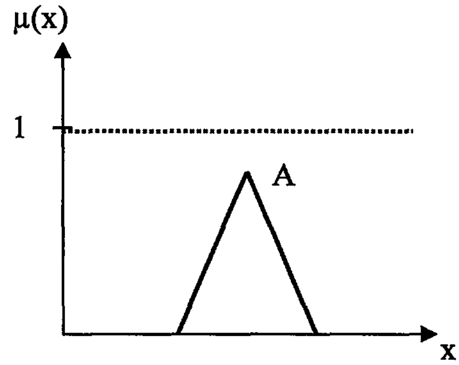


Şekil 3.7. Tipik bir bulanık kümenin, çekirdek, destek ve sınırları

Normal Bulanık Küme, üyelik değerinin en az bir elemanı için 1 değerini aldığı bulanık kümelerdir (Şekil 3.8.a). Eğer bulanık kümede bir ve yalnızca bir elemanın üyelik değeri 1 ise bu eleman, kümenin Özel Tipli Elemanı olarak adlandırılır. Bunun dışındaki bulanık kümelere ise Normal Olmayan Bulanık Kümeler denir (Şekil 3.8.b)

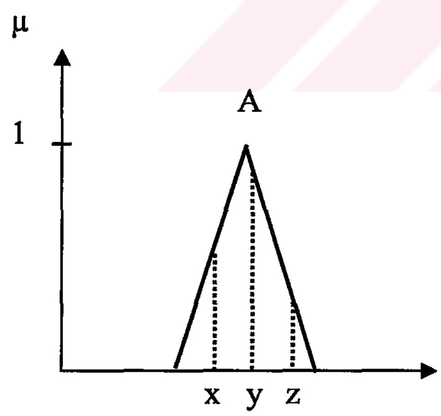


Şekil 3.8.a) Normal bulanık küme

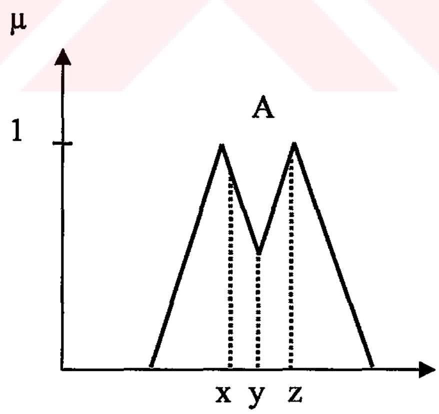


Şekil 3.8.b) Normal olmayan bulanık küme

Bulanık kümenin, üyelik fonksiyonunun üyelik değerleri monoton artan ve daha sonra monoton azalan bir durumda ise ya da belli üyelik değerlerinde 1 olduktan sonra monoton azalan ise böyle kümelere Bulanık Dışbükey Kümeler adı verilir. Başka bir deyişle x, y, z elemanları A bulanık kümesinin içinde olsun ve $x<y<z$ olmak şartı ile $\mu_A(y)>EB(\mu_A(x),\mu_A(z))$ denklemini sağlayan bulanık kümeler dışbükeydir. Bu klasik matematiksel dışbükey biçim tanımından farklıdır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9.a) Normal dışbükey bulanık küme

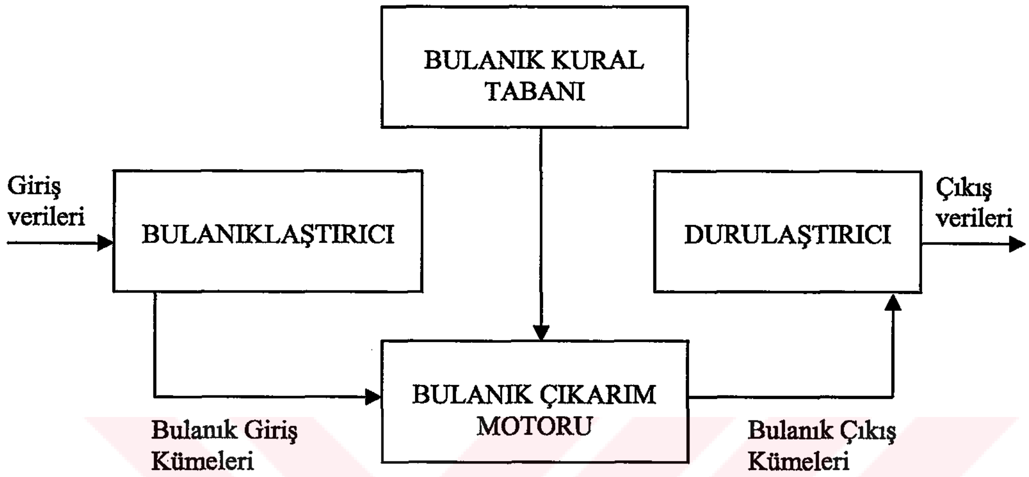


Şekil 3.9.b) Normal dışbükey olmayan bulanık küme

Bulanık sistemlerde kullanılan dilsel niteleyicilerin, hesaplamaların doğru şekilde yapılabilmesi için normal dışbükey kümelerden oluşması gerekir.

3.3. Bulanık Kontrol Sistemi

Bulanık küme tabanlı sistemler genel olarak, Bulanıklaştırıcı, Bulanık Kural Tabanı, Çıkarım Ünitesi, Durulaştırıcı birimlerinden oluşur. Şekil 3.10'da bu temel birimlerden oluşan bulanık mantık kontrol sisteminin yapısı görülmektedir.



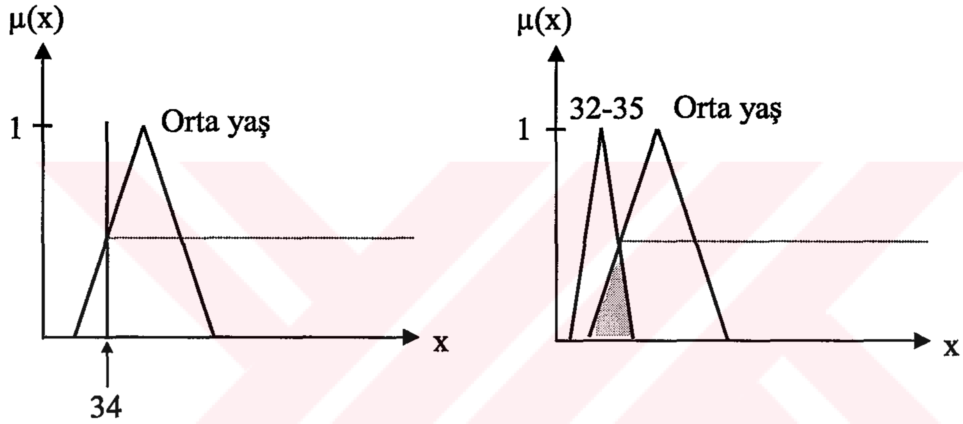
Şekil 3.10. Bulanık küme tabanlı bir kontrol sisteminin genel yapısı

Bulanıklaştırma birimi, giriş bilgilerini önceden belirlenmiş üyelik fonksiyonlarını kullanarak uygun sözel değerlerden oluşan bulanık giriş kümelerine dönüştürür. Kural tabanı, kontrol yöntemini "Eğer-İse" (If-Then) kuralları şeklinde ifade eden, bulanık kurallar kümesinden oluşur. Çıkarım Ünitesi, bulanık giriş kümelerini kural tabanındaki bulanık kurallar ile eşleştirir ve bulanık uygulamayı gerçekleştirecek uygun bir yorumlama yaptıktan sonra bulanık çıkış kümelerini oluşturur. Durulaştırıcı, elde edilen bulanık kümeyi, sayısal çıkış verilerine çevirir. Bulanık mantık kontrol sisteminin tasarımındaki en önemli sorun, bulanık mantık kuralları ve uygun üyelik fonksiyonlarının tanımlanmasıdır.

3.3.1. Bulanıklaştırma

Fiziksel giriş bilgilerinin, dilsel niteleyicilerle ifade edebileceğimiz bulanık mantık bilgileri şekline çevirme işlemine bulanıklaştırma adı verilir. Bulanıklaştırma birimine gelen veri girişlerinin destek sınırları içine girdikleri bulanık alt kümelerde karşılık gelen üyelik dereceleri bulunur. Bu üyelik dereceleri çıkarım birimi için girdi olarak kullanılır.

Ancak bu bilgilerin tamamının mutlaka kesin bilgiler olması söz konusu değildir. Bulanıklaştırma işlemi önemli ölçüde kesin olmayan bilgiyi de içine alır ve bulanıklaştırır. Bulanıklaştırma sonucu elde edilen değişkenlere dilsel değişkenler denir ve işlemle birlikte tüm giriş değişkenlerinin değerleri, üyelik derecesi olarak buraya atanır. Örneğin, 34 yaş giriş bilgisi, dilsel niteleyici olarak "orta yaşlı" olarak ifade edilebilir. Bununla beraber yine 32-35 yaş arası bulanık kümesi, tam kesin olmayan bir bilgi olarak yine "orta yaşlı" olarak ifade edilebilir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Keskin (soldaki) ve keskin olmayan (sağdaki) giriş büyüklüğünde bulanıklaştırma

Her iki giriş veri girişi için de bulanıklaştırma yapmak mümkündür. Dolayısı ile bulanık mantık sistemleri sadece keskin veri girişleriyle değil bulanık girişlerle de çalışabilir.

3.3.2. Bulanık çıkarım

Bulanık mantıkta da geleneksel mantıkta olduğu gibi bazı mantık işlemleri yer almaktadır. Ancak bu işlemin komutları VE, VEYA, DEĞİL, EĞER, ÖYLE İSE (AND, OR, NOT ve IF, THEN) ile sınırlı çok basit ve aynı zamanda da kullanışlıdır. Bu kurallar bütününe kurallar ya da bulanık mantık denetleyicisi üzerinde kural tabanı denir.

Keskin mantıkta verilen önermelerden bir sonuca varmaya çıkarım denir. Klasik mantıkta önermeler kesin ve açıktır, çıkarım ise önermelerin birbirleriyle tam olarak uyuştuğu zaman yapılabilir. Bulanık sistemlerde ise girişleri sıcak, soğuk, orta, yüksek, yavaş gibi dilsel değişkenler oluşturur ve bu girişler hakkında sonuca varmak ve karar verme ancak EĞER – O HALDE (IF-THEN) türündeki kuralların kullanılması ile mümkündür. Örneğin;

Bilgi : Hava çok sıcak ise çok ince giyin.
Gerçek : Hava biraz sıcaktır.
Çıkarım : Biraz ince giyin.

Örnekten de anlaşıldığı gibi, eldeki gerçeğin verilen bilgiden biraz farklı olması bulanık çıkarımda bir problem çıkarmaz. Çıkarım o yönde gelişir.

Keskin olmayan ifadelerin VE bağlantısı için EK operatörü, VEYA bağlantısı için EB operatörünün seçilmesi en kolay ve bulanık denetimde aynı zamanda temel bağlantıların en çok rastlanan gerçekleştirme şeklidir. Tablo 3.2.'den de görüleceği gibi her iki operatör klasik halde iki değerli mantığın keskin olan denkine $\vee$ ve $\wedge$ geçiş yapar (KOÜ E.M. ders notu, 2003).

Tablo 3.1. İki Değerli Mantıkta Mantıksal Temel Bağlantılar İçin Operatörlerin Doğruluk Tablosu

$\wedge$	0	1
0	0	0
1	0	1

MIN	0	1
0	0	0
1	0	1

$\vee$	0	1
0	0	1
1	1	1

MAX	0	1
0	0	1
1	1	1

EK ve EB operatörü yanında birçok sayıda bu özelliği gösteren değişik operatör çifti vardır. Bu operatörler bulanık denetimde çok fazla önem arz etmezler. İkili bulanık kümenin kesişiminin oluşmasını yada ikili keskin olmayan ifadenin VE bağlantısını gerçekleştirmek için operatörler T-norm olarak ifade edilir. Birleşim kümesi ya da VEYA bağlantısının gerçekleşmesi için operatörler S-norm veya T-conorm olarak ifade edilir (KOÜ E.M. ders notu, 2003).

Tablo 3.2. T ve S normları (KOÜ E.M. ders notu, 2003).

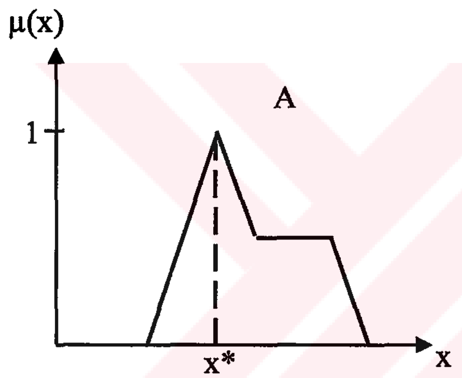
"VE" T-norm $T(\mu_A(x), \mu_B(x))$	"VEYA" S-norm $S(\mu_A(x), \mu_B(x))$
En Küçük $EK(\mu_A(x), \mu_B(x))$	En Büyük $EB(\mu_A(x), \mu_B(x))$
Drastik(etkili) Çarpım $EK(\mu_A(x),\mu_B(x))$ Eğer $MAX(\mu_A(x),\mu_B(x))=1$ ise 0 aksi halde	Drastik(etkili) Toplam $EB(\mu_A(x),\mu_B(x))$ Eğer $EK(\mu_A(x),\mu_B(x))=0$ ise 1 aksi halde
Sınırlı Fark (Lukasiewicz-VE) $EB(0,\mu_A(x) + \mu_B(x) - 1)$	Sınırlı Toplam (Lukasiewicz-OR) $EK(1,\mu_A(x) + \mu_B(x))$
Einstein- Çarpımı $(\mu_A(x)\ \mu_B(x))/(2 -(\mu_A(x) +\mu_B(x)\ \mu_A(x)\ \mu_B(x)))$	Einstein-Toplamı $(\mu_A(x) + \mu_B(x))/(1 +\mu_A(x)\ \mu_B(x))$
Hamacher-Çarpımı $(\mu_A(x)\ \mu_B(x))/((\mu_A(x) +\mu_B(x) - \mu_A(x)\ \mu_B(x))$	Hamacher-Toplam $(\mu_A(x) + \mu_B(x) - 2(\mu_A(x)\ \mu_B(x)) / (1- \mu_A(x)\ \mu_B(x))$
Cebirsel-Çarpım $\mu_A(x)\ \mu_B(x)$	Cebirsel-Toplam $(\mu_A(x) + \mu_B(x) - (\mu_A(x)\ \mu_B(x))$
Yager-Operatörü $1- EK\ \left((1- \mu_A(x))^p + (1-\mu_B(x))^p\right)^{1/p},1)\ p\in R_+$	Yager-Operatörü $EK\ \left(\ (\mu_A(x)^p + \mu_B(x)^p\right)^{1/p},1)\ p\in R_+$

3.3.3. Durulaştırma

Bulanık küme çıkarımlarının, sistem üzerinde uygulanabilmesi için yeniden fiziksel ve kesin sayılara dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işleme durulaştırma adı verilir. Bunun için çeşitli durumlara göre durulaştırma yöntemleri geliştirilmiştir (Terzi, 2004).

Bulanık işlemciden elde edilen mantıksal çıkarımların üyelik fonksiyonları bir ya da birden fazla olabilirler. Örneğin, bulanık çıkarımımız iki parçadan oluşsun: Bunlardan ilki bir yamuk ve adı A_1, diğeri de bir üçgen ve adı da A_2 olsun. Buna göre elde edeceğimiz bulanık çıkarım bu kümelerin bileşkesi olacaktır: Yani, $A_1 \cup A_2 = A_3$ dür. Doğaldır ki, bulanık işlemcilerden elde edilen bulanık çıkarımlar, aslında ikiden çok daha fazladırlar ve üyelik fonksiyonlarının biçimleri bizim bilmediğimiz şekillerde de olabilir. Ancak bulanık çıkarım sonucu her şekilde bu kümelerin bileşkesi alınarak hesaplanacaktır. Literatürde en çok kullanılan yedi çeşit durulama yöntemi bulunmaktadır. Bunlardan çok kısa olarak aşağıda söz edilmiştir.

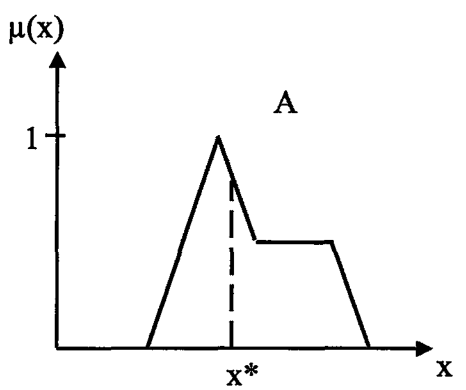
1) Üyelik Fonksiyonunun En Yüksek Noktası: Bu yöntemden, "yükseklik yöntemi" olarak da söz edilmektedir (Şekil 3.12).



