DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ İÇİN BULANIK KARAR MODELLEME

Ergün Alperay TARIM

Temmuz, 2017

İZMİR

TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ İÇİN BULANIK KARAR MODELLEME

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalı, Bilgisayar Bilimleri Programı

Ergün Alperay TARIM

Temmuz, 2017

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ERGÜN ALPERAY TARIM, tarafından **DOÇ. DR. EMEL KURUOĞLU KANDEMİR** yönetiminde hazırlanan **"TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ İÇİN BULANIK KARAR MODELLEME"** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Emel Kuruoğlu Kandemir

Yönetici

Prof. Dr. Saban Eren

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Efendi Nasiboğlu

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Emine İlknur CÖCEN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ İÇİN BULANIK KARAR MODELLEME

ÖZ

Bu çalışmada tedarik zinciri yönetimi, tedarik zincirini etkileyen kriterler, tedarik zinciri ağında kullanılabilecek bulanık modeller incelenmektedir. Tedarik zinciri ağında gerekli olan tedarikçi seçimi ve tedarikçi seçim kriterlerinin önem ve sıralaması odaklı, çok kriterli karar destek sistemi oluşturulmaktadır. Bu karar destek sisteminin oluşturulmasında bulanık analitik hiyerarşi prosesi (AHP), bulanık mantık ve bulanık DEMATEL metotları kullanılmaktadır. Tedarikçi seçimi ve tedarikçilerin sıralanması için bulanık mantıkla oluşturulan bir metot uygulanmaktadır. Ayrıca AHP metodu bulanıklaştırılıp karşılaştırma matrisleri aracılığı ile tedarikçiler, tedarikçi seçimi için sıralanmakta ve tedarikçi kriterlerinin önem derecesi belirlenmektedir. Ayrıca, DEMATEL (Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory) metodu da bulanıklaştırılmakta ve bulanık DEMATEL metodu ile tedarikçi seçiminde gerekli olan kriterler, sistemi etkiledikleri ve sistemden etkilendikleri değerlere göre sınıflandırılmaktadır. Karar verici için, kriterlerin önem sırası oluşturularak, karar vericinin en çok göz önüne alması gereken kriterler belirlenmektedir. Kullanılan tüm bu metotlar, uzmanlar aracılığıyla elde edilmiş olan veriler ile uygulanmakta ve sonuçları gösterilmektedir. Çalışmanın sonucunda tüm bu metotların kullanılabileceği bir ara yüz oluşturularak, karar vericiye, bir karar destek sistemi olan görsel bir program yer almaktadır.

Anahtar kelimeler: Tedarik zinciri yönetimi, çok kriterli karar verme, bulanık mantık, AHP, bulanık AHP, DEMATEL, bulanık DEMATEL

FUZZY DECISION MODELING FOR SUPPLY CHAIN MANAGEMENT

ABSTRACT

In this study, supply chain management, criteria affecting supply chain, fuzzy models which can be used in supply chain network are examined. A multi-criteria decision support system focusing on the importance and order of supplier selection and supplier selection criteria is established in the supply chain network. Fuzzy Analytic Hierarchy Process (AHP), Fuzzy Logic and Fuzzy DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) methods are used to construct this decision support system. For the selection of suppliers and the ranking of suppliers, a fuzzy logic-based method is applied. In addition, the method is blurred and matched by suppliers to order suppliers, and the importance of supplier criteria is determined. In addition, the method of DEMATEL is also blurred and the criterion required for supplier selection by the fuzzy DEMATEL method is classified according to the values that they affect the system and affect the system. For the decision maker, the importance of the criteria is created and the criteria that the decision maker should consider most are determined. All these methods are applied with the data obtained through specialists and the results are shown. At the conclusion of the study, a visual program with a decision support system is created by creating an interface where all these methods can be used.

Keywords: Supply chain management, multi-criteria decision making, fuzzy logic, AHP, fuzzy AHP, DEMATEL, fuzzy DEMATEL

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU ii
ÖZ iii
ABSTRACT iv
ŞEKİLLER LİSTESİ vii
TABLOLAR LİSTESİ viii

BÖLÜM BİR - GİRİŞ 1

BÖLÜM İKİ - BULANIK KÜME 4

2.1 Temel Tanımlar Ve Terminoloji 5
2.2 Bulanık Küme Operatörleri ve Teorisi 9
2.3 Bulanık Üyelik Fonksiyonları ve Parametreleri 10
2.4 Bulanık Küme Aritmetiği 18
2.5 Bulanık Durulaştırma 22

BÖLÜM ÜÇ - TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ 25

3.1 Tedarik Zinciri 26
3.2 Tedarik Zinciri Yönetimi 27

BÖLÜM DÖRT - ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME 31

4.1 Analitik Hiyerarşi Prosesi 35
4.2 Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi 39
4.3 DEMATEL metodu 42
4.4 Bulanık DEMATEL metodu 46

BÖLÜM BEŞ - UYGULAMA 51

5.1 Bulanık Metot İle Tedarikçi Seçimi 53
5.2 Bulanık Analitik hiyerarşi Prosesi (FAHP) İle Kriterlerin Ağırlığını Belirleme 59

5.3 Bulanık AHP ile Tedarikçi Alternatiflerinin Ağırlıklarının Belirlenmesi ve Sıralanması 63
5.4 Bulanık DEMATEL Metodu 75
5.5 Görsel Program 79

BÖLÜM ALTI - SONUÇ VE ÖNERİLER 85

KAYNAKLAR 87

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 40 yaş civarı insanların bulanık kümesi 6
Şekil 2.2 Bir hanede yaşayabilecek insan sayısını gösteren bulanık küme..... 7
Şekil 2.3 Öz, destek ve crossover noktaları 9
Şekil 2.4 Üçgensel üyelik fonksiyonu grafiği 11
Şekil 2.5 Trapezoid üyelik fonksiyon grafiği 12
Şekil 2.6 Gaussian üyelik fonksiyonu grafiği 13
Şekil 2.7 Genelleştirilmiş çan üyelik fonksiyonu grafiği 14
Şekil 2.8 Sağa yatık sigmoidal üyelik fonksiyonu grafiği, sola yatık ve sigmoidal üyelik fonksiyonu grafiği 14
Şekil 2.9 Bulanık kümelerde kesişim 16
Şekil 2.10 Bulanık kümelerde birleşim 17
Şekil 2.11 Bulanık aritmetik 22
Şekil 3.1 Doğrudan tedarik zinciri 27
Şekil 3.2 Genişletilmiş tedarik zinciri 27
Şekil 3.3 Nihai tedarik zinciri 27
Şekil 3.4 Tedarik zinciri yönetimi modeli 30
Şekil 4.1 Karar verme süreci adımları 32
Şekil 5.1 Tedarikçi seçim kriterleri 53
Şekil 5.2 Linguistik önem ağırlıklarının üyelik fonksiyonları 54
Şekil 5.3 Kriterlerin nedensel diyagram olarak gösterimi 79
Şekil 5.4 Kriterlerinizi bulanık dematel metodu ile sıralanması 80
Şekil 5.5 Kriterlerin sıralanması, gösterilmesi ve kaydedilmesi 81
Şekil 5.6 Kriterlerin sıralanması 82
Şekil 5.7 Tedarikçilerin karşılaştırma tablolarının oluşturulması ve tedarikçileri sıralama 82
Şekil 5.8 Tedarikçilerin sıralanması (FAHP) 83
Şekil 5.9 Kriterlerin önemlerinin ve tedarikçilerin performanslarının Belirlenmesi 83
Şekil 5.10 Tedarikçilerin sıralanması (bulanık metot) 84

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1 SCM aktiviteleri 29
Tablo 4.1 Önem ölçekleri 36
Tablo 4.2 RI (rastgele indisler) 37
Tablo 4.3 Linguistik terimler ve onlara karşılık gelen üçgensel bulanık sayılar 40
Tablo 4.4 Linguistik önem terimleri ve onlara karşılık gelen trapezoidal bulanık sayılar 40
Tablo 4.5 Linguistik performans terimleri ve onlara karşılık gelen trapezoidal bulanık sayılar 40
Tablo 4.6 Terimlerin sayısal değerleri 43
Tablo 4.7 Terimlerin sayısal değerleri 43
Tablo 4.8 Direkt ilişki matrisi örneği (DEMATEL) 44
Tablo 4.9 Sayısal direkt ilişki matrisi örneği 44
Tablo 4.10 Terimlerin üçgensel bulanık değerleri 47
Tablo 4.11 Direkt ilişki matrisi örneği (Bulanık DEMATEL) 47
Tablo 4.12 Bulanık direkt ilişki matrisi örneği 47
Tablo 5.1 Tedarikçi performans değerlendirmesi 55
Tablo 5.2 Bulanık sayılar ile tedarikçi performansı değerlendirmesi. 56
Tablo 5.3 Tedarikçilerin bulanık skorları 57
Tablo 5.4 Tedarikçiler için bulanık, kıvrım normal kıvrım skorlar ve sıralama 58
Tablo 5.5 Kriterlerin birebir karşılaştırma tablosu 59
Tablo 5.6 Kriterlerin karşılaştırma matrisi 59
Tablo5.7 Tüm kriterlerin bulanık karşılaştırma değerlerinin geometrik ortalamaları 61
Tablo 5.8 Kriterler için geometrik ortalamaların toplam tersleri ve artan sıra ile gösterilişi 61
Tablo 5.9 Kriterlerin bulanık ağırlıkları 62
Tablo 5.10 Kriterlerin ağırlıkları ve normalleşmiş ağırlıkları 62
Tablo 5.11 Kalite kriteri için tedarikçilerin karşılaştırma tablosu 63