$\mu_A(x^*)\ \ \mu_A(x)$, tüm $x \in X$ için

Şekil 3.12. Üyelik fonksiyonunun en yüksek noktası metodu

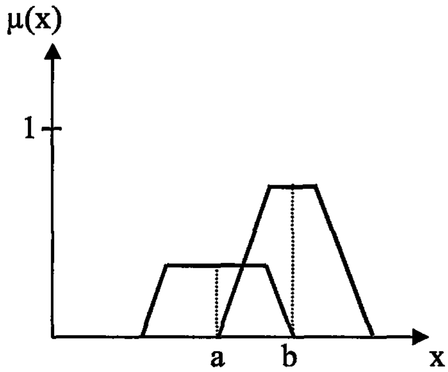
2) Merkez Yöntemi: Alan merkezi ya da ağırlık merkezi de denilen bu yöntem, durulama yöntemi olarak en çok kullanılan yöntemlerden birisidir ve ağırlık merkezi hesaplanarak yapılır (Şekil 3.13).



$$x^* = \frac{\int \mu(x)x}{\int ü_ç(x)dx}dx \qquad (3.7)$$

Şekil 3.13. Merkez Yöntemi

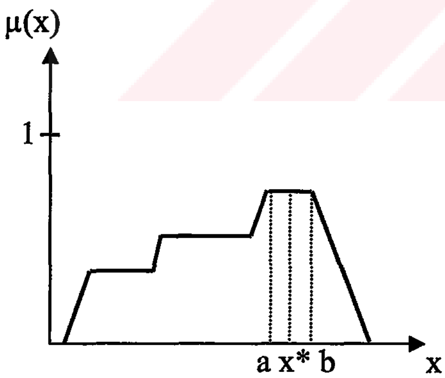
3) Ağırlıklı Ortalama Yöntemi: Bu yöntem yalnızca simetrik çıkışlı üyelik fonksiyonları için kullanılabilmekte ve her bir simetrik üyelik değerinin tepe noktası değeri belirlenerek, ortalamalarının alınmasıyla yapılmaktadır (Şekil 3.14).



$$x^* = \frac{\sum \mu(\bar{x})\bar{x}}{\sum \mu(\bar{x})} \tag{3.8}$$

Şekil 3.14. Ağırlıklı Ortalama Yöntemi

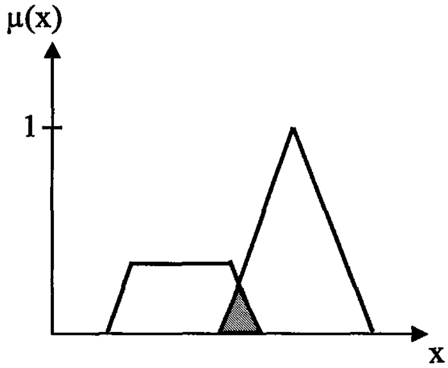
4) Üyelik Fonksiyonunun En Yüksek Noktalarının Ortalaması: Yüksek noktaların ortası da denilen bu yöntem, ilk yöntemle aşağı yukarı benzerdir ancak üyelik fonksiyonunun en yüksek noktası burada tek değildir. Yani Şekil 3.15.'de de görüldüğü gibi bu bir dörtgen olabilir.



$$x^* = \frac{a+b}{2} \tag{3.9}$$

Şekil 3.15. En yüksek noktaların ortalaması

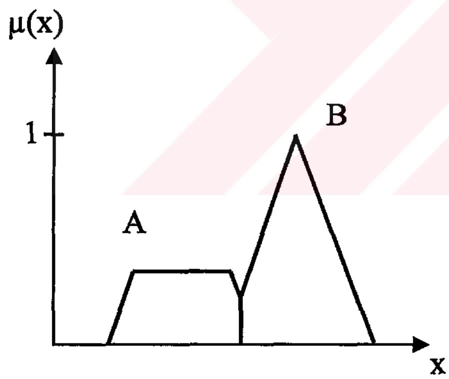
5) Toplamların Merkezi: Yukarıda söz edilen yöntemlerin çoğundan daha hızlı bir yöntemdir. Çünkü burada kümelerin bileşkeleri yerine doğrudan toplamları alınarak durulama işlemi yapılır. Ancak, buradaki tek çekince kesişim kümelerinin iki defa hesaba katılmasıdır. Bundan sonrası ise ağırlıklı ortalama yöntemiyle aynıdır (Şekil 3.16).



$$x^* = \frac{\int\limits_X x \sum\limits_{k=1}^{n} \mu(x)dx}{\int\limits_X \sum\limits_{k=1}^{n} \mu(x)dx} \tag{3.10}$$

Şekil 3.16. Toplamların Ortalaması Yöntemi

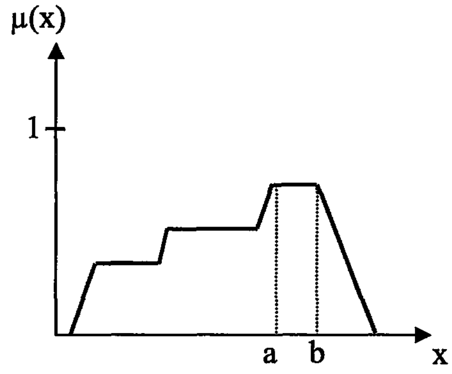
6) En Büyük Alan Merkezi: Eğer bulanık çıkarımlar en az iki tane dışbükey üyelik elemanından oluşuyor ise bu yöntem kullanılabilir. Bu yöntemde dışbükey bulanık kümelerin en büyük alanlısı alanlısının ağırlık merkezi durulaştırma işleminde kullanılır. Görüldüğü gibi A ve B dışbükey bulanık kümeleri bir araya geldiklerinde içbükey bir sonuç bulanık kümesi ortaya çıkmaktadır. Bu durumda en büyük alana sahip B kümesinin ağırlık merkezi durulaştırma işleminde kullanılır (Şekil 3.17).



$$x^* = \frac{\int \mu(x)x}{\int \text{üç}(x)dx} dx \tag{3.11}$$

Şekil 3.17. Geniş alan merkezi yöntemi

7) İlk (ya da son) yükselti: Bu yöntem bütün bulanık çıkışlarda uygulanabilecek bir yöntemdir. Bileşik sonuç bulanık fonksiyonunda, en yüksek üyelik değerine sahip fonksiyon yamuk şeklinde ise yamuğa ait göbek bölgesinin ilk yükseltisi (Şekilde a ile gösterilmiştir) ya da son yükseltisi (Şekilde b ile gösterilmiştir) bulanık çıkarım için kullanılabilir. Eğer en yüksek üyelik derecesine sahip fonksiyon üçgen şeklinde olursa, bu iki seçenek de aynı sonucu verecektir.



Şekil 3.18. İlk yükselti(ve son yükselti) metodu

Burada yedi ayrı çeşit durulama yönteminden söz edilmiştir. Ancak, akla "acaba bunlardan hangisi daha iyi?" ya da "hangisini kullanmalıyım?" şeklinde bir soru gelecektir. Bunun cevabı, probleme en uygun olanının seçilmesidir. Hellendorn ve Thomas tarafından, 1993 yılında uygun olanın seçilmesi için beş dayanak ortaya atılmıştır. Bu kriterler şunlardır.

1- Süreklilik Kriteri : Bir bulanık sürecin girdisindeki ufak bir değişiklik çıktıda önemli bir değişikliğe sebep olmamalıdır.

2- Tek Anlamlılık Kriteri : Durulaştırma Kriteri sonucunda tek bir z* değeri elde edilmelidir. Yani çok anlamlılık olmamalıdır. Yukarıdaki durulaştırma yöntemlerinden en büyük alan merkezi yöntemine bakarsak, burada birden fazla aynı büyüklükteki alan için, birden çok z* değeri bulunduğunu fark ederiz ve bu da çok anlamlılığı doğurur ve sonuçta bu durulaştırma yöntemi bu kritere aykırıdır.

3- Akla Yakın Olma Yöntemi : z* değeri yüksek bir üyelik derecesine sahip olmalı ve destek bölgesinin ortası civarında olmalıdır. (Ağırlık merkezi ve toplamların merkezi yöntemi bunu sağlamamaktadır.)

4- Hesaplama Kolaylığı Kriteri : Burada yöntemler arasındaki sonucu elde etmenin kolaylığına bakılır. (Örneğin maximum yükseklik yönteminde hesaplamalar ağırlık merkezi yöntemine göre daha kolaydır.)

5- Ağırlık Yöntemi Kriteri : Burada kişisel yargıları incelediğimiz probleme göre göz önüne alırız.

3.4. Bulanık Karar Verme

Bulanık mantığın ortaya çıkışından beri en çok kullanıldığı alan, bulanık kontroldür.Bunun temel nedeni, bulanık kümelerin mühendisleri çok uğraştıran bu konuya oldukça kolay çözümler getirilmesine yardımcı olması ve çabucak yayılmasıdır. Ancak bulanık kümelerin dilsel belirsizliği ve benzer nitelikteki belirsizlikleri başarıyla modelleyebilmesi, karar verme problemlerindeki soyutlama sorununun çözümüne yardımcı olmakta ve birçok probleme daha gerçekçi çözümler bulunabilmesini sağlamaktadır.

Bellman ve Zadeh 1970 yılında, bulanık hedef (G), bulanık kısıtlar (C), bulanık karar(D) olmak üzere üç yeni kavram ortaya çıkarmışlar ve bu kavramların bulanık karar verme ortamındaki uygulamaları üzerinde çalışmışlardır. Bulanık karar verme aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Bellman and Zadeh, 1970).

$$D = G \cap C \tag{3.12}$$

Bu problem aşağıdaki üyelik fonksiyonu ile tanımlanmaktadır.

$$\mu(x) = EK(\mu_G(x); \mu_C(x)) \tag{3.13}$$

Burhan Türkşen'in de bir söyleşisinde dediği gibi bulanık mantığın uygulama alanı bulacağı ve gelişmeye devam edeceği en önemli alanlar bulanık karar verme ile ilgilidir. Yöneylem araştırması, yönetim bilimleri, finansman modelleri, kalite kontrolün uygulanması gibi birçok alan mevcut karar sistemlerinin içine bulanık mantığın oturtulması ve daha iyi kararlar verilebilmesi için uygundur (Terzi, 2004).

3.5. Bulanık Matematik

Bulanık mantığın, kontrol sistemlerinde ya da kara verme alanlarda kullanılabilmesi için temel olarak klasik matematiğe benzeyen ancak bazı noktalarda farlılıklar gösteren işlem kurallarının uygulanması gerekmektedir.

3.5.1. Bulanık ilişki ve genişleme ilkesi

Bulanık kontrol sistemlerinde bulanık kümeler arası ilişkiler ve genişleme ilkesi temelinde işlemler yürütülmektedir. İlişkiler, farklı temel kümeler içinde tanımlanmış kümeler arasındaki bağıntılardır. Şimdiye kadar incelenen "basit" kümelerde, temel kümelerin her biri sadece tek elemanlı iken, bağıntılarda ise değer çifti yada genel anlamda değişik temel kümelerden oluşan elemanların n-temel kümeleri vardır. Buradan ilişkinin temel kümesi, aralarında bağıntı kurulan büyüklüklerin temel kümelerinin çapraz çarpımı sonucu çıkar. İlişkinin kendisi de bir kümedir. Bu küme ise temel kümelerin çapraz çarpım kümesinin bir alt kümesidir. Çapraz çarpım kümesi içindeki bu bulanık küme (alt küme), klasik küme kuramına göre bulanık-ilişki olur.

Farklı temel kümelerde tanımlanmış bulanık kümelerin birbiriyle birleştirilmesi (bağlanması) ile de bulanık ilişki oluşur. X_1 , X_2 ,…,X_n farklı temel kümeler olmak üzere R ilişkisi matematiksel olarak aşağıdaki gibi tanımlanır:

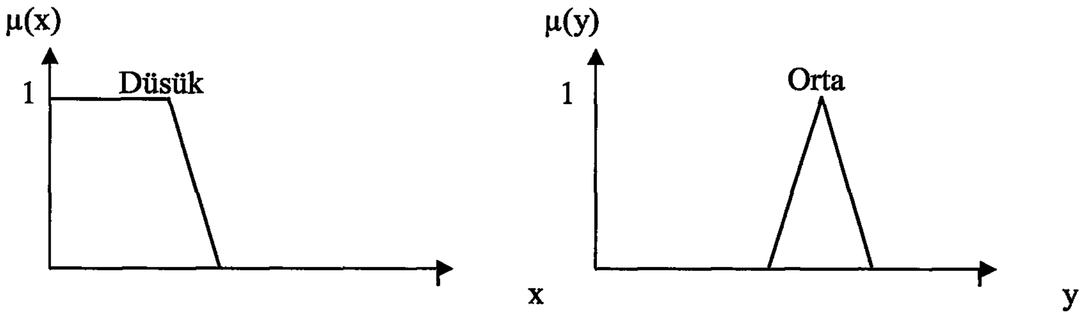
$$R = \{((x_1,\ldots.x_n),\mu_R(x_1,\ldots.x_n))|\ (x_1,\ldots.x_n) \in X_1\times\ldots\times X_n\} \tag{3.14}$$

$X_1\times\ldots\times X_n$'in içinde n-kademeli bulanık relasyon olarak adlandırılır.
$\mu_R : X_1\times\ldots\times X_n \rightarrow [0, 1]$ ifadesi ise R'nin üyelik fonksiyonunu gösterir.

Örneğin EĞER x = düşük VE y = orta ÖYLEYSE <herhangi birşey> şeklinde verilen bir kuralda, x = düşük ve y = orta bulanık alt kümeleri arasında VE operatörü kullanılarak bir bulanık ilişki elde edilmiş olur. Bu bulanık ilişkinin üyelik fonksiyonu, VE operatörü kullanıldığından aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\mu_R(x,y) = EK\ (\mu_{düşük}(x),\ \mu_{orta}(y)) \tag{3.15}$$

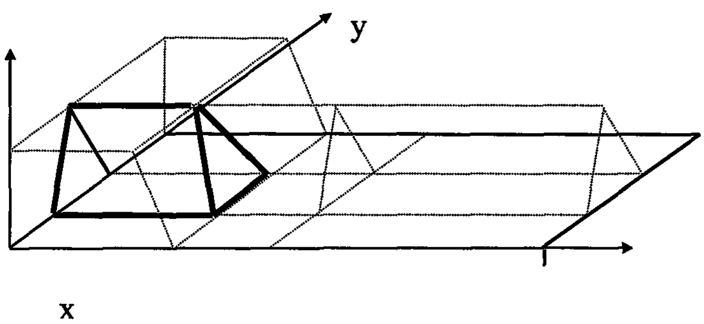
Bulanık ilişki R'yi grafiksel göstermek için her iki birleştirilen kavramsal ifadeler şekil 3.19'da tanımlandığı gibi kabul edilir.



Şekil 3.19. x ve y için kavramsal ifadelerin tanımı

Her iki ifade farklı temel kümelerde tanımlandığından, düşük devir ve orta hız ifadelerinde olduğu gibi farklı temel kümeler grafiksel olarak öyle basit birleştirilemez. Her iki bulanık küme, daha çok aynı çapraz çarpım kümesindeki bulanık ilişkiye yani X × Y aktarılmalıdır. Buradan yola çıkıldığında $\mu_{orta}(y)$ x'den bağımsız iken $\mu_{düşük}(x)$ bulanık kümesi de y'den bağımsızdır. Buna göre şekil 3.19'da gösterildiği gibi her iki bulanık küme silindirsel olarak diğer temel kümeler üzerine genişletilir. Bu prensip genişletme prensibi (yayma, extension) olarak ifade edilir. Bulanık kümeler veya birbiriyle uyumsuz temel kümeli bulanık ilişkilerin birbiriyle birleştirilmesinde genişletme prensibi kullanılır.

Her iki bulanık ilişki, şimdi daha önce olduğu gibi birleştirilebilir. Böylece her iki "ilişki dağının" minimumu oluşur ve aynı zamanda şartın toplam ilişkisi R elde edilir. Bu olay Şekil 3.20'de gösterilmiştir.



Şekil 3.20. Silindirsel olarak genişletmenin EK bağlantısı ile R ilişkisinin oluşturulması (KOÜ E.M. ders notu, 2003).

Kuralda VE yerine VEYA operatörü kullanılsaydı, son adımdaki EK operatörü yerine EB operatörü seçilirdi. Burada sadece iki kademeli ilşki için işlemler gösterilmiştir ancak genel durumlar için n-kademeli ilişkilerin işlemleri de aynı şekilde genişletilmelidir.

3.5.2. Bulanık dört işlem

A, R'de tanımlı bir bulanık küme olsun, A'nın bulanık sayı olarak adlandırılabilmesi için için, (i) Normal olması (ii) Dışbükey olması (iii) Sınırlı bir Destek Bölgesi'ne sahip olması ve α-kesim kümelerinin R'nin kapalı aralıkları olması gerekir.