Tablo 5.12 Kalite kriteri için tedarikçilerin karşılaştırma matrisi 63
Tablo 5.13 Kalite kriteri için geometrik ortalamaların toplam tersleri ve artan sıra ile gösterilişi 65
Tablo 5.14 Tedarikçilerde, kalite kriteri için bulanık ağırlıkları 65
Tablo 5.15 Tedarikçilerin kalite için ağırlıkları ve normalleşmiş ağırlıkları..... 66
Tablo 5.16 Teslimat kriteri için tedarikçilerin karşılaştırma tablosu 66
Tablo 5.17 Teslimat kriteri için tedarikçilerin karşılaştırma matrisi 66
Tablo 5.18 Teslimat kriteri için geometrik ortalamaların toplam tersleri ve artan sıra ile gösterilişi 67
Tablo 5.19 Tedarikçilerde, teslimat kriteri için bulanık ağırlıkları 68
Tablo 5.20 Tedarikçilerin teslimat için ağırlıkları ve normalleşmiş ağırlıkları 68
Tablo 5.21 Hizmet kriteri için tedarikçilerin karşılaştırma tablosu 69
Tablo 5.22 Hizmet kriteri için tedarikçilerin karşılaştırma matrisi 69
Tablo 5.23 Hizmet kriteri için geometrik ortalamaların toplam tersleri ve artan sıra ile gösterilişi 70
Tablo 5.24 Tedarikçilerde, hizmet kriteri için bulanık ağırlıkları 71
Tablo 5.25 Tedarikçilerin hizmet için ağırlıkları ve normalleşmiş ağırlıkları 71
Tablo 5.26 Maliyet kriteri için tedarikçilerin karşılaştırma tablosu 71
Tablo 5.27 Maliyet kriteri için tedarikçilerin karşılaştırma matrisi 71
Tablo 5.28 Maliyet kriteri için geometrik ortalamaların toplam tersleri ve artan sıra ile gösterilişi 73
Tablo 5.29 Tedarikçilerde, maliyet kriteri için bulanık ağırlıkları 73
Tablo 5.30 Tedarikçilerin maliyet için ağırlıkları ve normalleşmiş ağırlıkları 74
Tablo 5.31 İlgili kriterlere göre tedarikçi puanları ve kriter ağırlıkları 74
Tablo 5.32 Tedarikçi skorları ve sıralaması 75
Tablo 5.33 Linguistik direkt ilişki matrisi 75
Tablo 5.34 Direkt ilişki matrisi (uzman 1) 76
Tablo 5.35 Direkt ilişki matrisi (uzman 2) 76
Tablo 5.36 Durulaştırılmış direkt ilişki matrisi 77

Tablo 5.37 Standartlaştırılmış direkt ilişki matrisi 77
Tablo 5.38 Toplam ilişki matrisi 78
Tablo 5.39 Etkileyen ve etkilenen faktörler 78
Tablo 5.40 Ağırlıklar ve kriterlerin sıralanması 78

BÖLÜM BİR
GİRİŞ

Tedarik zinciri ağı, günümüz verileri için vazgeçilmez bir olgu ve bu olgunun veriler açısından önemi yadsınamaz düzeydedir. Tedarik zinciri elemanlarının her biri, daha verimli bir ağ oluşturmayı amaçlayan bütündür. Bu ağı verimli kılmayı sağlamak ise, ağın tüm elemanlarının en iyi oranda bu ağa katkı sağlaması ile mümkündür. Tedarik zinciri, bir çizge (graph) gibi davranır ve elemanları bu çizgenin elemanları gibi hareket eder. Tedarik zinciri bir bütündür ve hareketin her anından bütün yapı etkilenmektedir.

Tedarik zinciri, tedarikçiden ve nihai müşteriye kadar uzanan, çok yönlü bir ağdır. Bu ağın elemanı olan tedarikçiler, büyük ölçekli veriler, ortak ölçekli veriler, küçük ölçekli veriler, ham madde sağlayıcılar, müşteriler vb. koordine bir şekilde hareket etmekte ve birbirlerini daimi etkilemektedirler. Bu etkilerin olumlu veya olumsuz olmasını sağlayan ise, tedarik zinciri ağının iyi yönetilmesine ve yapısının sağlamlığına bağlıdır. Tedarikçi seçimi, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde kritik bir süreçtir. Paydaşlardan gelen artan baskı, şirketleri akıllı tedarikçi seçim kararlarına ulaşmada yardımcı olan metodolojileri aramaya zorlamıştır (Kumar ve ark., 2017).

Günümüzde değişim sürekli ve daimi olmak zorundadır. Değişim geçirmeyen hiç bir yapı sağlam kalamamaktadır. Özellikle teknoloji ve yönetim yapısı değiştikçe, her yapı gibi tedarik zinciri ağı ve yapısı da bu değişim ve yeniliklere ayak uydurmalıdır ve bu değişimin bir parçası olmak zorundadır. Örneğin 19. yüzyılın yarısında ortaya çıkan 2. sanayi devrimi öncesinde, verilerin büyük çoğunluğu ham madde ve küçük ölçekli sektörlerde faaliyet göstermiştir. Bu tip verilerin birbirlerine olan bağları minimum seviyededir. Fakat global ekonomi yapısının gelişimi ve ilerleyen ekonomi, pazarlama, lojistik alanları sayesinde veriler çok hızlı oranlarda büyümeye başlamışlardır. Bu büyümenin sonucunda, veriler 2. sanayi devriminden günümüze kadar hızla birbirlerine bağımlı hale gelmeye başlamaktadırlar. Bu bağımlı düzen, tedarik zincir yapısının temelidir. Bu yapının her elemanı, bir diğer elemanını etkilemektedir. Günümüz ekonomilerinin birbirinden etkilenmesinin,

örneğin ufak bir enerji fiyatı yükselmesinin bile bir çok ülkeyi etkilemesinin nedeni, veriler arası bu zincirin çok kuvvetli ve birbirini etkileyen bir yapıda olmasıdır.

Bu çalışmanın amacı, tedarik zinciri yapısının bu kadar önemli bir kavram olduğu ortamda, bu yapıyı verimli kılmayı amaçlayan modelleri, bulanık mantığın da yardımı ile incelemek, geliştirmek ve uygulamaktır. Tedarikçi seçiminde kullanılan çok kriterli karar verme metotları ile gerçek hayat problemlerine çözüm üretmek amaçlanmaktadır. Herhangi bir verinin, kendi kriterleri ve uzmanları ile kullanabileceği karar destek sistemi görsel programı tasarlayarak, verilerin tedarikçi seçme problemini çözmek hedeflenmektedir. Bu karar destek sistemi, kullanıcılara, onların belirlediği koşullar doğrultusunda, en önemli kriterlerden, en verimli tedarikçiye kadar seçim olanağı sağlamaktadır.

Çalışmanın birinci bölümü, hedef ve amacın anlatıldığı ve çalışmada neler yapıldığının kısa bir açıklaması yapılan giriş bölümünden oluşmaktadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, uygulamada ve modellerde kullanılacak olan bulanık küme ve bulanık mantık anlatılmaktadır. Bulanık kümelerin temel tanımları ve terminolojileri tanımlanmaktadır. Bulanık operatörler, bulanık işlemler, bulanık aritmetik, bulanık küme teorisi açıklanmaktadır. Üyelik fonksiyonları parametreleri tanımlanmakta ve bulanık sayıların durulaştırma ile reel sayılara nasıl dönüştürüldüğü gösterilmektedir.

Çalışmanın üçüncü bölümü, tedarik zinciri, tedarik zinciri ağı ve tedarik zinciri yönetimi tanımlanmaktadır. Bu yönetim ve yapıyı oluşturan elemanlar gösterilmektedir. Tedarik zinciri yönetimi konusunda yapılan çalışmalardan bahsedilmektedir. Tedarik zincirinin önemine ve verimli uygulanması gerekliliğine vurgu yapılmaktadır.

Çalışmanın dördüncü bölümü, çok kriterli karar verme sürecinden bahsedilmekte, tedarik zinciri yönetiminde nasıl kullanılacağı ve hangi adımların izlenmesi gerektiği anlatılmaktadır. Modellerin de bu yöntem ile uygulanacağı açıklanmaktadır. Ayrıca bu bölümde, uygulamada kullanılan modeller olan analitik hiyerarşi prosesi, bulanık analitik hiyerarşi prosesi, DEMATEL ve bulanık DEMATEL yöntemleri adım adım,

algoritma şeklinde açıklanmaktadır. Ayrıca gerekli olan indis ve tanımlar verilmektedir.

Beşinci bölümde ise, modeller, uzmanların belirlediği veriler ile uygulanmakta, sonuçları ve çıktıları ile gösterilmektedir. Bu uygulamaların sonucu olarak üretilen karar destek sistemi görsel programı, menüler ve program çıktısı pencere görültüleri vasıtası ile anlatılmaktadır.

Altıncı ve son bölümde ise çalışmanın sonuçları hakkında bilgiler verilmekte ve ileride yapılabilecek çalışmalar için önerilerde bulunulmaktadır.

BÖLÜM İKİ
BULANIK KÜME

Matematiksel olarak bir sistemin çözümlenmesi veya sistemin kurulması için bilinen insanlık tarihi boyunca insanlar özellikle temel bilimciler ve düşünürler kesin ve net çözümler veya sonuçlar üretmeye çalışmışlardır. Sistemi kurarken veya çözümlerken her zaman net cevaplar elde etmeye çalışılmış, kesin olmayan cevaplarla karşılaşıldığında çözümün yanlışlığı sorgulanmıştır. Fakat gerçek hayatta her sistem kesin sonuçlar veya veriler vermek zorunda değildir. En göz önünde olan gerçek hayatta yani ekosistemde de görüldüğü gibi hiç bir şey kesin ve net değildir. Havanın kesin mavi veya kesin beyaz olduğunu söyleyemeyiz. Dünyadaki hiç bir okyanusun kaldırma kuvveti aynı değildir. Hiç bir canlı insan anatomisi birbirinin eşiti veya kopyası değildir. Her sistemin kesin olmayan sonuçları, her sonucun ne kadar küçük bile olsa yanlışlık payı vardır.

Klasik mantıkta her önerme kesin olmalıdır. Her bir klasik kümenin keskin sınırları vardır. Örneğin bir A kümesi reel sayılardan oluşan ve 0'dan büyük reel sayıları temsil etsin. Bu durumda;

$$A = \{x \mid x > 0\}, \tag{2.1}$$

Bu kümede görüldüğü gibi $\forall x$ elemanı 0 dan büyük reel bir sayı olmak zorundadır başka bir deyişle eğer $x \in A$ ise hiç bir x elemanı negatif reel sayı olamaz. Klasik küme mantığı matematik ve bilgisayar bilimlerinin vazgeçilmesi ve bu alanlarda sıkça kullanılmasına rağmen, insan doğasının temelini yansıtmaz. Eğer her hangi bir insan özelliğini A kümesi ile tanımlamaya çalışsak, seçilen özelliğe 0 dan küçük değerde sahip olan insanların hiçbirinin bu özelliği taşımadığını kabul etmiş oluruz. Örneğin insanları 0 yaşından büyük varlıklar olarak tanımlarsak, insanı oluşturan sperm, embriyo ve fetüs evrelerini hiçe saymış oluruz. Bu da klasik mantığın ve klasik kümelerin keskin sınırlarını göstermektedir.

Klasik kümeler ile karşılaştırıldığında, bulanık kümenin keskin sınırlara sahip olmadığını görürüz. Bunun anlamı 'kümeye ait olma' veya 'kümeye ait olmama' durumlarının daha esnekleştirildiği anlamına gelmektedir. Bu da bulanık kümelerin üyelik değerleri (membership value) ile bizlere kümeye ait olma veya olamama

durumunu klasik kümelere göre daha esnek (flexible) olduğunu göstermektedir. Bu teoriyi L. A. Zadeh (1965), "Fuzzy Sets" isimli seminer makalesinde bulanık kümeyi şöyle tanımlamaktadır, 'İnsan düşüncesinde, özellikle kalıp tanıma, bilgi iletişim ve soyutlama alanlarında önemli bir rol oynamaktadır.'

Bulanık kümenin rastgelelikten geldiği düşünülmemelidir fakat kesin olamama ve insan doğası gereği soyut düşünceler ve konseptlerden oluştuğu söylenebilir.

Şimdi bulanık kümeyi açıklayıcı ve tanımlayıcı bazı temel tanımlar verilecektir. (Dubois, 1980; Jang, Sun ve Mizutani, 1997).

1. Temel Tanımlar ve Terminoloji

X nesneler içeren uzay olsun ve x bu uzayın herhangi bir elemanı olsun ($x \in X$). Herhangi bir A klasik kümesi için, $A \subseteq X$ olsun. Bu durumda x elemanları veya nesneleri ya A'nın da elemanıdır ya da A'nın elemanı değildir. Bu elemanın klasik bir A kümesi için aitliğini $(x, 0)$ veya $(x, 1)$ şeklinde sıralı ikilliler şeklinde tanımlayabiiliriz. Bu da sırası ile $x \in A$ veya $x \notin A$ şeklinde ifade edilir.

Bulanık kümelerde ise bir kümeye ait olma net 0 veya 1 olarak tanımlanmaz. Bulanık kümenin elemanları 0 ile 1 değerleri arasında ifade edilen üyelikler ile kümeye aitliği gösterilir.

Tanım 2.1 *Bulanık küme ve üyelik fonksiyonu*

Eğer X nesneler içeren uzay ve x bu uzayın herhangi bir elemanı ise X uzayının içinde bulanık küme A , denklem 2.2'deki gibi tanımlanır,

$$A = \{x, \mu_A(x) | \, x \in X\}, \tag{2.2}$$

A kümesinde $\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonu (membership function, kısaca MF) olarak adlandırılır ve her bir $x \in X$ elemanının 0 ile 1 arasında üyelik değeri (membership value) bulunur.

Görüldüğü gibi bulanık küme tanımı aslında karakteristik fonksiyonu 0 ile 1 arasında değerlere sahip olan, klasik küme tanımının basit bir versiyonudur. Genelde

X uzay için tanımlanan bir söylemdir ve genellikle bu uzayı temsil etmede X sembolü kullanılır.

Örnek 2.1 *Sürekli Uzayda Bulanık kümeler*

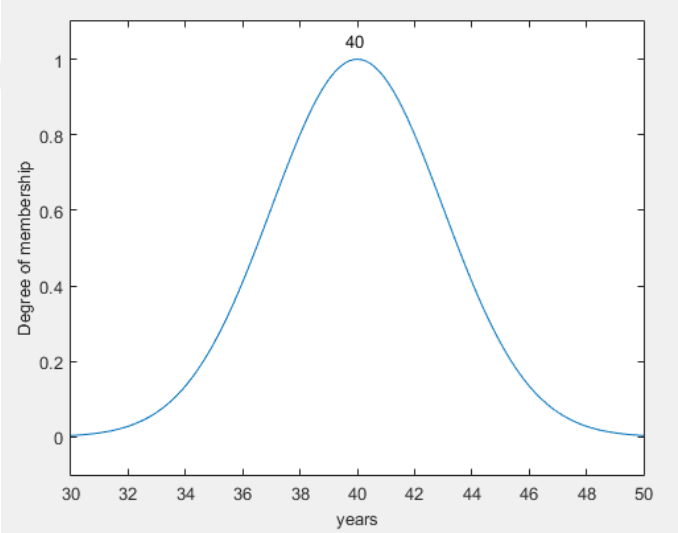
$X = R^+$ insanların yaşını belirleyen küme olsun. $B = \{40\ yaş\ civarı\ insanlar\}$ kümesi aşağıdaki gibi tanımlanır,

$$B = \{(x, \mu_B(x)) \mid x \in X\},$$

burada

$$\mu_B(x) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-40}{3}\right)^2}$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Bu küme Şekil 2.1'de gösterilmektedir. Bu küme sürekli uzayda ifade edilen ve gaussian kuralı ile elde edilmiştir.



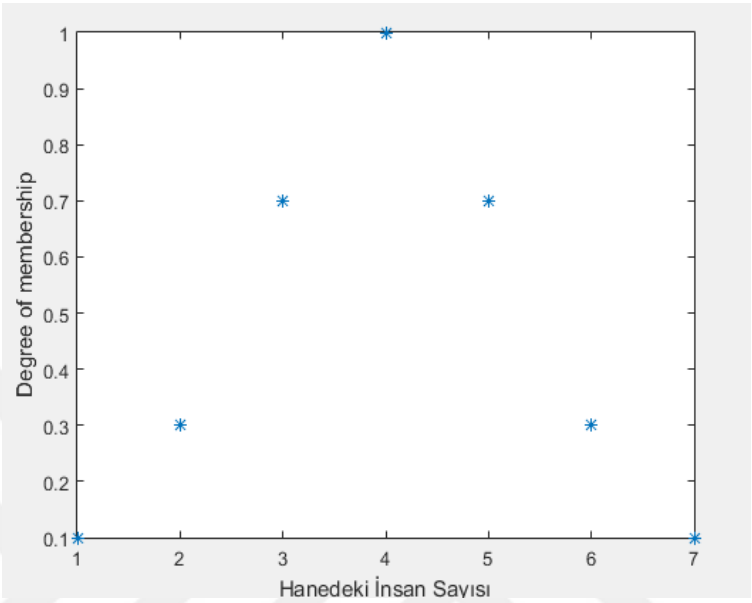
Şekil 2.1 40 yaş civarı insanların bulanık kümesi

Örnek 2.2 *Ayrık Uzayda Bulanık kümeler*

$X = \{1,2,3,4,5,6,7\}$ bir hanedeki insan sayısını belirleyen küme olsun. C kümesi ise "Bir hanede yaşayabilecek insanların sayısı" olarak ifade eder isek, bu kümeyi bulanık olarak şu şekilde tanımlayabiliriz.

$$C = \{(1\ /\ 0{,}1), (2\ /\ \ 0{,}3), (3\ /\ \ 0{,}7), (4\ /\ 1), (5\ /\ \ 0{,}7), (6\ /\ \ 0{,}3), (7\ /\ 0{,}1)\}.$$

Burada ayrık bir uzay olan X de tanımlanmış bir bulanık küme ve üyelik fonksiyonları belirlenmektedir ve C bulanık kümesi Şekil 2.2'de gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Bir hanede yaşayabilecek insan sayısını gösteren bulanık küme

Bu iki örnekte görüldüğü gibi, bulanık kümeler iki şeye bağımlıdır. Bunlar; kümenin tanımlı olduğu bir uzaydır ve kümenin elemanlarının sahip oldukları üyelik fonksiyonlarıdır. Üyelik fonksiyonları öznel olarak tanımlanabilir. Örnek 2.2'de olduğu gibi bir hanedeki yaşayabilecek insan sayısı öznel bir görüştür ve bulanık kümelerde tanımlaya müsait bir kavramdır.

Bu doğrultuda F bir bulanık küme olsun. F bulanık kümesi denklem 2.3'deki gibi de tanımlanabilir,

$$F = \begin{cases} \sum_{x_i \in X} \mu_F(x_i), x_i, & eğer\ X\ bir\ ayrık\ uzay\ ise. \\ \int_X \mu_F(x), x, & eğer\ X\ bir\ sürekli\ uzay\ ise. \end{cases} \tag{2.3}$$

Tanım 2.2 *Destek (Support)*

F bir bulanık küme olsun ve $\forall x$, X uzayının elemanı olsun. Eğer $\mu_F(x) > 0$ ise x elemanlar denklem 2.4'deki gibi destek elemanlarıdır. Yani,

$$support(F) = \{x | \mu_F(x) > 0\}. \quad (2.4)$$

Tanım 2.3 *Öz (Core)*

F bir bulanık küme olsun ve $\forall x,\ X$ uzayının elemanı olsun. Eğer $\mu_F(x) = 1$ ise x elemanlar denklem 2.5'deki gibi öz (core) elemanlarıdır. Yani,

$$core(F) = \{x | \mu_F(x) = 1\}. \quad (2.5)$$

Tanım 2.4 *Normallik (Normality)*

Eğer bir F bulanık kümesinin özü boş küme değil ise F bulanık kümesi normaldir. Yani, $\exists x \in X$ için $\mu_F(x) = 1$.