Bulanık hesaplamalarda genellikle kullanım kolaylığı nedeniyle üçgen ve yamuk sayılar kullanılır.Üçgen bir bulanık sayı, R'de tanımlı bir üçgen bulanık kümedir; a ile c küme destek sınırları ve b en yüksek üyelikli eleman olmak üzere üçgen bulanık küme aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$Ü_A(X) = ü_A(x;a,b,c) = \begin{cases} (x - a)/(b - a) & \text{eğer} \quad a \le x < b \\ (c - x)/(c - b) & \text{eğer} \quad b \le x \le c \\ 0 & \text{eğer} \quad x > c \text{ veya } x < a \end{cases} \tag{3.16}$$

Benzer şekilde a ile d destek sınırları ve b ile c öz sınırları olmak üzere, yamuk üyelik fonksiyonu şu şekilde tanımlanır:

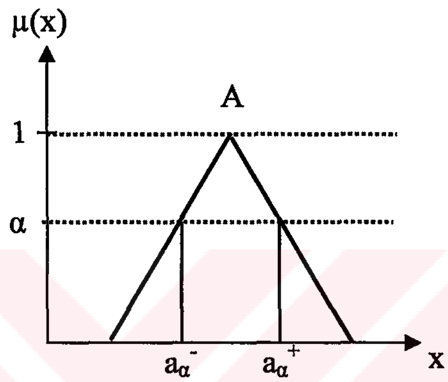
$$Ü_A(X) = ü_A(x;a,b,c,d) = \begin{cases} (x - a)/(b - a) & \text{eğer} \quad a \le x < b \\ 1 & \text{eğer} \quad b \le x \le c \\ (d - x)/(d - c) & \text{eğer} \quad c \le x \le d \\ 0 & \text{eğer} \quad x > d \text{ veya } x < a \end{cases} \tag{3.17}$$

Bulanık sayıların aritmetik işlemlerinde kutlanılmak üzere, bunların belirli bir α seviyesinden kesimleri üzerinde durulacaktır. Çünkü α = 1 olması durumunda sayı gerçek sayıya, α = 0 olmasında ise tam bulanık, yani aralık sayıya dönüşür. 0 < α< 1 olması durumunda aynı bulanık sayının α seviyesinde kesik bulanık alt kümesi düşünülecektir. Bir A bulanık alt kümesinin α seviyesinde kesilmesi ile ortaya çıkan kesik bulanık küme 3.18 eşitliğinde görüldüğü gibi ifade edilir.

$$A_\alpha = \{x \in A \mid ü_A(x) \geq \alpha\} \quad (3.18)$$

Şekil 3.25'de bir bulanık alt kümenin, α seviyesinde kesilmesi ile ortaya çıkan kesilmiş bulanık kümenin a_α^- ve a_α^+ gibi, bir alt bir de üst sınır küme değerleri elde edilir. Notasyon olarak, A gibi bulanık bir alt kümenin α seviyesindeki kesim sınırları cinsinden gösterilişi aşağıdaki gibidir:

$$A_\alpha = \{ a_\alpha^- , a_\alpha^+ \} \quad (3.19)$$



Şekil 3.21. Bulanık sayı kesim seviyeleri

3.5.2.1. Bulanık sayıların toplanması ve çıkarılması

Şekil 3.21'de gösterildiği gibi A ve B bulanık alt kümelerinin α seviyesinde kesimleri $A_\alpha=[a_\alpha^- , a_\alpha^+]$ ve $B_\alpha=[b_\alpha^- , b_\alpha^+]$ olsun. Bu iki bulanık alt kümenin A + B toplamı α kesim seviyesi cinsinden eşitlik 3.20'de görüldüğü gibi hesap edilir.

$$(A + B)_\alpha = [a_\alpha^- + b_\alpha^- , a_\alpha^+ + b_\alpha^+] \quad (3.20)$$

Benzer olarak iki bulanık alt kümenin birbirinden çıkarılması eşitlik 3.21'de görüldüğü gibi hesap edilir.

$$(A - B)_\alpha = [EK (a_\alpha^- - b_\alpha^- , a_\alpha^+ - b_\alpha^+), EB(a_\alpha^- - b_\alpha^- , a_\alpha^+ - b_\alpha^+)] \quad (3.20)$$

Bu işlemler her α seviyesi için geçerlidir. $\alpha = 1$ ve $\alpha = 0$ olması durumunda kesim kümeleri aralık sayılarına dönüşür.Bu değerlerin sonuçlarda yerine koyulması durumunda sonuç bulanık kümelerinin sınırları belirlenebilir.

3.5.2.2. Bulanık sayıların çarpılması ve bölünmesi

İki bulanık sayının çarpım ve bölüm işlemleri α kesim seviyesi cinsinden eşitlik 3.21 ve eşitlik 3.22'de görüldüğü gibi gerçekleştirilir.

$$(A.B)_\alpha=[EK(a_\alpha^-.b_\alpha^-,\ a_\alpha^-.b_\alpha^+,a_\alpha^+.b_\alpha^-,a_\alpha^+.b_\alpha^+),\ EB(a_\alpha^-.b_\alpha^-,a_\alpha^-.b_\alpha^+,a_\alpha^+.b_\alpha^-,a_\alpha^+,b_\alpha^+)] \quad (3.21)$$

$$(A/B)_\alpha=[EK(a_\alpha^-/b_\alpha^-,a_\alpha^-/b_\alpha^+,a_\alpha^+/b_\alpha^-,a_\alpha^+/b_\alpha^+),\ EB(a_\alpha^-/b_\alpha^-,a_\alpha^-/b_\alpha^+,a_\alpha^+/b_\alpha^-,\ a_\alpha^+/b_\alpha^+)] \quad (3.22)$$

3.5.2.3. Genelleme ilkesi

Genelleme ilkesinin kullanılması ile A ve B gibi iki bulanık alt kümenin toplamını aşağıdaki şekilde ifade edebiliriz.

$$\mu_{A+B}(z)= \underset{x+y=z}{\vee\ EB} \{EK[\mu_A(x)+\mu_B(y)]\}, \quad (3.23)$$

Sağ taraftaki EB (En Büyük) işaretinin altındaki x+y=z eşitliği A ve B bulanık kümelerinde değişkenlerden x ve y'nin toplamının, z ettiği tüm durumların bulunması demektir. EK yani en küçükleme de, iki bulanık kümede x ve y değerlerinin üyelik derecelerinden küçük olanının alınması anlamına gelir. Bunu sıcağı sıcağına uygulama ile açıklarsak okuyucu daha iyi anlayabilecektir. A ve B bulanık kümelerinin öğeleri aşağıdaki şekilde verilmiş olsun:

$A=\{0.9/1+0.7/2 + 0.5/ 4 +0.2/6 + 0.1/9\}$
$B=\{1.0/2-0.6/3+0.3/4\}$

Bunların toplanması için önce her bir kümedeki öğeler Kartezyen çarpımdaki gibi eşleştirilerek, eşleşen elemanların toplamları alınır. Böylece, önce çarpını kümesinin öğeleri elde edilir.

Bunlar {(1,2), (1,3), (1,4), (2,2), (2,3), (2,4), (4,2), (4.3), (4,4), (6,2), (6,3), (6,4), (9,2), (9,3), (9.4)} gibi 5x3 = 15 adet öğe olarak bulunur, ikinci aşamada bu eşleşmiş değerlerin toplamı alınarak 15 birleşik öğeli küme elde edilir. Bu küme {3, 4, 5, 4, 5, 6, 6, 7, 8, 8, 9, 10, 11, 12, 13 } öğelerine sahiptir. Böylece, yukarıdaki genelleştirme işlemindeki x+y=z işlemi yapılarak toplam bulanık kümesinin z öğeleri elde edilmiştir. Şimdi soru bu öğelerin tek olanına toplamdaki $\mu_A(x)$ ve $\mu_B(y)$ üyelerinden küçük olanının tayinidir. Mesela, en son kümede 3 öğesi 1 tanedir ve bunun A bulanık kümesinden $Ü_A(1) = 0.9$ üyelik dereceli 1 öğesi ve B bulanık kümesinden de $\mu_B(y\} = 1.0$ üyelik dereceli 2 öğesi alındığından bu üyelik derecelerinin en küçüğü olan 0.9, toplam kümenin 3 öğesinin üyelik derecesini verir, yani $\mu_{A+B}(3)$ =EK[0.9. 1.0] = 0.9 elde edilir. O halde, toplam bulanık kümenin ilk bulanık öğesi 0.9/3'tür.

Diğer taraftan, toplam kümede 4 öğesi 2 tane bulunmaktadır. Bunların önceki tek öğeye benzer olarak üyelik derecelerinin hesaplanması ile birinci 4 öğesinin üyelik derecesi için EK[0.9, 0.6] = 0.6, diğerinin ise EK = [0.7, 1.0] =0.7 elde edilir. Bu iki aynı miktardaki öğenin, yani 4 veya 4'ün olması için önceden elde edilen EK üyelik derecelerinin EB'lenmesi ile $ü_{A+B}(Z)$ = EB[0.6, 0.7] =0.7 elde edilir. Toplam bulanık kümesinin teke indirilmiş 4 öğesinin üyelik derecesi 0.7 olduğundan, bu kümenin 4 öğesinin üyelik derecesi $\mu_{A+B}(4) = 0.7$ olarak gösterilir. Yani, 4 bulanık öğesi 0.7/4 şeklindedir. Diğer öğelerin üyeliklerinin genelleştirme teoremine göre hesaplanması ile sonuç toplam bulanık küme bulunur:

$$\mu_{A+B}(z) = \{ 0.9/3 + 0.7/4 + 0.5/5 + 0.5/6 + 0.5/7 + 0.3/8 + 0.2/9 + 0.2/10 + 0.1/11 + 0.1/12 + 0.1/13\}$$

Benzer olarak çıkarma da aşağıdaki notasyonla tanımlanarak hesaplanabilir.

$$\mu_{A-B}(z) = \wedge_{x-y=z} \text{EB} \{\text{EK}[\mu_A(x), \mu_B(y)]\}, \tag{3.24}$$

3.6. Bulanık Mantığın Avantajları

Bulanık mantığın avantajı, sınıflandırılmış olan nitelikli bilginin kullanılabilir olmasında yatmaktadır. Bulanık mantıklı denetim uygulamalarının diğer yöntemlere göre avantajları şöyle sıralanabilir (Terzi, 2004).

a) Detaylı bir matematiksel model gerektirmezler,

b) Pek çok giriş-çıkış değişkenleri eş zamanlı olarak ele alınabilir,

c) Bulanık denetimdeki tüm kurallar eş zamanlı olarak uygulanır ve sonuçlandırılır, uyuşmayan kurallar biçimsel olarak uydurulabilir,

d) Giriş-çıkış değişkenlerinin tüm birleşimleri için çıkış belirleme zorunluluğu yoktur. Değişkenlerin dikkatli bir seçimi kuralların sayısını önemli ölçüde indirgeyecektir.

e) Bulanık denetleyici içerisine yerleştirilen denetim kuralları sistem girişlerinin belirli birleşimlerinde istenilen çıkış elde edilmezse diğer girişlere dokunulmadan denetim işlemini gerçekleştiren aktif kurallar yeniden düzenlenebilir. Bulanık denetleyiciye kurallar rahatlıkla eklenebilir veya istenen belirli bir özellikteki denetim kurallarının özelliği rahatlıkla sistem davranışım bozmayacak şekilde etkin hale getirilebilir.

f) Bulanık mantık denetleyicilerle klasik mantık denetleyicileri birbirine bağlamak suretiyle denetim performansını artırmak mümkündür.

g) Karmaşık sistemlerde istenen kalite, nitelik ve hıza göre birden fazla bulanık denetleyici kullanılabilir,

h) Gerçek zaman uygulamalarının denetim altına alınabildiği sistemlerde yeterli zaman sağlanabiliyorsa donanımdan ziyade yazılımın verdiği esneklikten dolayı bulanık denetim kullanılmaktadır,

i) Farklı sistemlerde bulanık denetleyici adaptasyonu kolay bir şekilde yapılabilmektedir.

3.7. Bulanık Mantığın Dezavantajları

Bulanık mantık kullanımının dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Terzi, 2004).

a) Uygulamada kullanılan kuralların oluşturulması uzmana bağlıdır. Kullanılan kural tabanı karar mekanizmasının temelinde yer alması nedeniyle uzman tecrübelerine dayanması gerekmektedir.
b) Kullanılacak üyelik fonksiyonlarının bulunması için kullanılabilecek genel bir kural bulunmamaktadır. Belirleme işlemi deneme yanılma yolu ile bulunmasından dolayı uzun zaman alabilmektedir.
c) Bulanık Mantık Sistemleri kendi başlarına öğrenme yeteneğine sahi değillerdir. Bu özelliği sağlamak için sinir ağları kullanımı, endüktif öğrenme gibi yöntemler kullanılmaktadır.
d) Bulanık mantık sistemlerinde kullanılan bulanık alt kümelerin normal ve konveks olması gerekmektedir. Bu şartlara uymayan durumlar için mevcut kuralların kullanılması mümkün değildir.

BÖLÜM 4. BULANIK ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME VE BULANIK ANALİTİK HİYERARŞİ PROSES

Çok ölçütlü karar verme birden fazla, genellikle birbiriyle çatışan (çelişen) ölçütlerin olması durumunda alternatifler arasından seçim yapmak ile ilgilidir. Çok ölçütlü karar verme problemleri birbirinden oldukça farklı olmasına rağmen, hepsinin bazı ortak karakteristikleri vardır (Tüysüz, 2004). Bunlar;

- Alternatifler: Sınırlı sayıda alternatifler arasında önceliklendirme, seçilme ve sıralama yapılır. Buradaki alternatif teriminin yerine adaylar ya da sebepler de kullanılabilir.

- Çok Ölçüt: Her problemde birden fazla ölçüt vardır. Karar verici her bir problem için ilgili ölçütlere göre karar verir. Ölçüt teriminin yerine hedef ya da kriter de kullanılabilir. Bir çok durumda ölçüt sayısı çok fazla olduğunda ölçütler hiyerarşik olarak yapılandırılır. Birkaç tane ana ölçüt bulunabilir ve diğer alt ölçütler bunların altında ifade edilir.

- Ölçütler Arasında Çelişki: Birden fazla ölçüt olduğunda genellikle bunlar arasında çelişki vardır. Örneğin, bir araba seçim probleminde yakıt tüketimi bakımından ekonomik olması arabanın boyutlarının daha da küçük olmasına ve konfor seviyesinin azalmasına neden olabilir.

- Uyumsuz Birimler: Her bir ölçüt bir ölçüm birimine sahiptir. Araba seçim probleminde, yakıt tüketimi km/YTL, konfor eğer yolcu için iç hacim cinsinden ölçülürse m^3, maliyet YTL ve de güvenlik sayısal olmayan bir birimle ifade edilebilir.

• Karar Ağırlıkları: Tüm çok ölçütlü karar verme problemleri ve metodlarında her ölçüt için göreceli ağırlıklar ile ilgili bilgiye ihtiyaç vardır. Bu göreceli önemler toplamı 1 olacak şekilde normalize edilen ağırlıklar şeklindedir. Bu ağırlıklar kara verici tarafından doğruda belirlenebileceği gibi, özvektör yöntemi veya ağırlıklı en küçük kareler yöntemi ile hesaplanabilir.

• Karar Matrisi: Bir çok ölçütlü karar verme problemi matris formatında da ifade edilebilir.

Günlük hayatta karşılaşılan problemlerde genellikle ölçütlere göre alternatiflerin değerlendirmesi tam ve kesin olarak yapılamaz. Bu kesin ve tam olmayışın çeşitli kaynakları olabilir (Tüysüz, 2004). Bunlar;

• Sayısallaştırılamayan Bilgi: Bir arabanın fiyatı para birimi ile ifade edilerek kolayca sayısallaştırılabilirken arabanın konforu ve ya güvenliği sayısallaştırılamaz. Konfor ve güvenlik gibi terimler genellikle iyi, orta, kötü gibi dilsel terimlerle ifade edilir ve bunlar bireyin öznel değerlendirmesine dayanan kalitatif verilerdir.

• Eksik Bilgi: Hızlı hareket eden bir cismin hızı herhangi bir aletle ölçülebilir ve yaklaşık (ya da civarı) 200 km/sa şeklinde belirlenebilir ama tam olarak 200 km/sa şeklinde belirtilemez. Bu gibi veriler de bulanık kümeler ile ifade edilebilir.

• Elde Edilemeyen Bilgi: Bazen klasik ve kesin veri elde edilebilir ama maliyeti çok yüksek olabileceğinden dolayı kara verici bu verinin yaklaşık değerini seçebilir. Verilerin çok duyarlı olduğu durumda yaklaşık bazı veriler ve ya dilsel tanımlamalar kullanılır. Bu yüzden de bilgi bulanıktır.

• Kısmi Aldırmazlık ya da Görmezden Gelme: Bazı bulanıklık kısmi görmezden gelme ya da görememeden kaynaklanabilir, çünkü insan sadece gerçeğin bir kısmını bilebilir.

Klasik çok ölçütlü karar verme yöntemleri bu gibi kesin olmayan bilginin bulunduğu problemleri etkin bir şekilde ele alamaz. Bu sebeplerden dolayı bu sorunları ortadan kaldırmak için bulanık kümeler teorisi kullanılmaktadır.

Çok ölçütlü karar vermede ve genel olarak karar verme modellerinde alternatiflerin performanslarının ifade edilmesinde kesin olmayan veriler bulunabilir. Bunun Ribeiro'ya göre 3 önemli nedeni vardır (Kabak, 2003): Birincisi tamamlanmamış olmak (verilerin yetersiz olduğu durumlarda, örneğin alternatif veya ölçütler kayıpsa). İkincisi bulanıklık (özellik, alternatif ve ölçütler için kesin kavramların elde edilemediği durumlarda, örneğin konfor gibi bir ölçütün bireyden bireye farklı tanımlanması gibi). Üçüncüsü ise doğrulukta yanılma (hatalı, yanlış sonuçlar bulmayla ilgilidir, örneğin bir ölçüt açısından kötü değer alan bir alternatife bir başka ölçüt açısından yüksek değer verilmesi sebebiyle o alternatifin öne çıkması durumu gibi).

Çok ölçütlü karar verme yöntemlerinin birçoğunun bulanık biçimi geliştirilmiştir. Bunlar çeşitli araştırmacılar tarafından ortaya koyulmuş ve farklı alanlarda uygulanmışlardır. Geliştirilen bu bulanık çok ölçütlü karar verme yöntemlerinin teorik yapısı, hesaplama prosedürü ve karakteristikleri de birbirinden farklıdır. Bu yöntemlerin çeşitli araştırmacılar tarafından ortaya konan yaklaşımları, kullanılan veri tipi, baz aldığı klasik çok ölçütlü karar verme yöntemi ve kullandığı tekniğe göre sistematik sınıflandırılması Tablo 4.1'deki gibidir (Tüysüz, 2004).