Tanım 2.5 *Crossover Noktaları (Crossover Points)*

F bir bulanık küme olsun ve her hangi bir $x \in X$ elemanı vardır ki $\mu_F(x) = 0{,}5$ ise x crossover noktasıdır. Bu nokta denklem 2.6'da gösterildiği gibidir,

$$crossover(F) = \{x | \mu_F(x) = 0{,}5\}. \quad (2.6)$$

Tanım 2.6 ***α*-kesimi veya *α*-düzey kesimi ve güçlü *α*-kesimi** *(α-cut and strong α-cut)*

F bir bulanık küme olsun. α-düzey kesimi denklem 2.7'deki gibi tanımlanır,

$$F_{\boldsymbol{\alpha}} = \{x | \mu_F(x) \geq \boldsymbol{\alpha}\}. \quad (2.7)$$

güçlü α-kesimi veya güçlü α-düzey kesimi de denklem 2.8'deki gibi tanımlanır,

$$F'_{\boldsymbol{\alpha}} = \{x | \mu_F(x) > \boldsymbol{\alpha}\}. \quad (2.8)$$

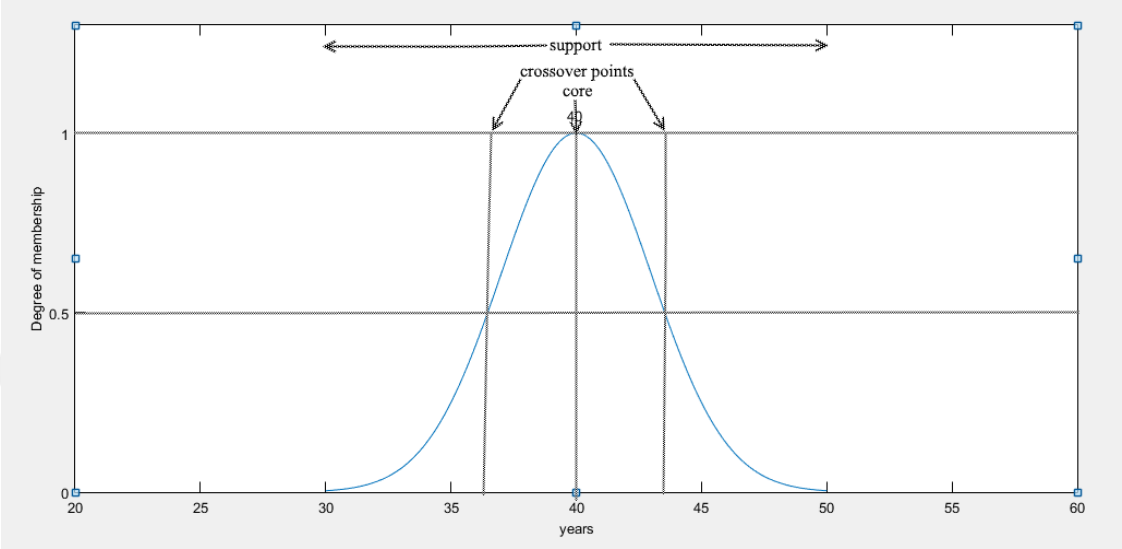
Tanım 2.6'ya göre öz ve destek de bir F bulanık kümesi şu şekilde tanımlanabilir,

$$support(F) = F'_0$$

ve

$$core(F) = F_1.$$

Ayrıca Örnek 2.1'deki Şekil 2.1 baz alınarak, Şekil 2.3'de öz, destek ve crossover noktaları gösterilmektedir.



Şekil 2.3 Öz, destek ve crossover Noktaları

Tanım 2.7 *Konvekslik (Convexity)*

F bir bulanık küme iken F konvextir ancak ve ancak her hangi $x_1, x_2 \in X$ ve her hangi $\lambda \in [0,1]$ için denklem 2.9'daki eşitsizliği sağlar

$$\mu_F(\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2) \geq \min\{\mu_F(x_1), \mu_F(x_2)\}. \tag{2.9}$$

Ek olarak, Eğer F'in her α-düzey kümeleri konveks ise F konvekstir.

Tanım 2.8 *Bulanık Sayılar*

F bir bulanık küme olsun. Eğer F kümesi reel düzelemde ($\mathcal{R}$) konveks ve normal bir küme ise F kümesi bulanık sayıları temsil eder.

2.1 Bulanık Küme Operatörleri ve Teorisi

Birleşim, kesişim ve ters işlemler klasik küme teorisinin sahip olduğu bazı operatörlerdir. Aynı şekilde bulanık küme teorisinde de bu gibi operatörler mevcuttur ve sıkça kullanılmaktadır. Bu operatörleri Zadeh (1965) makalesinde tanımlamıştır. Bu çalışma doğrultusunda operatörlerin bulanık kümedeki eşdeğerleri şu şekildedir.

Tanım 2.9 *Bulanık Alt Küme (fuzzy subset)*

Eğer bir A bulanık kümesi B bulanık kümesinin alt kümesi ise ancak ve ancak her x için $\mu_A(x) \leq \mu_B(x)$ dir. Denklem 2.10'da gösterildiği gibi,

$$A \subseteq B \iff \mu_A(x) \leq \mu_B(x). \tag{2.10}$$

Tanım 2.10 *Bulanık Birleşim (Union)*

Eğer bir A bulanık kümesi ve B bulanık kümesinin birleşimi C bulanık kümesi ise $C = A \cup B$ veya $C = A\ veya\ (or)\ B$ operatörleri kullanılır. Üyelik fonksiyonları arasındaki ilişki ise denklem 2.11' de gösterilmektedir,

$$\mu_C(x) = \max\big(\mu_A(x), \mu_B(x)\big) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x). \tag{2.11}$$

Tanım 2.11 *Bulanık Kesişim (İntersection)*

Eğer bir A bulanık kümesi ve B bulanık kümesinin kesişimi C bulanık kümesi ise $C = A \cap B$ veya $C = A\ ve\ (and)\ B$ operatörleri kullanılır. Üyelik fonksiyonları arasındaki ilişki ise denklem 2.12' de gösterilmektedir,

$$\mu_C(x) = \min\big(\mu_A(x), \mu_B(x)\big) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x). \tag{2.12}$$

Tanım 2.12 *Bulanık kümenin değili (Complement)*

Bir A bulanık kümesinin değili, $\bar{A}$ $(NOT\ A)$ denklem 2.13'de tanımlanmaktadır,

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x). \tag{2.13}$$

2.3 Bulanık Üyelik Fonksiyonları ve Parametreleri

Önceden de tanımladığımız gibi bulanık kümeler üyelik fonksiyonları ile ifade edilirler. Bu fonksiyonlar tanım ve değer aralığı olarak değişiklik gösterebilirler ve çoklu boyutlarda da tanımlanabilirler. Bu tezde tek boyutlu üyelik fonksiyonları kullanılmıştır ve bundan dolayı tek boyutlu üyelik fonksiyonlarını tanımlamaktadır.

Tanım 2.12 *Üçgensel Üyelik Fonksiyonları (Triangular MFs)*

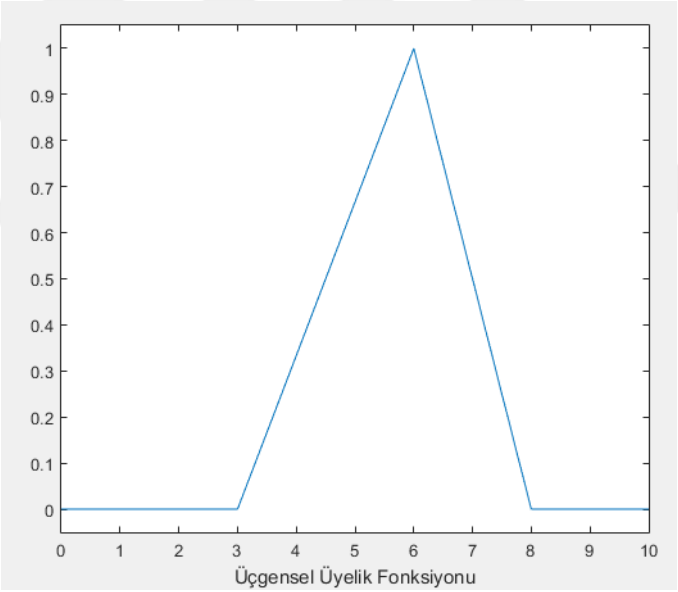
Üçgensel üyelik fonksiyonları üç parametre $\{a, b, c\}$ $(a < b < c)$ altında tanımlanabilir ve bu tanım denklem 2.14'deki gibidir,

$$\text{triangle}(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a. \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b. \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c. \\ 0, & c \leq x. \end{cases} \tag{2.14}$$

veya max ve min operatörleri ile de denklem 2.15' de tanımlanmaktadır,

$$\text{triangle}(\text{x; a, b, c}) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right), 0\right) \tag{2.15}$$

$\text{triangle}(\text{x; 3,6,8})$ üçgensel üyelik fonksiyonunun grafiği Şekil 2.4'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Üçgensel üyelik fonksiyonu grafiği

Tanım 2.13 *Yamuksu Üyelik Fonksiyonları (Trapezoidal MFs)*

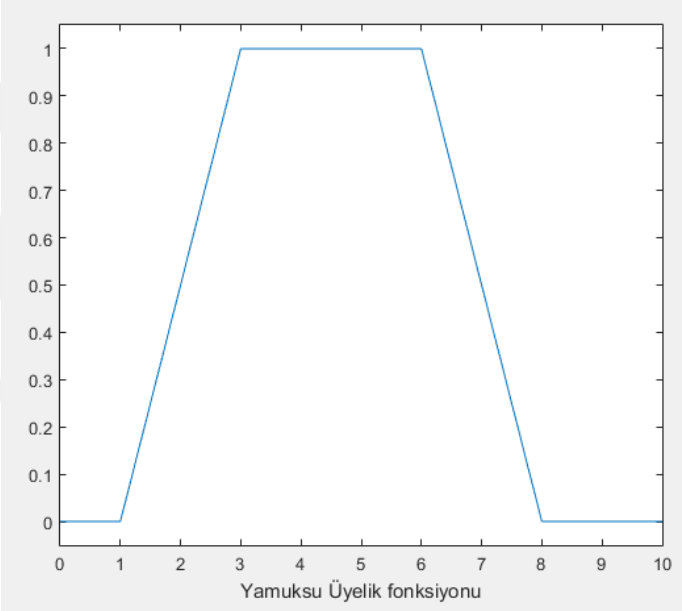
Yamuksu üyelik fonksiyonları dört parametre $\{a, b, c, d\}$ $(a < b \leq c < d)$ altında tanımlanabilir ve bu tanım denklem 2.16'daki gibidir,

$$\text{trapezoid}(\text{x};\text{a},\text{b},\text{c},\text{d}) = \begin{cases} 0, & x \le a. \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \le x \le b. \\ 1, & b \le x \le c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \le x \le d. \\ 0, & d \le x. \end{cases} . \quad (2.16)$$

veya max ve min operatörleri ile de denklem 2.17' de tanımlanmaktadır,

$$\text{trapezoid}(\text{x};\text{a},\text{b},\text{c},\text{d}) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c}\right), 0\right). \quad (2.17)$$

$\text{trapezoid}(\text{x};1,3,6,8)$ yamuksu üyelik fonksiyonunun grafiği Şekil 2.4'de gösterilmiştir.



Şekil 2.5 - Trapezoid üyelik fonksiyon grafiği

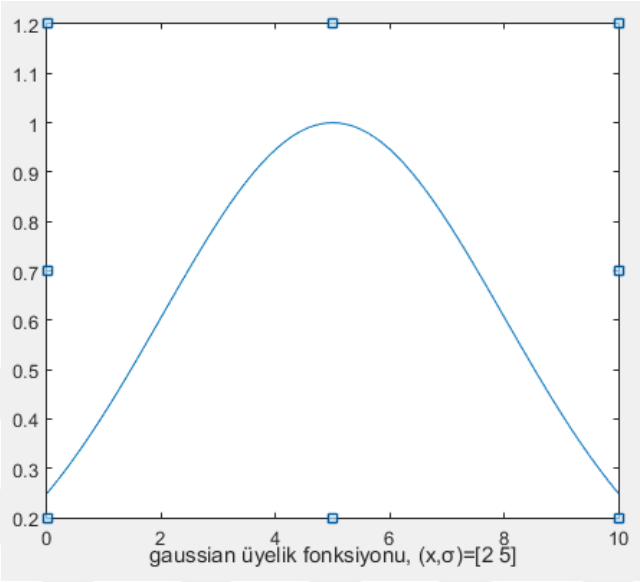
Tanım 2.14 *Gaussian Üyelik Fonksiyonları (Gaussian MFs)*

Gaussian üyelik fonksiyonları iki parametre $\{c, \sigma\}$ altında tanımlanabilir ve bu tanım denklem 2.18' de gösterilmiştir,

$$\text{gaussian}(\text{x};\text{c},\sigma) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2}. \quad (2.18)$$

Gaussian üyelik fonksiyonunun iki parametresi olan c ve σ sırası ile; c üyelik fonksiyonunun merkezini ve σ ise üyelik fonksiyonunun genişliğini temsil etmektedir.

Şekil 2.6'da gaussian$(x; 2,5)$'in grafiği gösterilmektedir.



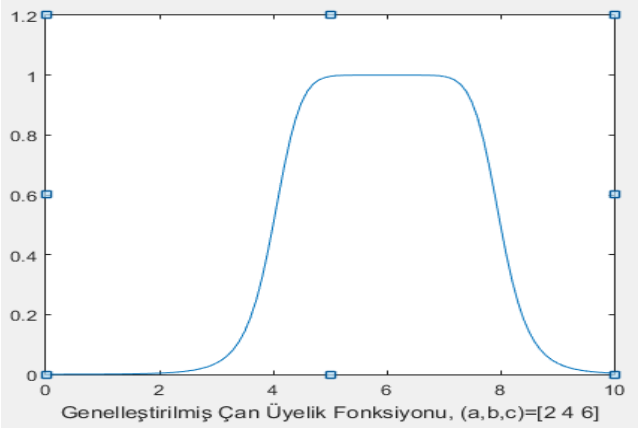
Şekil 2.6 Gaussian üyelik fonksiyonu grafiği

Tanım 2.14 *Genelleştirilmiş Çan Üyelik Fonksiyonları (Generalized Bell MFs)*

Genelleştirilmiş Çan üyelik fonksiyonları üç parametre $\{a,b,c\}$ (b genelde pozitiftir çünkü b negatif olursa çan grafiği baş aşağı olur) altında tanımlanabilir ve bu tanım denklem 2.19' da gösterilmiştir,

$$\text{bell}(x; a, b, c) = \frac{1}{1+\left|\frac{x-c}{a}\right|^{2b}} \tag{2.19}$$

$\text{bell}(x; 2,4,6)$ genelleştirilmiş çan üyelik fonksiyonunun grafiği Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Genelleştirilmiş çan üyelik fonksiyonu grafiği

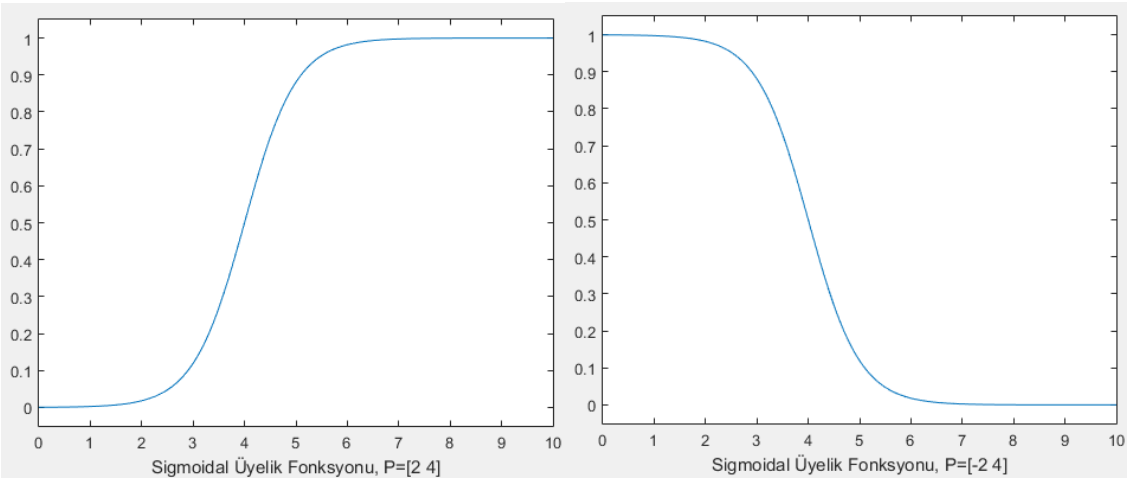
Tanım 2.14 *Sigmoidal Üyelik Fonksiyonları (Sigmoidal MFs)*

Sigmoidal üyelik fonksiyonları, yukarda tanımlanan üyelik fonksiyonlarının aksine simetrik değildir. Sigmoidal üyelik fonksiyonları iki parametre $\{a, c\}$ altında tanımlanabilir ve bu tanım denklem 2.20'de gösterilmektedir,

$$\text{sig}(x; a, c) = \frac{1}{1+\exp[-a(x-c)]} \ . \tag{2.20}$$

Sigmoidal üyelik fonksiyonunun parametresi olan a, x=c crossover noktasında eğriliği kontrol eden parametredir. a'nın işaretine göre de sigmoidal üyelik fonksiyonunun sağa veya sola yatık olma durumu değişir. Bu bakımdan Sigmoidal üyelik fonksiyonu ekosistem ve linguistik verilerde çok kullanışlı bir fonksiyondur.

Sigmoidal üyelik fonksiyonunun grafiği Şekil 2.8'de gösterilmektedir.



Şekil 2.8 Sağa yatık sigmoidal üyelik fonksiyonu grafiği ve sola yatık sigmoidal üyelik fonksiyonu grafiği

Tanım 2.15 *Bulanık Kümelerin Tümleyeni (Fuzzy Complement)*

Bulanık kümelerin tümleyeni $N : [0,1] \rightarrow [0,1]$ tanımlı bir fonksiyondur ve denklem 2.21'deki axiomları sağlaması gerekmektedir;

$$N(0) = 1 \text{ ve } N(1) = 0 \text{ (Sınırlılık)}$$

$$\text{eğer a} \leq \text{b ise } N(a) \geq N(b) \text{ (Monotonluk).} \qquad (2.21)$$

Tümleyeni olan bütün bulanık kümeler denklem 2.21'deki şartları sağlamalıdır. Tüm bulanık kümelerin denklem 2.21'deki şartları sağlamadığı gibi tersleri de yoktur.

Bulanık tümleyenin sağlaması gereken bir diğer şart ise;

$$N\big(N(a)\big) = a \text{ (involution),}$$

şartıdır. Bu şart bulanık küme ters fonksiyonunun iki kere uygulandığında bulanık kümenin kendisini vermesi şartıdır.

A ve B iki bulanık küme olsun. Bu iki bulanık kümenin kesişimi genel olarak belirtilen $T : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$ operatörüdür ve denklem 2.22'de gösterilmiştir,

$$\mu_{A \cap B}(x) = T(\mu_A(x), \mu_B(x)) \qquad (2.22)$$

Yukarıda belirtilen T operatörü genel olarak T-norm olarak adlandırılır.

Tanım 2.16 *T-norm*

T-norm operatörü iki değişkenli bir operatördür ve şu şartları sağlamalıdır,

$T(0,0) = 0, T(a,1) = T(1,a) = a$ (Sınırlılık)
Eğer $a \leq c \; ve \; b \leq d \; ise \; T(a,b) \leq T(c,d)$ (Monotonluk)
$T(a,b) = T(b,a)$ (Yer Değiştirebilirlik)
$T\big(a, T(b,c)\big) = T(T(a,b),c)$ ($Birleşme$ Özelliği).