Tablo 4.1 Bulanık Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri

	Veri Tipi	Baz Alınan Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemi	Kullanılan Teknik	Yaklaşımlar
BULANIK ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME	Tümü Bulanık	Basit Eklemeli Ağırlıklandırma Yöntemi	α - Kesimi	Baas ve Kwakernaak (1977) Kwakernaak (1979) Dubois ve Prade (1980) Cheng ve Mcinnis (1980)
			Bulanık Aritmetik	Bonissone (1980, 1982)
		AHP	Özvektör Yöntemi	Saaty (1977)
			Ağırlık Değerlendirme Aritmetik İşlemi	Laarhoven ve Pedrycz (1983) Buckley (1984, 1985)
			Sentetik Değerler	Chang (1992, 1996)
	Klasik \ Bulanık	Birleştirme \ Ayrıştırma Yöntemi	Olasılık ve Gereklilik Ölçüleri	Dubois et al. (1988)
		Çok Ölçütlü Fayda Fonksiyonu	İnsan Önsezisi	Efatathiou ve Rajkovic (1979)
		Genel Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemi	Sıralama Yöntemleri Bulanık Aritmetik	Negi (1989)
	Tümü Klasik	Eleme Yöntemi	Bulanık Eleme (outranking) İlişkisi	Siskos et al. (1984) Brana et al. (1984)
	Tümü Bulanık	Maximin	Max ve Min Operatöerleri	Bellman ve Zadeh (1970) Yager (1978)
	Klasik \ Bulanık	Genel Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemi	Dilsel Bulanık Küme Klasik Puan	Chen ve Hwang (1992)

4.1. Bulanık Analitik Hiyerarşi Proses Yöntemleri

AHP yöntemini ilk olarak öneren Saaty iki çeşit bulanıklıktan söz etmiştir. Bunlar algıda bulanıklık ve anlamda bulanıklıktır. Birincisi bir seferde kavranamayan nesnelerin veya fikirlerin karmaşıklığından kaynaklanmaktadır. İkincisi ise anlamın göreceliğiyle ilgilidir. AHP işte bu bulanıklıkları temsil etmek üzere geliştirilmiştir. Fakat yöntemin açıklamasında da görülebileceği gibi yapılan ikili karşılaştırmalar reel sayılar ile gerçekleştirilmektedir. Yani bulanık bilgileri ifade etmek için doğrudan bulanık sayılar veya üyelik fonksiyonları kullanılmamıştır. Bu yüzden klasik AHP'ye tam olarak bir bulanık modelleme denemez (Kabak, 2003). Çoğu araştırmacı bulanıklık ve belirsizliğin birçok karar verme probleminin temel karakteristiği olduğunu işaret etmiştir. Karar verme modelleri ve karar vericilerin başarısı belirsizliğe müsamaha göstermesine bağlıdır.

Literatürde pek çok bulanık AHP uygulaması mevcuttur. Bu uygulamalarda da farklı AHP yaklaşımları kullanılmıştır. Çeşitli araştırmacılar tarafından, bulanık kümeler kuramını ve hiyerarşik yapıyı kullanarak çok ölçütlü ortamda en iyi seçeneği belirlemeye veya seçenekleri sıralamaya yönelik çeşitli yöntemler sunulmuştur. Kıyaslama prosesinin bulanık doğasından dolayı karar vericiler ikili kıyaslamalarını sabit bir değer olarak belirlemektense, bir aralık üzerinde ifade etmeyi veya sözel olarak gerçekleştirmeyi tercih etmektedirler.

Bulanık AHP konusunda ilk çalışma üçgensel bulanık sayılarla ifade edilen bulanık oranları kıyaslayan Van Laarhoven ve Pedrytcz (1983) tarafından yapılmıştır. Daha sonra Buckley (1985) yamuk bulanık sayıları kullanarak bir model geliştirmiştir. Chang (1996), bulanık AHP'nin ikili karşılaştırma ölçeği için üçgensel bulanık sayıları ve ikili karşılaştırmaların yapay mertebe değerleri için mertebe analizi yöntemini kullanarak AHP'nin ele alınmasında yeni bir yaklaşım ortaya koymuştur (Kaptanoğlu, 2004). Burada anılan üç yöntemin ayrıntılı anlatımları izleyen bölümlerde anlatılmaktadır.

4.1.1. Laarhoven ve Pedrycz'in yöntemi

Laarhoven ve Pedrycz (1983) doğrudan Saaty'nin AHP'sinin bir uzantısı olan yöntem önermişlerdir. Bu modelde karşılaştırma matrisindeki elemanlar üçgensel bulanık sayılardır. Hesaplama adımları AHP deki ile aynıdır. Bulanık ağırlıkları ve bulanık performans değerlerini elde etmek için Lootsma'nın en küçük kareler metodu kullanılır. Lootsma'nın en küçük kareler yöntemi (Kaptanoğlu, 2004):

Pozitif karşılaştırma matrisi şöyle gösterilsin:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & & a_{2n} \\ \vdots & & & \\ a_{n1} & a_{n2} & & a_{nn} \end{bmatrix} \tag{4.1}$$

a_{ij} reel sayılardır. Ağırlık vektörü $\underline{w}$ = (w_1, w_2, …,w_n) şu ifadenin minimize edilmesiyle elde edilir.

$$\sum_{i<j} \left(\ln a_{ij} - \ln\left(w_i / w_j\right)\right)^2 \tag{4.2}$$

Çok karar verici olması durumunda ise aşağıdaki ifade minimize edilerek ağırlık vektörü bulunur.

$$\sum_{i<j} \sum_{k=1}^{Pij} \left(\ln a_{ijk} - \ln\left(w_i / w_j\right)\right)^2 \tag{4.3}$$

k = 1, 2, …, p_{ij} w_i, / w_j için p_{ij} değerleridir. Eğer hiç kıyaslama oranı ifade edilmemişse p_{ij} oranı sıfırdır. Tek karar verici olması durumunda 1, birden çok kıyaslama oranı olduğunda da birden büyüktür.

Eğer $y_{ijk} = \ln a_{ijk}$, $z_i = \ln w_i$ ve $z_j = \ln w_j$ olarak alınırsa,

$$\sum_{i<j}\sum_{k=1}^{P_{ij}}\left(y_{ijk} - z_i + z_j\right)^2 \tag{4.4}$$

$$z_i \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq 1}}^{n} p_{ij} - \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq 1}}^{n} p_{ij} z_j = \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq 1}}^{n}\sum_{k=1}^{p_{ij}} y_{ijk}, \forall i, \tag{4.5}$$

Formül (4.4), (4.5)'deki normal denklemleri z_i için çözerek minimize edebiliriz. z_i'nin üslerini alarak ve normalize ederek ağırlık vektörü $\underline{w} = (w_1, w_2, \ldots, w_n)$'i elde ederiz.

Algoritma:

Adım 1: Karar vericilere danışarak Tablo 4.2'de görülen n+1 bulanık karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Burada a_{ijpij} değerleri, çoklu karar vericiler tarafından belirlenen bulanık oranlardır. Hiçbir karar verici karşılaştırma oranlarını açıklamadığı zaman p_{ij} 0 olabilir veya karar verici sayısı birden çok olduğunda p_{ij} 1'den büyük olabilir.

Adım 2: $z_i = (l_i, m_i, u_i)$ olsun aşağıdaki doğrusal denklemler çözülür.

$$l_i\left(\sum_{\substack{j=1 \\ j\neq 1}}^{n} p_{ij}\right) - \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq 1}}^{n} p_{ij} u_j = \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq 1}}^{n}\sum_{k=1}^{p_{ij}}\left[\ln l_{ijk}\right], \forall i, \tag{4.6}$$

$$m_i\left(\sum_{\substack{j=1 \\ j\neq 1}}^{n} p_{ij}\right) - \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq 1}}^{n} p_{ij} m_j = \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq 1}}^{n}\sum_{k=1}^{p_{ij}}\left[\ln m_{ijk}\right], \forall i, \tag{4.7}$$

$$u_i\left(\sum_{\substack{j=1 \\ j\neq 1}}^{n} p_{ij}\right) - \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq 1}}^{n} p_{ij} l_j = \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq 1}}^{n}\sum_{k=1}^{p_{ij}}\left[\ln u_{ijk}\right], \forall i, \tag{4.8}$$

Tablo 4.2. Çoklu karar vericilerin bulanık karşılaştırma matrisi

$$D = \left|\begin{array}{cccc}
(1,1,1) & \begin{matrix} a_{121} \\ a_{122} \\ \vdots \\ a_{12p_{12}} \end{matrix} & \cdots & \begin{matrix} a_{1n1} \\ a_{1n2} \\ \vdots \\ a_{1np_{1n}} \end{matrix} \\
\hdashline
\begin{matrix} a_{211} \\ a_{212} \\ \vdots \\ a_{21p_{21}} \end{matrix} & (1,1,1) & \cdots & \begin{matrix} a_{2n1} \\ a_{2n2} \\ \vdots \\ a_{2np_{2n}} \end{matrix} \\
\hdashline
\vdots & & & \\
\hdashline
\begin{matrix} a_{n11} \\ a_{n12} \\ \vdots \\ a_{n1p_{n1}} \end{matrix} & \begin{matrix} a_{n21} \\ a_{n22} \\ \vdots \\ a_{n2p_{n2}} \end{matrix} & \cdots & (1,1,1)
\end{array}\right|$$

$\ln(a_{ijk}) = -\ln(a_{ijk})$'nın alt ve üst değerleri olan $\ln(l_{ijk})$ ve $\ln(u_{ijk})$ aşağıdaki eşitliği sağlamalıdır.

$$\ln(l_{ijk}) + \ln(l_{jik}) = \ln(u_{ijk}) + \ln(u_{jik}) = 0, \ \forall\ i, j, k \qquad (4.9)$$

Böylece (4.6) ve (4.8) de verilen denklemler lineer bağımlıdır. Bu (4.7) deki denklem için de geçerlidir. Genel olarak (4.6), (4.7) ve (4.8) deki denklemler için bir çözüm şu şekilde verilir:

$$z_i = (l_i + t_1, m_i + t_2, u_i + t_1), \ \forall\ i, \qquad (4.10)$$

burada t_1 ve t_2 rastgele seçilmektedir.

Adım 3: Yukarıda verilen lineer sistemde, denklemlerin tümünün sağ taraflarında logaritmik işlemler yer almıştı. Aşağıda gösterildiği gibi, bulanık ağırlık w_i'yi hesaplamak için; l_i, m_i, u_i 'nin eksponansiyeli hesaplanır.

$$w_i = (\lambda_1 \exp(l_i), \lambda_2 \exp(m_i), \lambda_3 \exp(u_i)) \qquad (4.11)$$

Burada;

$$\lambda_1 = \left(\sum_{i=1}^{n} \exp(u_i) \right)^{-1}$$

$$\lambda_2 = \left(\sum_{i=1}^{n} \exp(m_i) \right)^{-1} \qquad \text{dir.}$$

$$\lambda_3 = \left(\sum_{i=1}^{n} \exp(l_i) \right)^{-1}$$

(4.12)'deki eşitlik r_{ij} performans puanını hesaplamak için de kullanılabilir.

Adım 4: Adım 1'den adım 3'e, tüm karşılaştırma matrisleri çözülene kadar devam edilir. Bulanık ağırlıklar ve performans puanları kullanılarak, A_i seçeneğinin bulanık fayda değeri (4.12)'deki gibi hesaplanır.

$$Ui = \sum_{j=1}^{n} w_i r_{ij} \qquad (4.12)$$

4.1.2. Buckley'in yöntemi

Buckley (1985)'de Saaty'nin AHP yönteminin bir başka uzantısını, aij bulanık kıyaslama oranlarıyla geliştirmiştir. Buckley, Laarhoven ve Pedrycz'in yöntemindeki iki soruna dikkati çekmiştir. Bunlar, (4.6), (4.7) ve (4.8) ile verilen lineer denklemlerin tek bir çözümünün olmaması ve illa üssel bulanık sayıların kullanımının gerekmesidir (Kaptanoğlu, 2004).

Buckley bu sorunları çözebilmek amacıyla, performans puanlarını hesaplamak için geometrik ortalama kullanmıştır, çünkü karşılaştırma matrisi için tek bir çözüm garanti eder. Bulanık oranları ise bulanık yamuk sayılarla göstermiştir.

Pozitif karşılaştırma matrisi şöyle gösterilsin:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & & a_{2n} \\ \vdots & & & \\ a_{n1} & a_{n2} & & a_{nn} \end{bmatrix} \tag{4.13}$$

Her satırın geometrik ortalaması şu şekilde hesaplanır:

$$z_i = \left[\prod_{j=1}^{n} a_{ij} \right]^{1/n} \tag{4.14}$$

w_i ağırlığı ise:

$$w_i = z_i / (z_i + \ldots + z_n),\ \forall\ i \tag{4.15}$$

şeklindedir.

Algoritma:

Yöntem tek veya birden fazla karar verici olması durumlarında uygulanabilir. Tek karar verici için adımlar şu şekildedir:

Adım 1: Karar vericiye danışarak, elemanları $\tilde{a}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij})\ \forall\ i, j$, yamuk bulanık sayılar olan, karşılaştırma matrisi oluşturulur.

Adım 2: Bulanık w_i ağırlıkları şu şekilde hesaplanır. Her sıra için geometrik ortalamalar (4.16) ile bulunur.

$$z_i = (\tilde{a}_{i1} \otimes \ldots \otimes \tilde{a}_{in})^{1/n}\ \forall\ i \tag{4.16}$$

Bulanık ağırlık w_i :

$$w_i = z_i \otimes (z_1 \oplus \ldots \oplus z_n)^{-1} \tag{4.17}$$

dir. Burada $\otimes$ ve $\oplus$, sırasıyla bulanık çarpma ve bulanık toplama işlemlerini göstermektedir. Karşılaştırma matrisi elemanı a_{ij}'nin sol ve sağ bölümü şu şekilde tanımlanır:

$$f_i(\alpha) = \left[\prod_{j=1}^{n}\left(\left(b_{ij} - a_{ij}\right)\alpha + a_{ij}\right)\right]^{1/n}, \alpha \in [0,1], \tag{4.18}$$

$$g_i(\alpha) = \left[\prod_{j=1}^{n}\left(\left(c_{ij} - d_{ij}\right)\alpha + b_{ij}\right)\right]^{1/n}, \alpha \in [0,1], \tag{4.19}$$

ayrıca,

$$a_i = \left[\prod_{j=1}^{n} a_{ij}\right]^{1/n} \tag{4.20}$$

$$a = \sum_{i=1}^{m} a_i \tag{4.21}$$

Benzer şekilde b_i ve b, c_i ve c, d_i ve d hesaplanır. bulanık ağırlık w_i şu şekilde hesaplanır.

$$w_i = \left(\frac{a_i}{d}, \frac{b_i}{c}, \frac{c_i}{b}, \frac{d_i}{a}\right), \forall i \tag{4.22}$$

x, yatay eksen üzerinde bir reel sayı olmak üzere, μ_{w_i} (x) şu şekilde özetlenebilir:

X	μ_{w_i} (x)
(a_i/d)	0
(d_i/a)	0
[b_i/c, c_i/b]	1
[a_i/d, b_i/c]	$\alpha \in [0,1]$
[c_i/b, d_i/a]	$\alpha \in [0,1]$

$x \in [a_i/d, b_i/c]$ ise, $x = f_i(\alpha) / g_i(\alpha)$ (4.23)

$$f(\alpha) = \sum_{i=1}^{m} f_i(\alpha) \tag{4.24}$$

$$g(\alpha) = \sum_{i=1}^{m} g_i(\alpha) \tag{4.25}$$

Benzer şekilde, bulanık performans puanları, r_{ij}, $\forall$ i, j, elde edilene kadar adım 2 tekrarlanır.

Adım 3: Bulanık ağırlıklar ve bulanık performans puanları, bulanık çok ölçütlü karar verme problemlerinde olduğu gibi birleştirilir. Bulanık fayda değerleri, u_i'ler (4.26)'daki gibi hesaplanır.

$$Ui = \sum_{j=1}^{n} w_i r_{ij} \quad \forall\, i, \tag{4.26}$$

4.1.3. Chang'in Mertebe analizine dayalı bulanık AHP yöntemi

$x = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$, bir ölçüt kümesi ve $U = \{u_1, u_2, \ldots, u_n\}$, bir amaç kümesi olsun. Chang'in yöntemine göre, her bir ölçüt alınır ve her bir hedef için mertebe analizi uygulanır (Kaptanoğlu, 2004). Böylece her bir ölçüt için m tane mertebe analiz değerleri elde edilir. Bu değerler şu şekilde gösterilir.

$$M_{g_i}^{1}, M_{g_i}^{2}, \ldots, M_{g_i}^{m} \qquad i = 1, 2, \ldots, n \tag{4.27}$$

Burada tüm $M_{g_i}^{j}$ (j = 1, 2, …, m)'ler üçgensel bulanık sayıdır.