En çok kullanılan ve Tanım 2.16'da belirtilen T-norm operatörleri denklem 2.23'de gösterilmektedir;

Minimum: $\mathrm{T}_{min}(a,b) = \min(a,b) = a \wedge b.$

Cebirsel Çarpım (Algebraic Product): $\mathrm{T}_{ap}(a,b) = ab.$

Sınırlanmış Çarpım (Bounded Product): $\mathrm{T}_{bp}(a,b) = 0 \vee (a+b-1)$ (2.23)

Drastik Çarpım (Drastic Product): $\mathrm{T}_{dp}(a,b) = \begin{cases} a, & \text{eğer } b = 1. \\ b, & \text{eğer } a = 1. \\ 0, & \text{eğer } a, b < 1. \end{cases}$

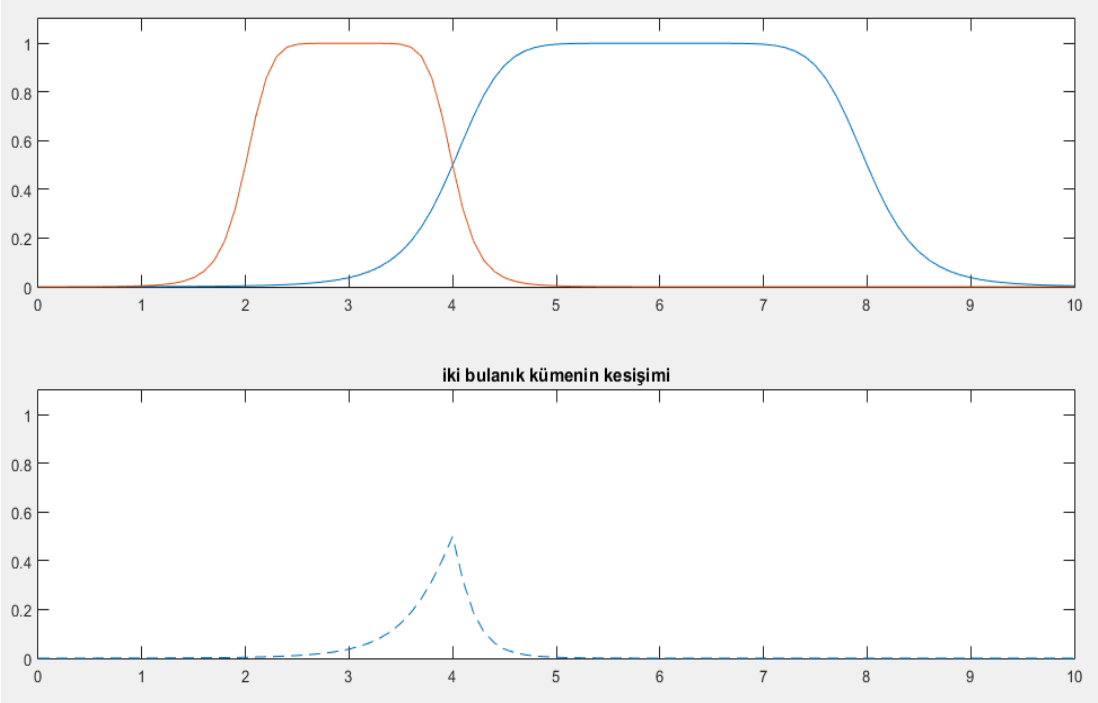
dir.

A ve B iki bulanık küme olsun. Bu iki bulanık kümenin birleşimi genel olarak belirtilen $S : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$ operatörüdür ve denklem 2.24'de gösterilir,

$$\mu_{A \cup B}(x) = S(\mu_A(x), \mu_B(x)) \tag{2.24}$$

Yukarıda belirtilen S operatörü genel olarak T-conorm olarak adlandırılır.

İki bulanık kümenin kesişimi Şekil 2.9'da gösterilmektedir.



Şekil 2.9 Bulanık kümelerde kesişim

Tanım 2.16 *T-conorm (S-norm)*

T-conorm operatörü veya S-norm operatörü iki değişkenli bir operatördür ve şu şartları sağlamalıdır,

$S(0,0) = 0, S(a,1) = S(1,a) = a$ (Sınırlılık)

Eğer $a \leq c$ ve $b \leq d$ ise $S(a,b) \leq S(c,d)$ (Monotonluk)

$S(a,b) = S(b,a)$ (Yer Değiştirebilirlik)

$S\big(a, S(b,c)\big) = S(S(a,b),c)$ (*Birleşme* Özelliği).

En çok kullanılan ve Tanım 2.16'da belirtilen T-conorm operatörleri denklem 2.25'de gösterilmektedir;

Maximum: $S(a,b) = \max(a,b) = a \vee b.$

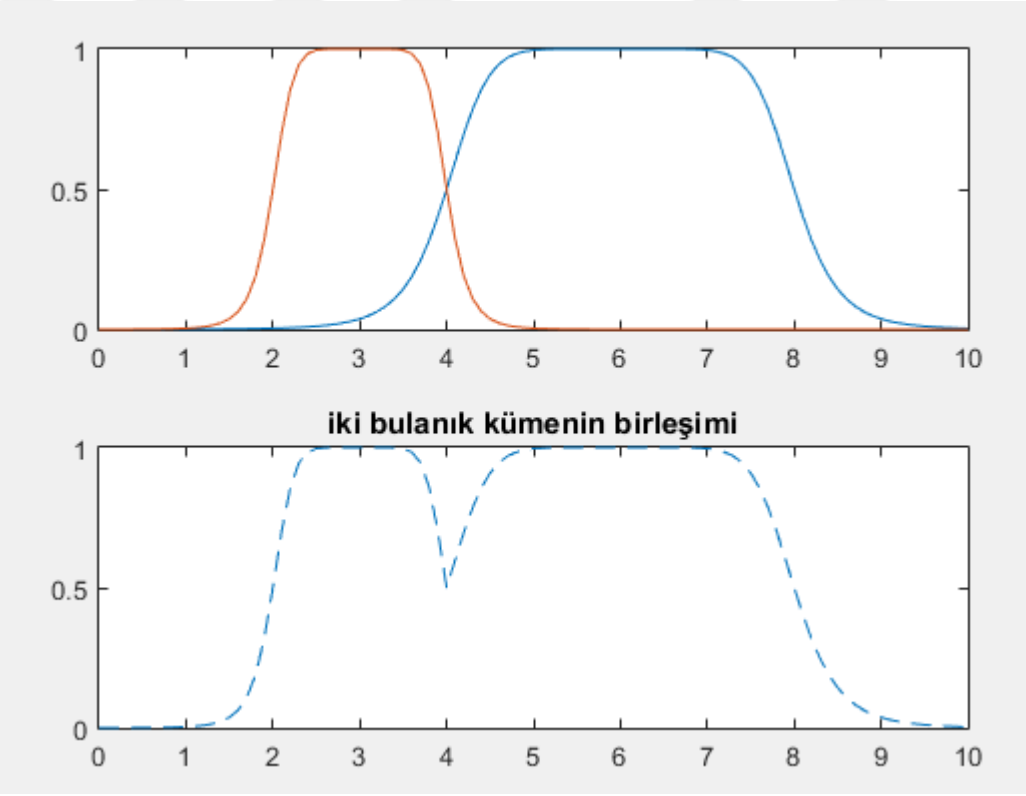
Cebirsel Toplam (Algebraic Sum): $S(a,b) = a + b - ab.$

Sınırlanmış Toplam (Bounded Sum): $S(a,b) = 1 \wedge (a+b)$ (2.25)

Drastik Toplam (Drastic Sum): $S(a,b) = \begin{cases} a, & \text{eğer } b = 0. \\ b, & \text{eğer } a = 0. \\ 1, & \text{eğer } a, b > 0. \end{cases}$

dir.

İki bulanık kümenin birleşimi Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10 Bulanık kümelerde birleşim

Teorem 2.1 *Genelleşmiş DeMorgan Kuralı*

T-norm ve S-norm operatörleri DeMorgan kuralını sağlar eğer N operatörü bulanık ters (complement) operatörü (Tanım 2.15) ise,

$$T(a,b) = N\left(S\big(N(a),N(b)\big)\right),$$

$$S(a,b) = N\left(T\big(N(a),N(b)\big)\right).$$

2.4 Bulanık Küme Aritmatiği

Bulanık kümelerde de klasik kümelerde olduğu gibi aritmetik operatörlerin kullanımı sık ve gereklidir. Klasik kümelerde aritmetik operatörlerin kullanılmasında nasıl bazı şartların sağlanması gerekiyorsa, bulanık kümelerde de tanımlanan bazı şart ve koşulla vardır.

İki bulanık sayının toplamı ve farkını tanımlamadan önce bu operatörlerin uygulanması için gerekli özellikleri tanımlamak gerekmektedir. M , N ve K bulanık sayılar olsun. Bu özellikler (Chen, Hwang ve Hwang 1992);

a. Yer Değişebilirlik: $M\ (+)\ N\ =\ N\ (+)\ M$.
b. Birleşme Özelliği: $(\ M\ (+)\ N\ )\ (+)\ K\ =\ M\ (+)\ (\ N\ \ (+)\ K\ )$.
c. Etkisiz Eleman: $M\ (+)\ 0\ =\ 0\ (+)\ M\ =\ M$
d. Simetrik Olmama Özelliği: $M\ (+)(-N) =\ (-N)(+)M \neq 0$ öyle ki
   $x \in \mathcal{R}$ olsun ve -N görüntüsünün üyelik fonksiyonu
   $$\mu_{-N}(x) = \mu_N(-x)$$
   nun.

Tanım 2.17 *İki Bulanık Sayının Toplamı*

M ve N iki bulanık sayı olsun. Bu iki bulanık sayının toplamı iki ayrı şekilde gösterilir.

α-kesimleri kullanarak: İlk olarak M ve N için α-level kümelerini aralık olarak tanımlanır;

$$M_\alpha = [m_1, m_2]$$

ve

$$N_\alpha = [n_1, n_2].$$

M ve N bulanık sayılarının toplamı denklem 2.26'daki gibi tanımlanır (Kaufmann ve Gupta 1985),

$$M_\alpha(+)N_\alpha = [m_1 + n_1, m_2 + n_2]. \tag{2.26}$$

max-min kullanarak: Her $x, y, z \in \mathcal{R}$ olsun. M ve N bulanık sayılarının toplamı denklem 2.27'deki gibi tanımlanır (Chen, Hwang ve Hwang 1992),

$$\mu_{M(+)N}(z) = \max_{z=x+y}\big(\mu_M(x) \wedge \mu_N(y)\big). \tag{2.27}$$

Tanım 2.18 *İki Bulanık Sayının Farkı*

M ve *N* iki bulanık sayı olsun. Bu iki bulanık sayının farkı iki ayrı şekilde gösterilir.

α-kesimleri kullanarak: İlk olarak M ve N için α-level kümelerini aralık olarak tanımlanır;

$$M_\alpha = [m_1, m_2]$$

ve

$$N_\alpha = [n_1, n_2].$$

M ve N bulanık sayılarının farkı denklem 2.28'de tanımlanmaktadır,

$$M_\alpha(-)N_\alpha = [m_1 - u_2, m_2 - u_1]. \tag{2.28}$$

max-min kullanarak: Her $x, y, z \in \mathcal{R}$ olsun. M ve N bulanık sayılarının farkı denklem 2.29'da tanımlanmaktadır,

$$\mu_{M(-)N}(z) = \max_{z=x+(-y)}\left(\mu_M(x) \wedge \mu_N(-y)\right) = \max_{z=x+y}\left(\mu_M(x) \wedge \mu_{-N}(y)\right).$$

(2.29)

İki bulanık sayının toplamı ve farkını tanımlamadan önce bu operatörlerin uygulanması için gerekli özellikleri tanımlamak gerekmektedir. M , N ve K bulanık sayılar olsun. Bu özellikler(Chen, Hwang ve Hwang 1992);

a. Eğer M ve N aynı işaretli ise, $M(*)N$ pozitif fuzzy sayılardır.
b. Eğer $(-M)(*)N = -(M(*)N)$ ise M ve N farklı işaretlidir.
c. M ve N'nin çarpımının yer değiştirme ve birleşme özelliği vardır. Yani,

$$M\ (*)N\ =\ N\ (*)M$$

ve

$$(\ M\ (*)N\ )(*)K\ =\ M\ (*)(\ N\ \ (*)K\ ).$$

d. Eğer etkisiz eleman bulanık sayının sağ ve solunda tanımlı ise;

$$M\ (*)1\ =\ 1\ (*)M\ =\ M.$$

e. M bulanık sayısının tersi M^{-1} şeklinde gösterilir ve $M\ (*)M^{-1} \neq 1$ ve şu şekilde tanımlanır,

$$M_\alpha^{-1} = \left[\frac{1}{m_2}, \frac{1}{m_1}\right].$$

Tanım 2.19 *İki Bulanık Sayının Çarpımı*

Eğer M ve N iki pozitif bulanık sayı ise (Chen, Hwang ve Hwang 1992),

$$\mu_M(x) = 0, \forall\ x\ < 0$$

ve

$$\mu_N(y) = 0, \forall\ y\ < 0 \text{ dir.}$$

Z iki bulanık sayı M ve N'nin çarpımı olsun. $\mu_Z(z)$ tepe noktasının solunda monoton artan ve tepenin sağında monoton azalan ise bulanık sayıların çarpımı aşağıda sırası ile verilmektedir (Kaufmann ve Gupta 1985),

1. Bulanık sayının sol tarafı için her (x, y) ikilisi için $xy \leq z$ dir. Böylece $\mu_Z(z)$'nin sol bacağı denklem 2.30'da tanımlanır,

$$\mu_{M(*)N}(z) = \max_{xy=z}\big(\mu_M(x) \wedge \mu_N(y)\big). \quad (2.30)$$

2. Bulanık sayının sağ tarafı için her (x, y) ikilisi $xy \geq z$ dir. Böylece $\mu_Z(z)$'nin sağ bacağı denklem 2.31'de tanımlanır,

$$\mu_{M(*)N}(z) = \max_{xy=z}\big(\mu_M(x) \wedge \mu_N(y)\big). \quad (2.31)$$

3. M ve N iki sürekli üyelik fonksiyonları ise çarpımları denklem 2.32'de tanımlanır,

$$M_\alpha(*)N_\alpha = [m_1 * n_1, m_2 * n_2]. \quad (2.32)$$

Tanım 2.20 *İki Bulanık Sayının Bölümü*

M ve N pozitif bulanık sayılarının bölümü şu şekilde tanımlanır (Chen, Hwang ve Hwang 1992),

1. $M(:)N$ nin sol bacağı için,

$$\mu_{M(:)N}(z) = \max_{z=x/y}\big(\mu_M(x) \wedge \mu_N(y)\big) \ \forall x, y, z. \quad (2.33)$$

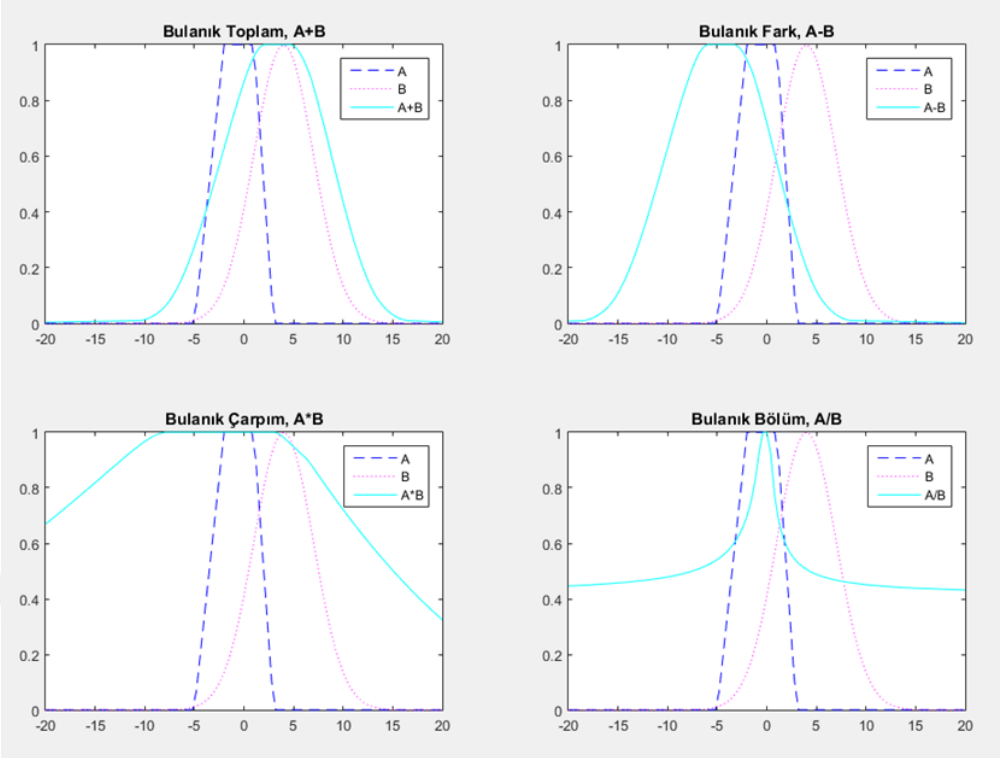
2. $M(:)N$ nin sağ bacağı için,

$$\mu_{M(:)N}(z) = \max_{z=x/y}\big(\mu_M(x) \wedge \mu_N(y)\big) \ \forall x, y, z. \quad (2.34)$$

3. M ve N iki sürekli üyelik fonksiyonları ise bölümleri denklem 2.35'de tanımlanır,

$$M_\alpha(:)N_\alpha = \left[{}^{m_1}/_{n_2}, {}^{m_2}/_{n_1}\right]. \ n_2, n_1 > 0. \quad (2.35)$$

$A = \text{trapezoid}(-5, -2, 1, 3)$ ve $B = \text{gaussian}(3, 4)$ üyelik fonksiyonları olsun. Şekil 2.11 'de A ve B bulanık sayılarının $[-20,20]$ aralığında toplam, fark ve çarpım grafikleri verilmektedir.



Şekil 2.11 Bulanık aritmetik

2.5 Bulanık Durulaştırma

Bulanık durulaştırma (defuzification), bulanık kümeden temsilci bir değer olarak net bir değer çıkarılma işlemini belirtmektedir. Bulanık bir sonucu, reel şekilde gösterme ve yargılamaya imkan tanır. Son yargı ise bulanık durulaştırma sonucu belirlenir. Bulanık çıkarım (fuzzy inference) yapmada durulaştırma işlemi sıklıkla kullanılır. Bulanık çıkarım, bulanıklık arayüzünden elde edilen bulanık sayıları girdileri alır ve kuralın "doğruluk değeri" olarak adlandırılan, buna denk düşen bir üyelik derecesine sahip yeni bir bulanık küme oluşturur (Bottani ve ark., 2017).

Varsayalım ki Z evreninde bulunan A bulanık kümesidir. (A genelde uygulama sonucu üyelik fonksiyonunun toplam çıktısı olarak gösterilmektedir.) ve A 'yı durulaştırmak için 5 yöntem vardır. Bunlar:

2.5.1 Ağırlık Merkezi Metodu (Centroid of Area, Centroid, COA)

Varsayalım ki $\mu_A(z)$ üyelik fonksiyonunun toplam çıktısı olsun, ağırlık merkezi metodu denklem 2.36'deki gibidir,

$$z_{COA} = \frac{\int_Z \mu_A(z) z \, dz}{\int_Z \mu_A(z) \, dz}. \quad (2.36)$$

Bu metot en çok kullanılan bulanık durulaştırma metodudur.

2.5.2 Alanın Bisektörü Metodu (Bisector of Area, BOA)

$\alpha = \min\{z | z \in Z\}$ ve $\beta = \max\{z | z \in Z\}$olsun, alanın bisektör metodu denklem 2.37'deki gibidir,

$$\int_{\alpha}^{z_{BOA}} \mu_A(z) \, dz = \int_{z_{BOA}}^{\beta} \mu_A(z) \, dz \, . \quad (2.37)$$

Bu dikey bir doğru parçası vermektedir ve $z = z_{BOA}$ 'yı sağlayacak $z = \alpha, z = \beta \, , y = 0 \, , y = \mu_A(z)$ 'nin arasında kalan eşit alanlı iki bölgeye bölünecek şekilde ayıran doğru parçasıdır.

2.5.3 Azami Ortalama Metodu (Mean of Maximum, MOM)

MOM, üyelik fonksiyonunun maksimuma ulaştığı μ^* seviyesinde, z'nin makisimize edilmiş halinin ortalamasıdır. $Z' = \{z | \, \mu_A(z) = \mu^*\}$ olsun. denklem 2.38'da belirtildiği gibi;

$$z_{MOM} = \frac{\int_{Z'} z \, dz}{\int_{Z'} dz} \, . \quad (2.38)$$

2.5.4 Maksimumların En Küçüğü Metodu (Smallest of Maximum, SOM)

Maksimumların en küçüğü z_{SOM}, maksimize eden z'nin minimum (büyüklük açısından) değeridir.

2.5.5 Maksimumların En Büyüğü Metodu (Largest of Maximum, LOM)

Maksimumların en büyüğü z_{LOM}, maksimize eden z'nin maksimum (büyüklük açısından) değeridir.

2.5.6 Bulanık Verileri Kıvrım Skorlarına Dönüştürme (CFCS)

CFCS yöntemi, bulanık sayı aralığının bulanık maksimum ve bulanık minimumlarını belirlemeye dayanmaktadır. Üyelik fonksiyonuna göre, toplam skor, ağırlıklı bir ortalama olarak bulunabilmektedir (Opricovic ve Tzeng, 2003).