Chang'in mertebe analizinin adımları şu şekilde sıralanabilir (Chang 1996, Kahraman ve diğ. 2004):

Adım 1: Ölçüt i'ye göre bulanık sentetik mertebenin değeri şu şekilde tanımlanır.

$$Si = \sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j} \otimes \left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j} \right]^{-1} \tag{4.28}$$

Buradaki $\sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j}$ değerini elde etmek için m mertebe analiz değerine (4.29)'da görüldüğü gibi bulanık toplama işlemi uygulanır.

$$\sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j} = \left(\sum_{j=1}^{m} l_j , \sum_{j=1}^{m} m_j , \sum_{j=1}^{m} u_j \right) \tag{4.29}$$

$$\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j} = \left(\sum_{i=1}^{n} l_i , \sum_{i=1}^{n} m_i , \sum_{i=1}^{n} u_i \right) \tag{4.30}$$

Daha sonra (4.30)'daki vektörün tersi şu şekilde elde edilir.

$$\left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j} \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} u_i} , \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} m_i} , \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} l_i} \right) \tag{4.31}$$

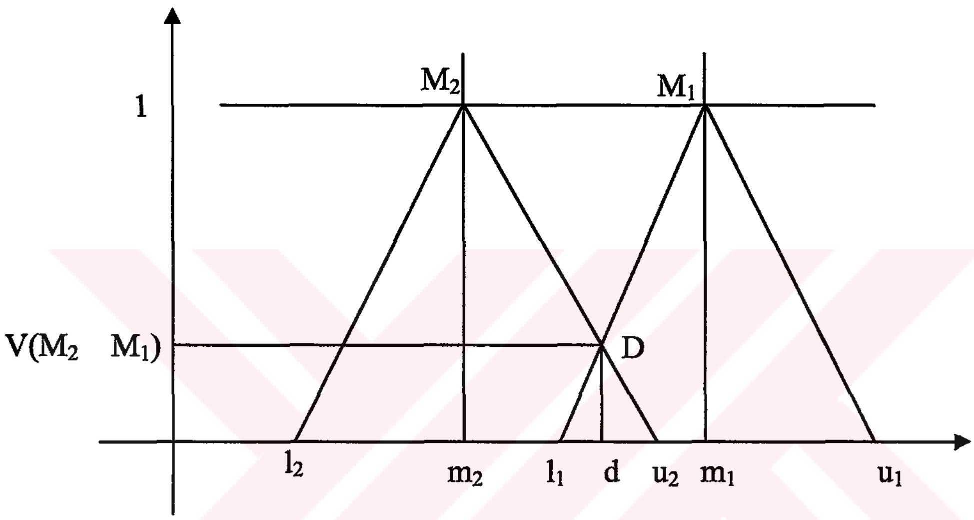
Adım 2: $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \quad M_1 = (l_1, m_1, u_1)$'nin olabilirlik derecesi şu şekilde tanımlanır.

$$V\,(M_2 \quad M_1) = \sup_{y \geq x} \left[\min \mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y) \right] \tag{4.32}$$

Denk olarak (4.33)'deki gibi de ifade edilebilir:

$$V(M_2 \quad M_1) = hgt(M_1 \quad M_2) = \mu_{M_2}(d) \begin{cases} 1, & eger \quad m_2 \geq m_1 \\ 0, & eger \quad l_1 \geq u_2 \\ \dfrac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & diger \end{cases} \qquad (4.33)$$

Denk şekilde V(M_2 M_1)'i, d, μ_{M_1} ve μ_{M_2} arasındaki en yüksek kesişim noktası D'nin ordinatı olmak üzere Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi ifade edebiliriz.



Şekil 4.1. M_1 ve M_2 arasındaki keşsim noktası (Kaptanoğlu, 2004).

M_1 ve M_2'yi kıyaslayabilmek için V(M_2 M_1) ve V(M_1 M_2) değerlerinin her ikisi de gerekmektedir.

Adım 3: Bir konveks bulanık sayının k tane konveks bulanık sayıdan M_i (i=1, 2, ., k) büyük olmasının olabilirlik derecesi şu şekilde tanımlanır.

$$V(M \quad M_1, M_2, \ldots, M_k) = V\,[\,(M \quad M_1) \text{ ve } (M \quad M_2) \text{ ve} \ldots \text{ve } (M \quad M_k)\,]$$

$$= \min V(M \quad M_i), \qquad i = 1, 2, \ldots, k \qquad (4.34)$$

$$d'(A_i) = \min V(S_i \quad S_k), \qquad (4.35)$$

olduğunu varsayalım, $k = 1, 2, \ldots, n$; $k \quad i$ için ağırlık vektörü (4.36)'da görüldüğü gibidir.

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \ldots, d'(A_n))^T \tag{4.36}$$

Burada A_i ($i = 1, 2, \ldots, n$) n sayısı kadardır.

Adım 4: Normalize edilmiş ağırlık vektörleri, (4.37)'deki gibidir. Burada W, bulanık olmayan bir sayıdır.

$$W = (d(A_1), d(A_2), \ldots, d(A_n))^T \tag{4.37}$$

Chang'in yönteminde, kullanılan bulanık önem dereceleri Tablo 4.3'de gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Bulanık Önem Dereceleri

SÖZEL ÖNEM	BULANIK ÖLÇEK	KARŞILIK ÖLÇEK
Eşit önem	(1,1,1)	(1/1,1/1,1/1)
Biraz daha fazla önemli	(1,3,5)	(1/5,1/3,1/1)
Kuvvetli derecede önemli	(3,5,7)	(1/7,1/5,1/3)
Çok kuvvetli derecede önemli	(5,7,9)	(1/9,1/7,1/5)
Tamamıyla önemli	(7,9,9)	(1/9,1/9,1/7)

4.2. Bulanık Analitik Hiyerarşi Proses Yöntemlerinin Değerlendirilmesi

Saaty tarafından geliştirilen klasik AHP yönteminde karar vericinin belirlediği ikili karşılaştırma ilişkileri belirgin sayılarla ifade edilmiştir. Yine de ikili karşılaştırma ilişkileri sürecinin başında sözel olarak ifade edildikleri ve sonradan sözel ifadeler belirgin sayılara dönüştürüldüğü için klasik AHP bulanık bir modelleme olarak görülebilir. Fakat esas bulanık yöntem olarak değerlendirilen yaklaşımlar "Laarhoven ve Pedrycz" ve "Buckley" tarafından geliştirilmiştir.

Laarhoven ve Pedrycz yaklaşımında karşılaştırma ilişkileri karar vericiden klasik AHP'deki gibi sözel olarak alınır. Fakat sözel ifadeler ikili karşılaştırma matrislerinde belirgin sayılarla değil üçgen bulanık sayılarla temsil edilir. Buckley yaklaşımında ise karar vericinin sözel ifadeleri yamuk bulanık sayılarla gösterilir. Laarhoven ve Pedrycz yaklaşımında her alternatifin bulanık faydası üçgen bulanık sayı olarak ortaya çıkar, fakat Buckley yaklaşımında bulanık faydaların bulanık yamuk sayı olma zorunluluğu yoktur. Klasik AHP'de özvektör yöntemiyle gerçekleştirilen karşılaştırma matrislerinden performans puanları ve ölçüt ağırlıklarına geçiş Laarhoven ve Pedrycz yaklaşımında Lootsma'nın logaritmik en küçük kare yöntemiyle; Buckley yaklaşımında ise geometrik ortalama yöntemi ile gerçekleştirilir (Ayyıldız, 2003). Tablo 4.4'de bahsedilen durumlar özetlenmiştir.

Tablo 4.4. AHP Yaklaşımlarının Değerlendirilmesi (Ayyıldız, 2003).

	Klasik AHP	Laarhoven ve Pedrycz	Buckley	Chang
Sözel ikili karşılaştırmaların temsil edilmesi	Belirgin sayılar	Üçgen bulanık sayılar	Yamuk bulanık sayılar	Üçgen bulanık sayılar
Alternatiflerin fayda değerleri	Belirgin sayılar	Üçgen bulanık sayılar	Özel tanımlı bulanık sayılar	Konveks bulanık sayılar
Ağırlık değerlendirme yöntemi	Özvektör yöntemi	Lootsma logaritmik en küçük kare yöntemi	Geometrik ortalama yöntemi	Bulanık sayıların kesişimi

Klasik bulanık AHP yönteminin en önemli dezavantajı bulanık değişkenler ve karar vericiler arasındaki etkileşimi göz ardı etmesidir. Ayrıca, klasik yöntemler uygulandığında sadece üçgensel üyelik fonksiyonları uygulanabilmektedir. Konkav, konveks veya konkav-konveks üyelik fonksiyonlarından yararlanılamamaktadır. Geleneksel bulanık AHP yönteminin bir diğer dezavantajı da kesin bir sonuca ulaşmak için fazladan durulaştırma işlemine ihtiyaç duymasıdır. Büyüközkan ve diğ. (2004) ise bulanık AHP yöntemlerinin kıyaslamasını şöyle gerçekleştirmiştir.

Tablo 4.5. Bulanık AHP Yöntemlerinin Kıyaslaması (Büyüközkan ve diğ., 2004)

KAYNAK	YÖNTEMİN TEMEL ÖZELLİKLERİ	AVANTAJLAR	DEZAVANTAJLAR
Laarhoven ve Pedrycz (1983)	*Saaty'nin AHP yönteminin üçgensel bulanık sayılarla doğrudan uygulanması. *Bulanık ağırlıkları ve performans puanlarını elde etmek için Lootsma en küçük kareler yöntemi kullanılır.	*Karşılık matriste birden çok karar vericinin fikirleri modellenebilir.	*Lineer denklemlerin her zaman çözümü yoktur. *Küçük bir problem için bile çok fazla hesaplama gerekir. *Sadece üçgensel bulanık sayılar kullanılabilmektedir.
Buckley (1985)	*Saaty'nin AHP yönteminin yamuk bulanık sayılarla doğrudan uygulanması. *Bulanık ağırlıkları ve performans puanlarını elde etmek için geometrik ortalama yöntemi kullanılır.	*Bulanık uyarlaması kolaydır. *Karşılık kıyaslama matrisi için tek bir çözüm garanti eder.	*Çok fazla hesaplama gerektirmektedir.
Boender ve diğ. (1989)	*Laarhoven ve Pedrycz'in yönteminin geliştirilmişidir. *Yerel önceliklerin normalize edilmesi için daha sağlam bir yaklaşım sunulur.	*Birden çok karar vericinin fikirleri modellenebilir.	*Çok fazla hesaplama gerektirmektedir.
Chang (1996)	*Sentetik derece değerleri *Basit seviye sıralaması *Birleşik toplam sıralama	*Hesaplama gereksinimi diğer yöntemlere göre azdır. *Klasik AHP yönteminin adımları takip edilir, ek bir işlem gerektirmez.	*Sadece üçgensel bulanık sayılar kullanılabilmektedir.
Cheng (1996)	*Bulanık standartlar geliştirir. *Performans puanları üyelik fonksiyonları ile gösterilir. *Birleşik ağırlıkları hesaplamak için entropi kullanılır.	*Hesaplama gereksinimi çok değildir.	*Entropi olasılık dağılımı bilindiği zaman kullanılır. Yöntem hem olasılık hem de olabilirlik ölçülerine dayanmaktadır.

4.3. Literatürde Bulanık AHP Uygulamaları

Literatürde çeşitli yazarlar tarafından önerilen birçok Bulanık AHP yöntemi bulunmaktadır. Bu metotlar, bulanık küme teorisi kavramını ve hiyerarşik yapı analizini kullanarak bir alternatifin seçimini ve ağırlıklandırılmasına yönelik sistematik yaklaşımları içerir.

Stam ve diğ. (1996), son zamanlarda geliştirilen yapay zeka tekniklerinin AHP yönteminde tercih puanlamalarının belirlenmesi veya yaklaşık olarak elde edilmesinde nasıl kullanılabileceğini ortaya koymaktadırlar. Bunun sonucunda yazarlar ileri besleme sinir ağları formülasyonun kesin olmayan veya bulanık oran skalalı tercih değerlendirmeli ayrık alternatif çok kriterli karar verme problemlerinin analizi için daha güçlü bir araç olduğu sonucuna varmaktadırlar.

Chang (1996), bulanık AHP'nin ikili karşılaştırma skalası için üçgensel bulanık sayıların kullanılması ve ikili karşılaştırmaların sentetik derece değerleri için derece analiz yönteminin kullanılmasını içeren yeni bir yaklaşım ortaya koymaktadır.

Weck ve diğ. (1997), bulanık matematiği klasik AHP'ye uygulayarak farklı üretim çevrim alternatiflerinin değerlendirilmesi için bir metot sunmaktadırlar. Bu anlamda değerlendirilen herhangi bir üretim çevrimi bir bulanık kümeyi ortaya çıkarmaktadır. Bu analizin sonucu son olarak bulanık kümenin ağırlık merkezi yüzeyini oluşturarak durulaştırılır ve incelenen alternatif üretim çevrimi ana hedef kümesine göre sıralanır.

Cvetkovic ve diğ. (1999), endüstriyel salonların akustik konfor optimizasyonu için bulanık AHP yöntemini kullanmıştır. Belirlenen kriterler açısından alternatifler sözel olarak karşılaştırılarak bunların bulanık kümeleri tanımlanmış, akustik değerleri gösteren kriterlerin değerlendirilmesi ise normal AHP ile çözülmüştür. Daha sonra bunların çarpımlarıyla alternatifler arasından en iyi olanına ulaşılmıştır.

Deng (1999), kalitatif çok kriterli karar verme problemlerini basit ve açık bir şekilde ele almak için bir bulanık yaklaşım ortaya koyar. Lee ve diğ. (1999), AHP'nin arkasındaki ana fikirleri gözden geçirirler. Bu fikirlere dayanarak, karşılaştırma aralığı kavramını ortaya koyarlar ve global tutarlılığı sağlamak ve karşılaştırma sürecinin bulanıklığını göz önüne almak için stokastik optimizasyona dayalı bir metodoloji önerirler. Cheng ve diğ. (1999), dilsel değişken ağırlıklarına dayalı AHP yöntemini kullanarak, silah sistemlerinin değerlendirilmesi için yeni bir metot önerirler. Zhu ve diğ. (1999), bazı derece analiz metotlarını ve bulanık AHP uygulamalarını tartışmaktadırlar.

Leung ve Cao (2000), bulanık AHP'deki alternatifler için tolerans sapmasını dikkate alan bir bulanık tutarlılık tanımı önerirler. Tolerans sapmalarına izin veren göreceli önemlerin bulanık oranları, yerel önceliklerin üyelik derecelerinde kısıtlar olarak formüle edilir. Bulanık yerel ve genel ağırlıklar genelleme prensibi ile belirlenir. Alternatifler, maksimum-minimum sıralama yöntemi uygulanarak genel ağırlıklara göre sıralanırlar.

Mikhailov (2000), AHP yönteminde ikili karşılaştırma matrislerinden önceliklerin elde edilmesinin AHP'nin en önemli bileşenlerinden biri olduğunu belirterek, öncelik vektörünün bu matrislerden elde edilmesi için en fazla kullanılan öz vektör metodu ve logaritmik en küçük kareler yönteminin yerine önceliklendirme sürecinin geometrik temsiline dayanan alternatif bir yeni bulanık programlama metodu önermektedir. Bu yöntemde, önceliklendirme problemi standart lineer program şeklinde çözülebilen bulanık programlama problemine dönüşmektedir. Bu yöntemin özellikle karar vericinin tercihleri oldukça tutarsız olduğu durumda diğer yöntemlerden daha iyi sonuç vereceği belirtilmektedir (Tüysüz, 2004).

Chou ve Liang (2001), AHP yöntemini ve entropi kavramını kullanarak deniz taşımacılığı firmasının performans değerlendirmesi için bir bulanık çok kriterli karar verme modeli önermektedirler. Modelde AHP, kriterlerin ve alt kriterlerin öznel ağırlıklarını bulmak için kullanılmakta ve daha sonra üçgensel ve yamuk bulanık sayılarla karakterize edilen dilsel değerler kullanılarak alternatiflerin çeşitli öznel ve nesnel kriterlere göre değerlendirilmesi yapılmaktadır. Yamuk bulanık sayılar finansal değerlendirme değerlerini, üçgensel bulanık sayılar ise öznel kriterleri temsil etmektedirler. Son olarak da en iyi seçimi yapmak için çeşitli gemi taşımacılığı yapan firmaların bir araya toplanan bulanık değerlendirmeleri sıralanmaktadır.

Feng ve diğ. (2001), Çinin Changging şehrinin uzaktan algılama sistemi ile elde edilen verilerini bulanık AHP yöntemi ile değerlendirilerek bu şehrin mühendislik yapıları için uygun yerlerini tespit etmiştir

Shon ve diğ.(2001), karar verme sürecinde yetersiz kalan kamusal algılamanın yol açtığı ana hataları çözecek bir metot önermişlerdir. Analitik Hiyerarşi Proses ve çok ölçütlü fayda analizi metodolojide kullanılmıştır. Belirsizliği gidermek içinse bulanık küme teorisinden faydalanılmıştır. Metot, Kore'de kullanılmış yakıt depolama süreci ile ilgili 6 fikrin değerlendirilmesinde kullanılmış ve beklenildiği gibi çalışmanın sonucunda kamusal risk algılaması nükleer ilişkili karar verme prosesinde önemli bir eleman olarak ortaya çıkmıştır.

Tsaur ve diğ. (2002), hava yollarının, birçok ölçütün birleşimi olan servis kalitesinin değerlendirilmesi için AHP ve TOPSIS yöntemlerini uygulamaktadırlar. Servis kalitesi bir çok ölçütün bileşkesi olmasından ve de bunların çoğunun soyut (intangible) ölçütler olmasından dolayı ölçülmesinin zor olduğu belirtilerek performans ölçümünde bulanık kümeler teorisi kullanılmaktadır. Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi için AHP yöntemi ve bunların sıralanması için de TOPSIS tekniğini kullanılmaktadırlar.

Kuo ve diğ. (2002), yeni mağaza yerleştirmek için bir karar destek sistemi geliştirmiştir. İlk olarak, ilgili çalışmaların incelenmesi ve perakende sektörü uzmanlarının görüşleri doğrultusunda bulanık AHP'nin hiyerarşik yapısı formüle edilmiştir. Daha sonra resmi yayınlar ve güncel araştırmalardan toplanan veriler aracılığıyla ağırlıkların değerlendirileceği anket hazırlanmış ve son olarak faktörler ile mağaza performansı arasındaki ilişkiyi anlamak için ileri beslemeli hata geri yayılımlı sinir ağı öğrenen algoritması kullanılmıştır. Sonuç olarak önerilen sistemin regresyon modelinden daha doğru sonuçlar sağladığı görülmüştür.

Yu (2002), mutlak terim linerazisyonu tekniği ve bulanık puanlamayı birleştirerek grup karar verme bulanık AHP problemleri için bir hedef programlama-AHP modeli ortaya koymaktadır. Bu modelde hedef programlama özelliği bulanık AHP problemini iyileştirmek için kullanılmaktadır

Rong ve diğ. (2003), işletme atıklarının değerlendirilmesi ve önemli israfların ortadan kaldırılması için AHP yönetimi ve bulanık küme teorisini kullanarak bir metot sunmaktadır. Değerlendirme, kümeleme ve sıralama olmak üzere üç adımdan oluşan modelde, ilk olarak zararlı atık kaynaklarının belirlenmesi ve her bir atık çeşidinin zararlılığını ölçmek için AHP'nin kullanıldığı bir atık değerlendirme indeksi elde edilmektedir. İkinci adımda, daha zararlı atıkların kümelendirilmesi için bulanık kolerasyona dayalı bulanık kümeleme yapılarak önemli atık kaynaklan özetlenmektedir. Son olarak da bulanık geniş kapsamlı değerlendirme kullanılarak ortadan kaldırılacak her bir çeşit önemli atık kaynağının önceliği sıralanmaktadır. Modelin geçerliliği bir saha çalışması ile ortaya koyulmaktadır.

Shamsuzzaman ve diğ. (2003), esnek imalat sistemleri alternatiflerinin sıralanarak bunlardan en uygun olanının seçilmesi için bulanık AHP yöntemini kullanmaktadırlar. Bulanık kümeler, 14 tane seçim kriterinin dilsel değişkenler şeklinde belirtilmesinde kullanılmaktadır. Önerilen yapıda, AHP yöntemi seçim kriterlerinin göreceli ağırlıklarını ve önemlerini belirlemek için kullanılmaktadır.

Enea ve Piazza (2003), birçok olası proje alternatifleri arasından bir tanesinin seçimi problemi için AHP yönteminin bulanık uzantısını kullanmaktadırlar. Çalışma tüm elverişli bilgilerin hesaba katılması için bulanık AHP'de düşünülmesi gereken kısıtlar üzerinde yoğunlaşmaktadır. Sunulan yöntemde iki tane yeni algoritma önerilmektedir.

Bozdağ ve diğ. (2003), sayısallaştırılabilen ve sayısallaştırılamayan faktörleri dikkate alarak dört farklı bulanık çok ölçütlü grup karar verme metodunu kullanarak bilgisayarla bütünleşik üretim sistemlerinin seçimi problemini inceleyerek sonuçları karşılaştırmaktadırlar. Burada kullanılan metotlar, Blin tarafından önerilen bulanık grup karar modeli, bulanık sentetik değerlendirme, Yager'in ağırlıklı amaçlar metodu ve bulanık AHP'dir.

Kahraman ve diğ. (2003), tesis yeri yerleşim problemlerinin çözümü için kalitatif ve kantitatif kriterler kullanarak 4 farklı bulanık çok kriterli grup karar verme yaklaşımını birbiriyle kıyaslamıştır.

Büyüközkan ve diğ. (2004), yazılım geliştirme stratejisinin seçimi için bulanık çok kriterli karar verme yaklaşımı sunmaktadırlar. Bulanık nakit akışı ve bulanık AHP'yi kullanarak ekonomiklik ve kalite faktörlerine göre yazılım geliştirme projesi için alternatif stratejiler değerlendirilmekte ve içlerinden bir tanesi seçilmektedir. Model gerçek bir uygulama üzerinde gösterilmektedir.

Kahraman ve diğ. (2004), müşteri istek ve beklentileri doğrultusunda ve bunlara uzman görüşlerini de dahil ederek yaptıkları anket çalışması ile İstanbul'da faaliyet gösteren 3 adet Catering firması arasında bir belirleme yapmışlardır.

Cheng ve diğ. (2004), telekom şirketlerinin metropollerdeki internet şebeke alanlarının yenilenmesi ve genişletilmesinde kullanacakları alt yapı sistemlerinin belirlenmesi ve geleceğe dair bunların planlanmasında bulanık AHP kullanmışlardır. Belirlenen kriterlerin uzmanlarca değerlendirilmesi klasik AHP ile yapılmış, alternatiflerin kriterler ile değerlendirilmesi dilsel ifadelerle değerlendirilmiş ve birleşik ağırlıklandırma gerçekleştirilmiştir. Sonuçta senkronize optik ağ alt yapısı, gigabit eternet teknolojisine üstün olarak belirlenmiştir.

Sheu (2004), arz ve talep çevrelerinin karmaşık ve belirsiz olduğu durumlarda global lojistik stratejilerinin tanımlanması için bulanık AHP ve bulanık çok ölçütlü karar verme metotlarını bütünleştiren melez bir bulanık metot önermektedir.

BÖLÜM 5. UYGULAMA: ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİNDE SÖZEL KARŞILAŞTIRMA SÜRECİNİN BULANIK MANTIK KULLANILARAK GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Bu çalışmanın uygulama aşamasında, Ido MILLET tarafından 1997 yılında yayımlanan The Effectiveness of Alternative Preference Elicitation Methods in the Analytic Hierarchy Process isimli makalesinden esinlenilmiştir. Makalede, geometrik şekillerin alanları ikili karşılaştırma esasına göre denekler tarafından karşılaştırılmıştır. Analitik Hiyerarşi Proses yöntemi ile bu karşılaştırmalar hesaplanmış ve sonuçta geometrik şekillerin birbirlerine göre alansal yüzdeleri belirlenmiştir. Bu belirlenen değerler gerçek değerlerle karşılaştırılarak sonuçlar yorumlanmıştır.

Uygulama aşamasında, ilk önce denekler tarafından karşılaştırılacak geometrik şekiller belirlenmiştir. Geometrik şekiller Ek A'da gösterildiği gibi düzgün geometrik şekiller ve düzgün olmayan geometrik şekiller halinde iki grup olarak hazırlanmıştır. Her grupta beşer adet geometrik şekil bulunmaktadır. Daha sonra bu şekillerin karşılaştırma değerlerinin işaretleneceği ve Ek B'de gösterilen karşılaştırma formları oluşturulmuştur. Bu formlarda klasik analitik hiyerarşi proses ve bulanık analitik hiyerarşi proses değerlendirmeleri için ayrı ayrıdır. Hazırlanan geometrik şekiller ve formlar sıra ile deneklere verilmiş, her deneğe anketle ilgili bilgi verildikten sonra yüz yüze anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Anket çalışması sonucunda her denekten düzgün ve düzgün olmayan geometrik şekiller için, klasik analitik hiyerarşi proses ve bulanık analitik hiyerarşi prosese göre ikili karşılaştırma değerleri elde edilmiştir. Bu değerler adı geçen yöntemlerle değerlendirilerek sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçların gerçek değerlerle ne ölçüde örtüştüğü Hadamard çarpımı yöntemi kullanılarak ortaya konmuştur.

5.1. Klasik Analitik Hiyerarşi Proses Yöntemi ile Değerlendirme

Klasik Analitik Hiyerarşi Proses yöntemi ile düzgün geometrik şekiller grubu ve düzgün olmayan geometrik şekiller grubu 1–9 skalası kullanılarak denekler tarafından ikili olarak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu her denekten elde edilen ikili karşılaştırma matrislerinden geometrik ortalama ile tek bir ikili karşılaştırma matrisi hesaplanmıştır. Birinci şekil grubu için geometrik ortalama ile hesaplanan ikili karşılaştırma matrisi Tablo 5.1.'de, ikinci şekil grubu için geometrik ortalama ile hesaplanan ikili karşılaştırma matrisi Tablo 5.2.'de görülmektedir.

Tablo 5.1. Birinci şekil grubu için geometrik ortalama ile hesaplanan ikili karşılaştırma matrisi

	A	B	C	D	E
A	1	6,6897	2,1763	2,9887	4,3986
B	0,149482898	1	0,2800	0,4094	0,6164
C	0,459498741	3,571677502	1	1,2968	1,8171
D	0,334592819	2,44279679	0,771105413	1	1,4983
E	0,227343261	1,622389604	0,550321208	0,667419927	1

Tablo 5.2. İkinci şekil grubu için geometrik ortalama ile hesaplanan ikili karşılaştırma matrisi

	a	b	c	d	e
a	1	4,8983	4,6737	1,9526	1,9199
b	0,204150489	1	1,0000	0,3681	0,3603
c	0,213963773	1	1	0,4065	0,3709
d	0,51213159	2,716698922	2,460266694	1	1,0000
e	0,520857235	2,775141988	2,696139082	1	1

İkili karşılaştırma matrisleri için tutarlılık oranları, ilk şekil grubu için (Tablo 5.1. için) 0.000938 ve ikinci şekil grubu için (Tablo 5.2. için) 0.000416 olarak hesaplanmış ve matrislerin tutarlı olduğu görülmüştür.

Bu karşılaştırma matrislerinin yönteme göre hesaplanması sonucu birinci şekil grubu için ağırlıklar A = 0.4588, B = 0.0646, C = 0.2105, D = 0.1585 E = 0.1076 olarak elde edilmiş, ikinci şekil grubu için ise ağırlıklar a=0.4048, b=0.0808, c=0.0837, d=0.2125, e=0.2182 olarak elde edilmiştir. Bu ağırlıklar şekillerin göreli yüzde alanlarını temsil etmektedir.

5.2. Bulanık Analitik Hiyerarşi Proses Yöntemi ile Değerlendirme

Klasik Analitik Hiyerarşi Proses yöntemi ile değerlendirme yapıldıktan sonra aynı şekil grupları Bulanık Analitik Hiyerarşi Proses yöntemi ile değerlendirilmek üzere deneklere karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada kullanılan sözel ifadelerin bulanık karşılıkları Tablo 5.3.'de görüldüğü gibidir.

Tablo 5.3. Ankette Kullanılan Sözel İfadelerin Bulanık Karşılıkları

SÖZEL ÖNEM	BULANIK ÖLÇEK	KARŞILIK ÖLÇEK
Eşit	(1,1,1)	(1/1,1/1,1/1)
Büyük	(1,3,5)	(1/5,1/3,1/1)
Daha Büyük	(3,5,7)	(1/7,1/5,1/3)
Çok Daha Büyük	(5,7,9)	(1/9,1/7,1/5)
Kesinlikle Daha Büyük	(7,9,9)	(1/9,1/9,1/7)

Yapılan anketlerden elde ikili karşılaştırmaların sözel ifadeleri yukarıdaki tablo göz önünde bulundurularak bulanık sayılar şeklinde ifade edilen ikili karşılaştırma matrislerine dönüştürülmüştür. Bu matrisler de geometrik ortalama kullanılarak tek bir bulanık ikili karşılaştırma matrisine indirgenmiştir. Elde edilen bu bulanık ikili karşılaştırma matrisi Bölüm 3.3.3.'de anlatılan durulaştırma yöntemlerinden Merkez Yöntemi ile durulaştırılarak kesin sayılarla ifade edilen ikili karşılaştırma matrisine dönüştürülmüştür. Bu aşamadan sonra şekillerin göreli yüzde alanlarının hesaplanması Klasik Analitik Hiyerarşi Proses yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

Denekler tarafından doldurulan anketlerin geometrik ortalama ile tek bir ikili karşılaştırma matrisine indirgenmiş hali birinci grup şekiller için Tablo 5.4.'de, ikinci grup şekiller için ise Tablo 5.5.'de görülmektedir.

Tablo 5.4. Birinci şekil grubu için geometrik ortalama ile hesaplanan bulanık ikili karşılaştırma matrisi

	A			B			C			D			E		
A	1,00	1,00	1,00	5,93	8,45	9,00	1,61	3,76	5,81	3,14	5,30	7,30	4,85	6,92	8,45
B	0,11	0,12	0,17	1,00	1,00	1,00	0,13	0,17	0,26	0,16	0,24	0,49	0,28	0,39	0,80
C	0,17	0,27	0,62	3,92	6,02	7,99	1,00	1,00	1,00	1,147	2,66	3,99	2,11	4,33	6,41
D	0,14	0,19	0,32	2,02	4,22	6,28	0,25	0,38	0,38	1,00	1,00	1,00	1,05	2,12	2,97
E	0,12	0,14	0,21	1,26	2,54	3,59	0,16	0,23	0,47	0,34	0,47	0,96	1,00	1,00	1,00

Tablo 5.5. İkinci şekil grubu için geometrik ortalama ile hesaplanan bulanık ikili karşılaştırma matrisi

	a			b			c			d			e		
a	1,00	1,00	1,00	2,29	3,30	4,31	2,88	3,91	4,93	1,26	1,82	2,29	1,26	1,44	1,59
b	0,23	0,30	0,44	1,00	1,00	1,00	0,69	0,79	1,00	0,30	0,44	0,79	0,28	0,38	0,63
c	0,20	0,26	0,35	1,00	1,26	1,44	1,00	1,00	1,00	0,24	0,31	0,48	0,26	0,35	0,55
d	0,44	0,55	0,79	1,26	2,29	3,30	2,08	3,17	3,17	1,00	1,00	1,00	1,00	1,26	1,44
e	0,63	0,69	0,79	1,59	2,62	3,63	1,82	2,88	3,91	0,69	0,79	1,00	1,00	1,00	1,00

Bulanık ikili karşılaştırma matrislerinin Merkez Yöntemi ile durulaştırılmasından sonra elde edilen kesin sayılırdan oluşan ikili karşılaştırma matrisleri sırası ile Tablo

5.6. ve Tablo 5.7.'de görülmektedir. Bu matrislerin hesaplanmasından sonra Tablo 5.6. için tutarlılık oranı 0.034578 ve Tablo 5.7. içinse 0.00888 olarak elde edilmiştir.

Yapılan hesaplama sonucunda, birinci şekil grubu için göreli yüzde alanlar A = 0.5309, B = 0.0444, C = 0.2356, D = 0.1189, E = 0.0702 şeklinde, ikinci şekil grubu için göreli yüzde alanlar ise a = 0.3521, b = 0.09878, c = 0.09319, d = 0.23132, e = 0.22461 şeklinde elde edilmiştir.

Tablo 5.6. Birinci şekil grubu için durulaştırılmış ikili karşılaştırma matrisi

	A	**B**	**C**	**D**	**E**
A	1	7,7953	3,7305	5,2484	6,7436
B	0,128	1	0,1822	0,2969	0,4896
C	0,268	5,48762	1	2,5993	4,2858
D	0,191	3,36786	0,384722	1	2,0457
E	0,148	2,04269	0,233327	0,48884	1

Tablo 5.7. İkinci şekil grubu için durulaştırılmış ikili karşılaştırma matrisi

	a	**b**	**c**	**d**	**e**
a	1	3,3001	3,9106	1,7888	1,4299
b	0,30302341	1	0,8290	0,5111	0,4289
c	0,25571543	1,20624264	1	0,3443	0,3841
d	0,55902668	1,95650789	2,9045666	1	1,2341
e	0,69937053	2,33155933	2,6031762	0,810335424	1

5.3. Gerçek Değerler ile Anket Sonuçlarının Karşılaştırılması

Gerçek değerler ile anket sonuçlarının karşılaştırılmasında J. Hadamard tarafından önerilen Hadamard Çarpımı yöntemi kullanılmıştır (Felek, 2005).

5.3.1. Hadamard çarpımı

Hadamard çarpımı, elde edilen tahmini sonuçların gerçek değerler ile karşılaştırılması ve bu sonuçların gerçek değerlere ne denli yaklaşmış olduğunun ortaya çıkartılması için kullanılır.

Hadamard çarpımının gerçekleştirilebilmesi için gerçek değerler ve tahmini değerler kendi içlerinde ayrı ayrı ele alınarak iki farklı ikili karşılaştırma matrisi elde edilir. Sonrasında ise tahmini değerlerden elde edilen matrisin transpozesi alınır.

Gerçek veriler — **Ağırlıklandırılmış matris**

$$\begin{vmatrix} X1 \\ Y1 \\ Z1 \end{vmatrix} \Rightarrow \begin{vmatrix} X1/X1 & X1/Y1 & X1/Z1 \\ Y1/X1 & Y1/Y1 & Y1/Z1 \\ Z1/X1 & Z1/Y1 & Z1/Z1 \end{vmatrix}$$

Tahmini veriler — **Tahmini veriler için transpozesi alınmış ikili karşılaştırma matrisi**

$$\begin{vmatrix} X2 \\ Y2 \\ Z2 \end{vmatrix} \Rightarrow \begin{vmatrix} X2/X2 & Y2/X2 & Z2/X2 \\ X2/Y2 & Y2/Y2 & Z2/Y2 \\ X2/Z2 & Y2/Z2 & Z2/Z2 \end{vmatrix}$$

Bu işlemden sonra elde edilen iki matrisin satır ve sütunlarında yer alan değerler bire bir çarpılarak yeni bir matris oluşturulur.

Bu noktadan sonra yapılan işlem ise tüm değerlerin toplamının alınıp aritmetik ortalamasının bulunması şeklindedir.

Hadamard çarpımı

$$\begin{vmatrix} X1/X1 * X2/X2 & X1/Y1 * Y2/X2 & X1/Z1 * Z2/X2 \\ Y1/X1 * X2/Y2 & Y1/Y1 * Y2/Y2 & Y1/Z1 * Z2/Y2 \\ Z1/X1 * X2/Z2 & Z1/Y1 * Y2/Z2 & Z1/Z1 * Z2/Z2 \end{vmatrix}$$

Satır toplamları

X1/X1* X2/ X2+ X1/Y1* Y2/ X2+ X1/Z1* Z2/ X2

Y1/X1* X2/ Y2+ Y1/Y1* Y2/ Y2+ Y1/ Z1* Z2/ Y2

Z1/X1* X2/ Z2+ Z1/Y1* Y2/ Z2+ Z1/ Z1* Z2/ Z2

SCI = (X1/X1* X2/ X2+ X1/Y1* Y2/ X2+ X1/Z1* Z2/ X2+ Y1/X1* X2/ Y2+ Y1/Y1* Y2/ Y2+ Y1/ Z1* Z2/ Y2+ Z1/X1* X2/ Z2+ Z1/Y1* Y2/ Z2+ Z1/ Z1* Z2/ Z2) / 9

Elde edilen SCI (Saaty Compatibility Index) değerinin 1'e yakın olması tahmini değerlerin gerçek değerlere ne kadar yaklaştığının bir göstergesidir.

5.3.2. Hadamard çarpımı ile değerlendirme sonuçları

Anket sonuçları ile gerçek değerler Hadamard çarpımı yöntemi ile değerlendirilmiştir. Tablo 5.8.a. ve 5.8.b.'de gerçek değerler ve değerlendirme yöntemlerine göre elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Tabloda verilen gerçek değerler ve tahmini değerler Hadamard çarpımı yöntemi kullanılarak, tahmini değerlerin gerçek değerlere ne kadar yaklaştığı belirlenmiştir.

Tablo 5.8.a) Birinci Grup Şekiller için Gerçek Değerler ve Değerlendirme Yöntemlerine Göre Elde Edilen Sonuçlar

	Gerçek Değerler	**Klasik AHP Sonuçları**	**Bulanık AHP Sonuçları**
A (%)	46.75	45.88	53.09
B (%)	4.77	6.46	4.44
C (%)	23.88	21.05	23.56
D (%)	14.88	15.85	11.89
E (%)	9.72	10.76	7.02

Tablo 5.8.b) İkinci Grup Şekiller için Gerçek Değerler ve Değerlendirme Yöntemlerine Göre Elde Edilen Sonuçlar

	Gerçek Değerler	**Klasik AHP Sonuçları**	**Bulanık AHP Sonuçları**
a (%)	34.19	40.48	35.21
b (%)	9.88	8.08	9.878
c (%)	9.15	8.37	9.319
d (%)	24.08	21.25	23.132
e (%)	22.71	21.82	22.461

5.3.2.1. Klasik AHP yöntemi için Hadamard çarpımı

Birinci grup şekillerde, gerçek değerler için ağırlıklandırılmış ikili karşılaştırma matrisi Tablo 5.9.'daki gibi elde edilmiştir.

Tablo 5.9. Gerçek Değerler için Ağırlıklandırılmış İkili Karşılaştırma Matrisi

	Gerçek Veriler					
A	0,4675	1	9,800838574	1,957705193	3,141801075	4,809670782
B	0,0477	0,102032086	1	0,199748744	0,320564516	0,490740741
C	0,2388	0,510802139	5,006289308	1	1,60483871	2,456790123
D	0,1488	0,31828877	3,119496855	0,623115578	1	1,530864198
E	0,0972	0,207914439	2,037735849	0,407035176	0,653225806	1

Tahmini değerler için transpozesi alınmış ikili karşılaştırma matrisi Tablo 5.10'daki gibi elde edilmiştir.

Tablo 5.10. Tahmini Değerler için Transpozesi Alınmış İkili Karşılaştırma Matrisi

	Tahmini Değerler					
A'	0,4588	1	0,140802092	0,45880558	0,345466434	0,234524847
B'	0,0646	7,102167183	1	3,258513932	2,453560372	1,665634675
C'	0,2105	2,179572447	0,306888361	1	0,752969121	0,511163895
D'	0,1585	2,894637224	0,407570978	1,32807571	1	0,678864353
E'	0,1076	4,26394052	0,600371747	1,956319703	1,473048327	1

İki matrisin satır ve sütunlarında yer alan değerlerin çarpım sonuçları Tablo 5.11.'de görülmektedir.

Tablo 5.11. İki Matrisin Satır ve Sütunlarında Yer Alan Değerlerin Çarpım Sonuçları

1	1,379978579	0,898206066	1,085386814	1,127987306
0,72464893	1	0,650884064	0,786524393	0,817394794
1,113330268	1,536371921	1	1,208393993	1,25582241
0,921330522	1,271416384	0,827544663	1	1,039249133
0,886534799	1,223399032	0,796290934	0,962233181	1

Tüm değerlerin aritmetik ortalamasının alınması sonucu elde edilen sonuç değer; 1,020517'dir.

İkinci grup şekillerde, gerçek değerler için ağırlıklandırılmış ikili karşılaştırma matrisi Tablo 5.12.'deki gibi elde edilmiştir.

Tablo 5.12. Gerçek Değerler için Ağırlıklandırılmış İkili Karşılaştırma Matrisi

	Gerçek Veriler					
a	0,3419	1	3,460526316	3,736612022	1,419850498	1,505504
b	0,0988	0,288973384	1	1,079781421	0,410299003	0,435051
c	0,0915	0,267622112	0,92611336	1	0,379983389	0,402906
d	0,2408	0,704299503	2,437246964	2,631693989	1	1,060326
e	0,2271	0,664229307	2,298582996	2,481967213	0,943106312	1

Tahmini değerler için transpozesi alınmış ikili karşılaştırma matrisi Tablo 5.13.'deki gibi elde edilmiştir.

Tablo 5.13. Tahmini Değerler için Transpozesi Alınmış İkili Karşılaştırma Matrisi

	Tahmini Değerler					
a'	0,4048	1	0,199604743	0,206768775	0,524950593	0,539032
b'	0,0808	5,00990099	1	1,035891089	2,629950495	2,700495
c'	0,0837	4,836320191	0,965352449	1	2,538829152	2,60693
c'	0,2125	1,904941176	0,380235294	0,393882353	1	1,026824
e'	0,2182	1,855178735	0,370302475	0,383593034	0,973877177	1

İki matrisin satır ve sütunlarında yer alan değerlerin çarpım sonuçları Tablo 5.14.'de görülmektedir.

Tablo 5.14. İki Matrisin Satır ve Sütunlarında Yer Alan Değerlerin Çarpım Sonuçları

1	0,690737466	0,772614689	0,745351361	0,811514
1,447728043	1	1,118535952	1,079066067	1,174852
1,294306223	0,894025801	1	0,964712904	1,050348
1,341649123	0,926727316	1,036577821	1	1,088768
1,232264085	0,851170972	0,952065333	0,918469713	1

Tüm değerlerin aritmetik ortalamasının alınması sonucu elde edilen sonuç değer; 1,015659'dur.

5.3.2.2. Bulanık AHP yöntemi için Hadamard çarpımı

Birinci grup şekillerde, gerçek değerler için ağırlıklandırılmış ikili karşılaştırma matrisi Tablo 5.15.'deki gibi, tahmini değerler için transpozesi alınmış ikili karşılaştırma matrisi Tablo 5.16.'daki gibi, iki matrisin satır ve sütunlarında yer alan değerlerin çarpım sonuçları Tablo 5.17.'deki gibi elde edilmiştir.

Tablo 5.15. Gerçek Değerler için Ağırlıklandırılmış İkili Karşılaştırma Matrisi

	Gerçek Veriler					
A	0,4675	1	9,800838574	1,957705193	3,141801075	4,809670782
B	0,0477	0,102032086	1	0,199748744	0,320564516	0,490740741
C	0,2388	0,510802139	5,006289308	1	1,60483871	2,456790123
D	0,1488	0,31828877	3,119496855	0,623115578	1	1,530864198
E	0,0972	0,207914439	2,037735849	0,407035176	0,653225806	1

Tablo 5.16. Tahmini Değerler için Transpozesi Alınmış İkili Karşılaştırma Matrisi

	Tahmini Değerler					
A'	0,5309	1	0,083631569	0,443774722	0,223959314	0,132228292
B'	0,0444	11,95720721	1	5,306306306	2,677927928	1,581081081
C'	0,2356	2,253395586	0,188455008	1	0,50466893	0,297962649
D'	0,1189	4,46509672	0,373423045	1,981497056	1	0,590412111
E'	0,0702	7,562678063	0,632478632	3,356125356	1,693732194	1

Tablo 5.17. İki Matrisin Satır ve Sütunlarında Yer Alan Değerlerin Çarpım Sonuçları

1	0,819659508	0,868780078	0,703635615	0,635974551
1,220018789	1	1,059928018	0,85844867	0,775900901
1,151039285	0,943460294	1	0,809912235	0,732031692
1,421190143	1,164892013	1,234701683	1	0,903840763
1,572389963	1,288824383	1,366061075	1,106389578	1

Tüm değerlerin aritmetik ortalamasının alınması sonucu elde edilen sonuç değer; 1,025483'dür.

İkinci grup şekillerde, gerçek değerler için ağırlıklandırılmış ikili karşılaştırma matrisi Tablo 5.18.'deki gibi hesaplanmıştır.

Tablo 5.18. Gerçek Değerler için Ağırlıklandırılmış İkili Karşılaştırma Matrisi

	Gerçek Veriler					
a	0,3419	1	3,460526316	3,736612022	1,419850498	1,505504
b	0,0988	0,288973384	1	1,079781421	0,410299003	0,435051
c	0,0915	0,267622112	0,92611336	1	0,379983389	0,402906
d	0,2408	0,704299503	2,437246964	2,631693989	1	1,060326
e	0,2271	0,664229307	2,298582996	2,481967213	0,943106312	1

Tahmini değerler için transpozesi alınmış ikili karşılaştırma matrisi Tablo 5.19.'daki gibi, iki matrisin satır ve sütunlarında yer alan değerlerin çarpım sonuçları Tablo 5.20.'deki gibi elde edilmiştir.

Tablo 5.19. Tahmini Değerler için Transpozesi Alınmış İkili Karşılaştırma Matrisi

	Tahmini Değerler					
a'	0,3521	1	0,2805453	0,264669128	0,656972451	0,637915
b'	0,09878	3,564486738	1	0,943409597	2,341769589	2,273841
c'	0,09319	3,778302393	1,059984977	1	2,482240584	2,410237
c'	0,23132	1,522133841	0,427027494	0,402861836	1	0,970993
e'	0,22461	1,567606073	0,439784515	0,414896932	1,029874004	1

Tablo 5.20. İki Matrisin Satır ve Sütunlarında Yer Alan Değerlerin Çarpım Sonuçları

1	0,970834392	0,988965846	0,932802662	0,960384
1,030041795	1	1,018676155	0,960825728	0,989236
1,011157265	0,981666249	1	0,943210189	0,9711
1,072038107	1,040771464	1,060209073	1	1,029569
1,041249895	1,010881209	1,029760583	0,971280674	1

Tüm değerlerin aritmetik ortalamasının alınması sonucu elde edilen sonuç değer; 1,000586'dir.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez kapsamında, karar verme yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Proses yöntemindeki ikili karşılaştırma sürecinde klasik yöntem ve bulanık yöntem kullanılarak iki farklı geometrik şekil grubunun alanlarının tahminlemesi yapılmıştır. Örnek çalışmada deneklerden, geometrik şekillerin alansal karşılaştırmasını 1-9 ölçüm skalası kullanımı ve dilsel ifadeler yardımı ile değerlendirmeleri istenmiştir. Bu çok kriterli karşılaştırma sürecinde kullanılan iki yöntemden elde edilen sonuçlar, gerçek değerler ile Hadamard Çarpımı yöntemi yardımıyla karşılaştırılıp gerçek değerlere ne kadar yaklaşıldığı belirlenmiştir.

Birinci ve ikinci grup geometrik şekillerin, Klasik Analitik Hiyerarşi Proses ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Proses tahmin değerlerinin gerçek değerler ile karşılaştırılmasında Hadamard Çarpımı sonuçları Tablo 6.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 6.1. Klasik AHP ve Bulanık AHP Tahmin Değerlerinin Gerçek Değerler ile Karşılaştırılmasında Hadamard Çarpımı Sonuçları

	Klasik AHP Yöntemi	Bulanık AHP Yöntemi
A,B,C,D,E	1,020517	1,025483
a,b,c,d,e	1,015659	1,000586

Birinci grup şekiller için, Hadamard Çarpımı sonuçlarına göre gerçek değerlere en yakın sonuçlar Klasik Analitik Hiyerarşi Proses yöntemi ile elde edilmiştir. Ancak geometrik şekillerin tek tek alan sonuçlarına bakıldığında A, D, ve E şekilleri için Klasik Analitik Hiyerarşi Proses yöntemi, B ve C şekilleri için Bulanık Analitik Hiyerarşi Proses yöntemi gerçek değerlere daha yakın sonuçlar vermiştir.

İkinci grup şekiller için, Hadamard Çarpımı sonuçlarına göre gerçek değerlere en yakın sonuçlar Bulanık Analitik Hiyerarşi Proses yöntemi ile elde edilmiştir. Yine geometrik şekillerin tek tek alan sonuçlarına bakıldığında Bulanık Analitik Hiyerarşi Proses yönteminin bu şekil grubu için gerçek değerlere en yakın sonuçları verdiği görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında yapılan uygulamanın sonuçları incelendiğinde, birinci şekil grubu için Klasik Analitik Hiyerarşi Proses yönteminin Bulanık Analitik Hiyerarşi Proses yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. İkinci şekil grubu içinse Bulanık Analitik Hiyerarşi Proses yöntemi Klasik Analitik Hiyerarşi Proses yöntemine göre gerçek değerlere daha yakın sonuçlar vermiştir.

İkinci şekil grubunda yer alan geometrik şekiller birinci şekil grubunda yer alan geometrik şekillerden daha düzensizdir. Buradan hareketle düzensizliğin arttığı ve karar vericinin bunu kesin olarak ifade etmekte zorlandığı durumlarda Bulanık Analitik Hiyerarşi Proses yönteminin gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği ortaya çıkmaktadır. Bu sonuç Bulanık Mantık teorisi ile de örtüşmektedir. Bulanık Mantık teorisi düzensizliğin ve karmaşanın arttığı ve kesin olarak ifade etmenin zorlaştığı durumların ve süreçlerin ifade edilmesini kolaylaştırmaktadır. Bu ifadenin doğruluğu bu çalışmanın sonuçlarında da görülmüştür.

Çalışma kapsamında, düzgün olmayan geometrik şekillerin alanlarının tahminlemesinde bulanık mantık kullanımı gerçeğe daha yakın sonuçlar vermiştir. Bundan sonra, bu tahminlemenin diğer bulanık mantık yaklaşımları ile de gerçekleştirilip hangi yaklaşımın daha gerçekçi sonuçlar vereceği araştırılabilir.

KAYNAKLAR

1. AYKANAT, M., 2000. Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) Donanım, Tasarım Ve Uygulamaları. Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik Ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü, Lisans Tezi (yayınlanmış). Ankara.

2. AYYILDIZ, G., 2003. CIM Yatırımlarının Bulanık AHP Yöntemi ile Değerlendirilmesi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (yayınlanmamış). İstanbul.

3. BAYKAL, N., BEYAN, T., 2004. Bulanık Mantık İlke ve Temelleri. Bıçaklar Kitabevi, s. 39-254. Ankara.

4. BELLMAN R., ZADEH L.A.,1970. Decision Making in a Fuzzy Environment. Management Science, 17 B (4), 141-164.

5. BOZDAĞ, C. E., KAHRAMAN, C. and RUAN, D., 2003. Fuzzy Group Decision Making for Selection Among Computer Integrated Manufacturing Systems, Computers in Industry, 51 (1), pp 13-29

6. BUCKLEY, J. J., 1985. Fuzzy Hierarchical Analysis. Fuzzy Sets and Systems, 17, pp 233-247

7. BÜYÜKÖZKAN, G., KAHRAMAN, C. and RUAN, D., 2004. A Fuzzy Multi-Criteria Decision Approach for Software Development Strategy Selection. International Journal of General Systems, 33 (2-3), pp. 259-280

8. CHANG, D. Y., 1996. Applications of the Extent Analysis Method of Fuzzy AHP. Europen Journal of Operational Research, 95, pp. 649-655

9. CHENG, C. H., YANG, K. L. and HWANG, C. L., 1999. Evaluating Attack Helicopters by AHP based on Linguistic Variable Weight, European Journal of Operational Research, 116 (2), pp 423 -435

10. CHENG, J. Z., CHEN, P. T. and YU, H. C. D., 2004. Establishing a MAN Access Strategy for Future Broadband Service: a Fuzzy MCDM Analysis of SONET/SDH and Gigabit Ethernet, Science Direct, xx (2004) pp xxx–xxx

11. CHOU, T. Y. and LIANG, G. S., 2001. Application of a Fuzzy Multicriteria Decision Making Model for Shipping Company Performance Evaluation , Maritime Policy and Management, 28 (4), pp 375-392

12. CVETKOVIC, D., MANIC, M., PRASCEVIC, M. and MILUTINOVIC, S., 1999. Acoustic Comfort Optimization of Industrial Hale Using Intelligent Technology, Working and Living Environmental Protection, 1 (4), pp. 9-18

13. DAĞDEVİREN, M., DİYAR, A. ve KURT, Mustafa., 2004. İş Değerleme Sürecinde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Uygulaması. Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt:19, Sayı:2 , s.131-138

14. DENG, H., 1999. Multicriteria Analysis with Fuzzy Pairwise Comparison, International Journal of Approximate Reasoning, 21 (3), pp 215- 231

15. ENEA, M. and PIAZZA, T., 2004. Project Selection by Constrained Fuzzy AHP, Fuzzy Optimization and Decision Making, 3, pp 39-62.

16. ENGELKIRAN, M., 2001. Fuzzy Çoklu Kriterlere Göre Karar Vermenin İnsan Kaynaklarına Uygulanması. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (yayınlanmış). İstanbul.

17. EVREN, R., ÜLENGİN, F., 1992a. Yönetimde Karar Verme. İstanbul Teknik Üniversite Matbaası, Gümüşsuyu, s. 1-6, 47-68. İstanbul.

18. EVREN, R., ÜLENGİN, F., 1992b. Yönetimde Çok Amaçlı Karar Verme. İstanbul Teknik Üniversite Matbaası, Gümüşsuyu, s. 1-18. İstanbul.

19. FELEK, S., 2005. Mobil İletişim Sektöründe Pazar Paylaşımının AHP ve ANP Yöntemleri ile Tahminlenmesi. KOÜ Endüstri Mühendisliği Bölümü, Lisans Tezi (yayınlanmış). Kocaeli.

20. HAMİTOĞULLARI, H.C., 1999. Fuzzy Çok Amaçlı Optimizasyon Yöntemi ile Portföy Seçimi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (yayınlanmış). İstanbul.

21. HASHMI, K., EL BARADIE, M.A. and RYAN M., 1998. Fuzzy Logic Based Intelligent Selection of Machining Parameters. Computers & Industrial Engineering, Vol. 35, p 571-574, Great Britain.

22. KABAK, Ö., 2003. Türkiye'nin Sürdürülebilir Kalkınmadaki Yeri: Bir Bulanık Çok Ölçütlü Karar Verme Yaklaşımı. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (yayınlanmamış). İstanbul.

23. KAHRAMAN, C., RUAN, D. and DOĞAN, İ., 2003. Fuzzy Group Decision Making for Facility Location Selection. Information Sciences, 157 (2003), pp 135–153

24. KAHRAMAN, C., CEBECİ, U. and RUAN, D., 2004. Multi-attribute Comparison of Catering Service Companies Using Fuzzy AHP: The Case of Turkey. International Journal of Production Economics, 87 (2004), pp 171-184

25. KAPTANOĞLU, D., 2004. Akademik Performans Değerlendirmesi için Bir Çok Ölçütlü Bulanık Karar Verme Modeli. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (yayınlanmamış). İstanbul.

26. Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Yüksek Lisans Bulanık Mantık Dersi Notları. 2003.

27. KUO, R. J., CHI, S. C. and KAO, S. S., 2002. A Decision Support System for Selecting Convenience Store Location Through Integration of Fuzzy AHP and Artificial Neural Network, Computers in Industıy, 47 (2), pp 199 -214.

28. LAARHOVEN, P. M. J. and PEDRYCZ, W., 1983. A Fuzzy Extension of Saaty's Priority Theory. Fuzzy Sets and Systems, 11, pp 229-241

29. LAI Y.J., and HWANG C.L., 1996. Fuzzy Multiple Objective Decision Making. Springer-Verlag, Great Britain

30. LEE, M., PHAM, H. and ZHANG, X., 1999. A Methodology for Priority Setting with Application to Software Development Process, European Journal of Operational Research, 118, pp 375 -389.

31. LEUNG, L. C. and CAO, D., 2000. On Consistency and Ranking of Alternatives in Fuzzy AHP. European Journal of Operational Research, 124, pp 102 -113

32. MERCAN C.A., Bilişim Enstitüsü-Hesaplamalı Bilim ve Mühendislik, 2004

33. NIE, H. F., DIAO, S. J., LIU, J. X. and HUANG, H., 2001. The Application of Remote Sensing Technique and AHP-Fuzzy Method in Comprehensive Analysis and Assessment for Regional Stability of Chongqing Ctiy, China. 22nd Asian Conference on Remote Sensing, 5-9 November 2001, Singapore

34. PAKSOY, T. ve ATAK, M., 2003. Etkileşimli Bulanık Çok Amaçlı Doğrusal Programlama İle Bütünleşik Üretim Planlama. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt: 15, No: 2, ss.457-466. Ankara.

35. RONG, C., TAKASHI, K. and WANG, J., 2003. Enterprise Waste Evaluation Using the Analytic Hierarchy Process and Fuzzy Set Theory. Production Planning and Control, 14 (1), pp 90-103

36. SAATY, T.L., 1980. The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill,pp. 662-677, New York.

37. SHAMSUZZAMAN, M., ULLAH, A. M. M. S. and BOHEZ, E. L. J., 2003. Applying Linguistic Criteria in FMS Selection: Fuzzy Set AHP Approach, Integrated Manufacturing Systems, 14 (3), pp 247-254.

38. SHEU, J. B., 2004. A Hybrid Fuzzy Based Approach for Identifying Global Logistics Strategies, Transportation Research, Part E 40, pp 39-61.

39. SOHN, K. Y., YANG, J.W. and KANG, C.S., 2001. Assimilation of Public Opinions in Nuclear Decision Making Using Risk Perception. Annals of Nuclear Energy, 28 (2001), pp 553-563

40. STAM, A., MINGHE, S. and HAINES, M., 1996. Artificial Neural Network Representations for Hierarchical Preference Structures. Computers and Operations Research, 23 (12), pp1191 -1201.

41. ŞEN, Z., 2001. Bulanık Mantık ve Modeleme İlkeleri. Bilge Sanat Yapım Yayım, s. 1-165, İstanbul.

42. TEMURTAŞ, F., 2000. Kimyasal Sensör Dizilerinde Yapay Sinir Ağları ve Bulanık Mantık Uygulamaları: Gazların Sınıflandırılması ve Gaz Konsantrasyonlarının Belirlenmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. Sakarya.

43. TERZİ, Ü., 2004. Taguchi Yöntemi ve Bulanık Mantık Kullanılarak Çok Yanıtlı Kalite Karakteristiklerinin Eşzamanlı Eniyilenmesi. KOÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (yayınlanmış). Kocaeli.

44. TİRYAKİ., C., 1998. Fuzzy Bayes Karar Verme ve Bir Üretim Problemine Uygulaması. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (yayınlanmış). İstanbul.

45. TSAUR, S. H., CBANG, T. Y. and YEN, C. H., 2002. The Evaluation of Airline Service Quality by Fuzzy MCDM, Tourism Management, 23, pp 107-115.

46. TÜYSÜZ, F., 2004. Proje Risk Analizinde Bulanık AHP Kullanılması. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (yayınlanmamış). İstanbul.

47. WECK, M., KLOCKE, F., SCHELL, H., R and RÜENAUVER, E., 1997. Evaluating Alternative Production Cycles Using the Extended Fuzzy AHP Method, European Journal of Operalional Research. 100 (2), pp 351 -366.

48. YU, C. S., 2002. AGP-AHP Method for Solving Group Decision Making Fuzzy AHP Problems, Computers & Operations Research, 29, pp 1969-2001.

49. YUAN, B., KLIR, J.G., 1994. Fuzzy Sets And Fuzzy Logic Theory And Aplications, New York.

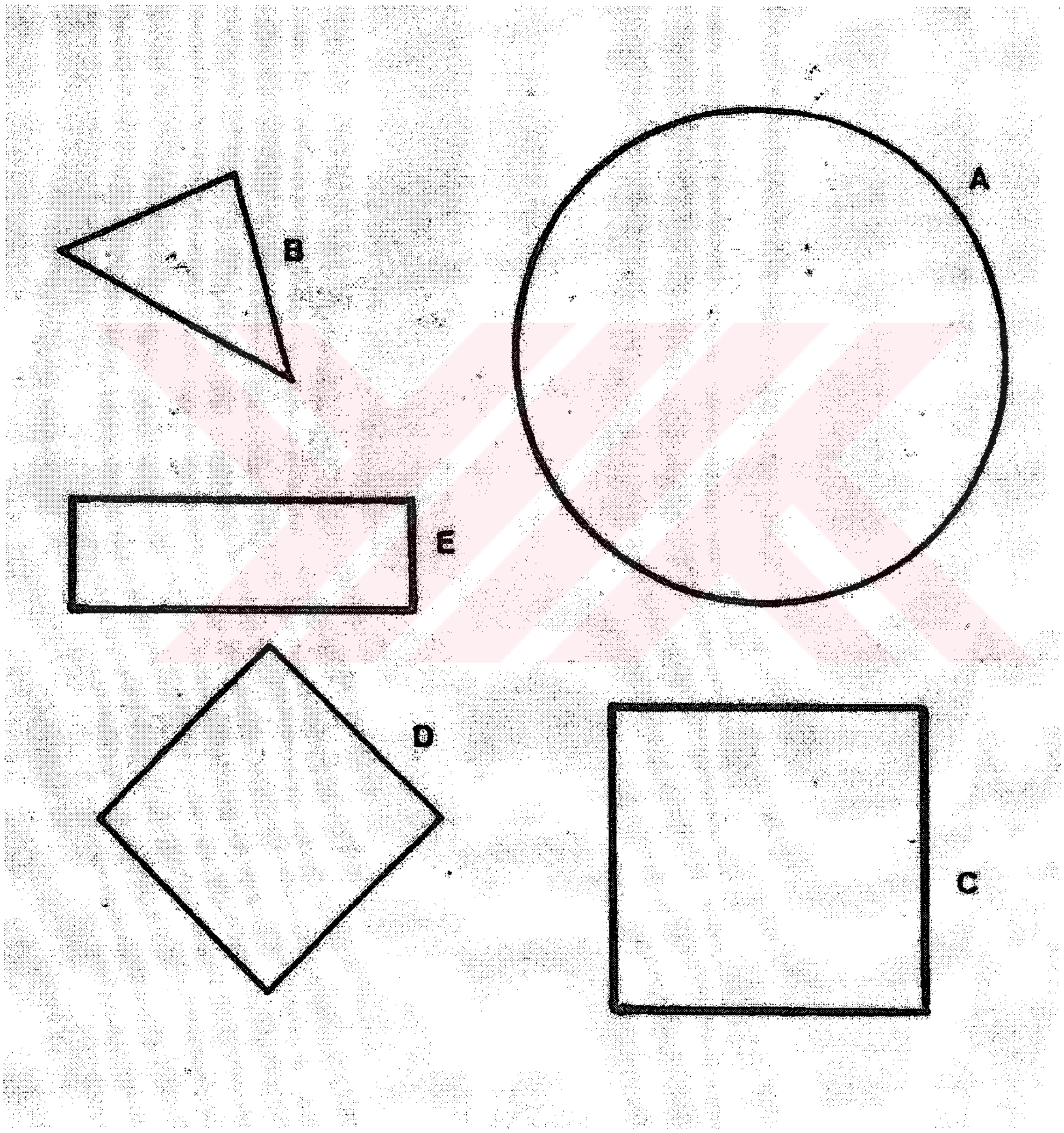
50. YULUĞKURAL, Y., 2001. Kocaeli'nde Deprem Sonrası Yerleşim Sorununa Çok Ölçütlü Yaklaşım. KOÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (yayınlanmış). Kocaeli.

51. ZEYDAN, M., 1999. Bir Petrol Rafineri Ünitesinde (FCCU) Bulanık Modelleme ve Kontrol. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. Sakarya.

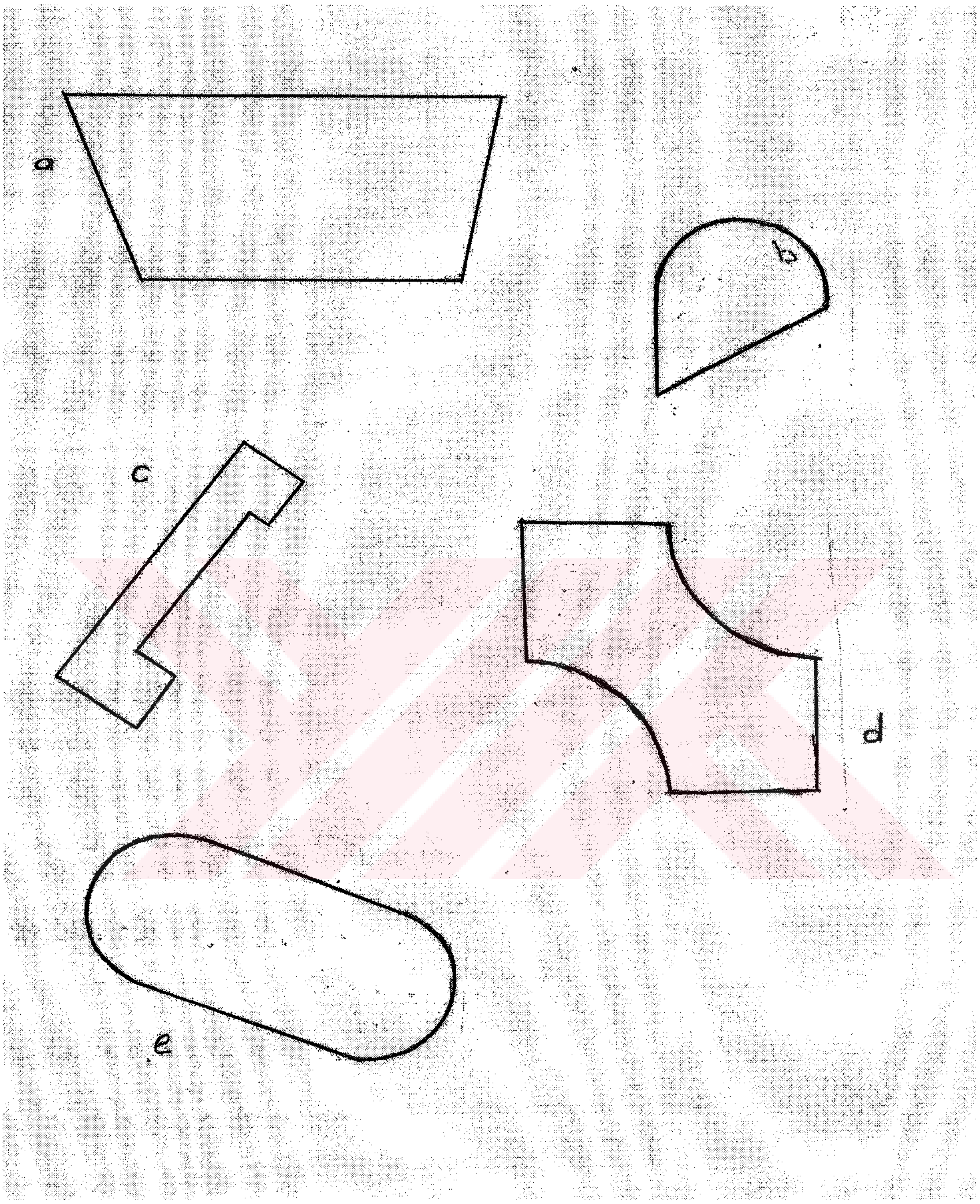
52. ZHU, K.J., JING,Y. and CHANG, D.-Y., 1999. A Discussion of Extent Analysis Method and Applications of Fuzzy AHP, European Journal of Operational Research, 116, pp 450 -456.

EKLER

A1. BİRİNCİ GRUP (DÜZGÜN) GEOMETRİK ŞEKİLLER



A2. İKİNCİ GRUP (DÜZGÜN OLMAYAN) GEOMETRİK ŞEKİLLER



B1. KLASİK AHP YÖNTEMİ DEĞERLENDİRME ANKETİ

A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	B
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	C
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E

B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	C
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E

C	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
C	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E

D	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E

a	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	b
a	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	c
a	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	d
a	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	e

b	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	c
b	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	d
b	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	e

c	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	d
c	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	e

d	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	e

B2. BULANIK AHP YÖNTEMİ DEĞERLENDİRME ANKETİ

	KESİNLİKLE DAHA BÜYÜK	ÇOK DAHA BÜYÜK	DAHA BÜYÜK	BÜYÜK	EŞİT	BÜYÜK	DAHA BÜYÜK	ÇOK DAHA BÜYÜK	KESİNLİKLE DAHA BÜYÜK	
A										B
A										C
A										D
A										E

	KESİNLİKLE DAHA BÜYÜK	ÇOK DAHA BÜYÜK	DAHA BÜYÜK	BÜYÜK	EŞİT	BÜYÜK	DAHA BÜYÜK	ÇOK DAHA BÜYÜK	KESİNLİKLE DAHA BÜYÜK	
B										C
B										D
B										E

	KESİNLİKLE DAHA BÜYÜK	ÇOK DAHA BÜYÜK	DAHA BÜYÜK	BÜYÜK	EŞİT	BÜYÜK	DAHA BÜYÜK	ÇOK DAHA BÜYÜK	KESİNLİKLE DAHA BÜYÜK	
C										D
C										E

	KESİNLİKLE DAHA BÜYÜK	ÇOK DAHA BÜYÜK	DAHA BÜYÜK	BÜYÜK	EŞİT	BÜYÜK	DAHA BÜYÜK	ÇOK DAHA BÜYÜK	KESİNLİKLE DAHA BÜYÜK	
D										E

	KESİNLİKLE DAHA BÜYÜK	ÇOK DAHA BÜYÜK	DAHA BÜYÜK	BÜYÜK	EŞİT	BÜYÜK	DAHA BÜYÜK	ÇOK DAHA BÜYÜK	KESİNLİKLE DAHA BÜYÜK	
a										b
a										c
a										d
a										e

	KESİNLİKLE DAHA BÜYÜK	ÇOK DAHA BÜYÜK	DAHA BÜYÜK	BÜYÜK	EŞİT	BÜYÜK	DAHA BÜYÜK	ÇOK DAHA BÜYÜK	KESİNLİKLE DAHA BÜYÜK	
b										c
b										d
b										e

	KESİNLİKLE DAHA BÜYÜK	ÇOK DAHA BÜYÜK	DAHA BÜYÜK	BÜYÜK	EŞİT	BÜYÜK	DAHA BÜYÜK	ÇOK DAHA BÜYÜK	KESİNLİKLE DAHA BÜYÜK	
c										d
c										e

	KESİNLİKLE DAHA BÜYÜK	ÇOK DAHA BÜYÜK	DAHA BÜYÜK	BÜYÜK	EŞİT	BÜYÜK	DAHA BÜYÜK	ÇOK DAHA BÜYÜK	KESİNLİKLE DAHA BÜYÜK	
d										e

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Kocaeli'de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Kocaeli'de tamamladı. 1999 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden 2003 yılında Endüstri Mühendisi olarak mezun oldu. Eylül 2003'de Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Eğitimine başladı.

2005 yılından beri Kocaeli Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.