Bu yöntem 5 adımda ilerleyecek olan bir algoritmadır ve $A_{ij} = (l_{ij}^n, m_{ij}^n, r_{ij}^n)$, kriter i'nin kriter j'yi etkileme derecesi ve n (n= $1,2,\dots,H$) ise kriter ölçütlemek için kullanılan uzman sayısı olsun,

- ***1. Adım***: *Normalizasyon*

$\Delta_{min}^{max} = \max r_{ij}^n - \min l_{ij}^n$ olsun, $(l_{ij}^n, m_{ij}^n, r_{ij}^n)$'nin normalleşmişi denklem 2.39'da gösterilmektedir,

$$\begin{aligned} xr_{ij}^n &= (r_{ij}^n - \min l_{ij}^n)/\Delta_{min}^{max} \\ xm_{ij}^n &= (m_{ij}^n - \min l_{ij}^n)/\Delta_{min}^{max} \\ xl_{ij}^n &= (l_{ij}^n - \min l_{ij}^n)/\Delta_{min}^{max} \end{aligned} \tag{2.39}$$

- ***2. Adım****: Sağ (Rs) ve Sol (Ls) Normalleşmiş Değerlerin Bulunması*

Sağ (rs) ve sol (ls) normalleşmiş değerlerini bulmak için denklem 2.40' uygulamak gerekmektedir,

$$\begin{aligned} xrs_{ij}^n &= xr_{ij}^n/(1 + xr_{ij}^n - xm_{ij}^n) \\ xls_{ij}^n &= xm_{ij}^n/(1 + xm_{ij}^n - xl_{ij}^n). \end{aligned} \tag{2.40}$$

- ***3. Adım***: *Toplam Normalleşmiş Kıvrım Değerinin Bulunması*

Toplam normalleşmiş kıvrım değerinin bulunması denkelm 2.41'da gösterildiği gibidir,

$$x_{ij}^n = \left[xl\boldsymbol{s}_{ij}^n\left(1 - xl\boldsymbol{s}_{ij}^n\right) + xr\boldsymbol{s}_{ij}^n \times xr\boldsymbol{s}_{ij}^n\right]/[1 - xl\boldsymbol{s}_{ij}^n + xr\boldsymbol{s}_{ij}^n]. \tag{2.41}$$

- ***4. Adım****: Kıvrım Değerini Hesaplama*

Kıvrım değerini hesaplamak için denklem 2.42 kullanılmaktadır,

$$z_{ij}^n = \min l_{ij}^n + x_{ij}^n \times \Delta_{min}^{max}. \tag{2.42}$$

- ***5. Adım****: Kıvrım Değerlerini Bütünleştirmek*

Son adımda bulanık olmayan kıvrım değerleri için denklem 2.43 kullanılmaktadır,

$$z_{ij} = \frac{1}{p}(z_{ij}^1 + z_{ij}^2 + \cdots + z_{ij}^p). \tag{2.43}$$

BÖLÜM ÜÇ
TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

Tedarik zinciri ağı, tedarik zinciri kavramı daha oluşmadan, veriler arası ilişkinin önemi ve her verinin bir birleri ile etkileşimde olması gerekliliği kavramının Forrester'in (1958) tanımlaması ile başlamaktadır. Bu kavramın oluşumu için her ne kadar 30 sene geçmesi gerekse de, tedarik zincirinin gerekliliği o günlerde dile getirilmiştir.

Forrester (1958), bir birinden ayrı verilerin, öncü bir şekilde birbirleri arası yönetimin, piyasaların, verisel fonksiyonların oluşturulması gerekliliğinin ve bu yönetimsel ortaklıkların endüstri ve ulusal ekonomiyi olumlu şekilde etkileyeceğini ileri sürmüştür ve gelecekte de bu kavramların veriler arasında uygulanacağını ön görmüştür. Bu öngörünün gerçekleşmesine örnek olarak, 1995 Lojistik Yönetimi Konseyi Yıllık Konferansı'nda geçen başlıkların %13,5'inde "Supply Chain" ibaresi bulunmakta ve ilerleyen 1997 yılı Lojistik Yönetimi Konseyi Yıllık Konferansı'nda ise bu oran %22,4 düzeyindedir (La Londe, 1997). Bu da tedarik zincirinin ne kadar hızlı bir şekilde popülerleştiğini ve veriler açısından önemini gösteren somut bir örnektir.

Bu polülariteyi sağlayan etmenler ise verilerin giderek küreselleşen dünya pazarında, kaynak, kalite, zaman ve bilgi temelli rekabetin büyümesi ve küresel boyutta bir birlerine bağımlılığının artması sonucu oluşmuştur. Veriler, artan bir şekilde küreselleşme rekabetine girmişlerdir ve kaynak tedarikçiler yani sağlayıcıları da küreselleşmiştir. Bu küreselleşme arzı, verileri, veriler arası işbirlikleri yapmaya zorlamış ve bu artan tedarik ve tedarikçi iş birliklerinin yönetimi zorunlu hale gelmiştir. Bu işbirliklerini sağlamanın rolü ise tedarikçiler ile ikili ilişkileri yakın tutmaktan geçmektedir. Dahası veriler, tedarik zincirlerini günümüzde daha da zaman ve kalite bazlı oluşturmaya çalışmışlardır. Bu da tedarikçilerin kalite ve zaman yönetiminde, istenilen düzeyleri sağlamasını gerektirmektedir. Müşteriye ya da alıcıya, bir malı kusursuz şekilde, hiç bir zarar vermeden ve zamanında ulaştırma ve güvenilirlik rekabet avantajı olmaktan çıkıp, sistemin gerekliliklerinde biri haline gelmiştir. Her ne kadar gerçek hayat problemleri bunu sağlamayı güçleştirse de,

tedarik zinciri, yönetim bakımından bu gereklilikleri zorunlu tutar ve disipline hale getirir (Mentzer, 2001).

Bu bölümde, tedarik zinciri ve tedarik zinciri yönetimi kavramının çeşitli tanımları gözden geçirilmekte, kategorilere ayrılmakta ve sentezlenmektedir. Daha sonra SCM'yi kavramsallaştırmak için tutarlı bir araç oluşturmak için SCM'nin destekleyici yapılarının tanımı sunulmaktadır.

3.1 Tedarik Zinciri

Bu bölüm, hem akademik hem de uygulamada yaygın olarak kullanılan "tedarik zinciri" ve "tedarik zinciri yönetimi" tanımlarının gözden geçirilmesi, sınıflandırılması ve sentezlenmesine ayrılmaktadır.

La Londe ve Masters, bir tedarik zincirinin, materyalleri ileri götüren bir dizi firma olduğunu ileri sürmüştür. Yani birkaç bağımsız firma bir ürün imalatında ve son kullanıcının elinde bir malzeme tedarikinde yer alırken, malzeme ve bileşen üreticileri, ürün montajcıları, toptancıları, perakende satıcıları ve nakliye verileri de hepsi bir tedarik zincirinin üyesidir (La Londe ve Master, 1994). Aynı şekilde, Lambert, Stock ve Ellram (1998), bir tedarik zincirini, piyasaya ürün veya hizmet getiren firmaların hizalanması (zincir) olarak tanımlarlar. Bu tedarik zinciri kavramlarının nihai tüketiciyi tedarik zincirinin parçası olarak dahil etmektedir (Mentzer, 2001).

Başka bir tanım ise, tedarik zincirinin, nihai tüketiciye sunulan ürün ve hizmetler şeklinde değer üretilen farklı süreçler ve faaliyetlerinde, yukarı akış (tedarik) ve aşağı akış (dağıtım) bağlantıları yoluyla katılan örgütlerin ağı olduğunu belirtmektedir (Christopher, 1992). Başka bir deyişle, tedarik zinciri hem yukarı akış (tedarik) hem de akış aşağı (dağıtım) olmak üzere tüm nihai tüketicileri de içine alan tüm tüketicilerden oluşmaktadır.

Bu tanımlar dahilinde, bir çok araştırmacı üç derece tedarik zinciri karmaşıklığını tanımlamaktadır: "doğrudan tedarik zinciri", "genişletilmiş tedarik zinciri" ve "nihai tedarik zinciri". Doğrudan tedarik zinciri, ürünlerin, hizmetlerin, finansın ve bilgilerin akışında yer alan bir veri, tedarikçi ve müşteriden oluşur (Şekil 3.1). Geniş

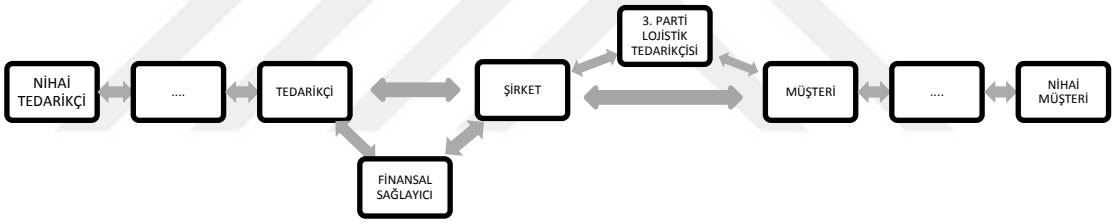
bir tedarik zinciri, müşterinin müşterileri ve tedarikçilerin tedarikçilerinden oluşmaktadır; bunların hepsi, ürünlerin, hizmetlerin, maliyetlerin ve bilgilerin akışlarında yer alır(Şekil 3.2). Nihai bir tedarik zinciri, ürünlerin, hizmetlerin, finansmanların ve nihai tedarikçiden nihai müşteriye kadar tüm akış yukarı ve akış akışlarında yer alan tüm organizasyonları içerir (Şekil 3.3).



Şekil 3.1 Doğrudan tedarik zinciri



Şekil 3.2 Genişletilmiş tedarik zinciri



Şekil 3.3 Nihai tedarik zinciri

3.2 Tedarik Zinciri Yönetimi

Tedarik zinciri yönetiminin bir çok araştırmacı tarafından tanımı bulunmaktadır. Bütün bu tanımlar üç kategoriye ayrılabilir: yönetim felsefesi, yönetim felsefesinin uygulanması ve bir dizi yönetim süreci.

Monczka ve arkadaşları (1998)'e göre tedarik zinciri yönetimi; tüm malzeme süreçlerini koordine etmekten sorumlu bir yönetime rapor vermek için geleneksel olarak ayrı malzeme işlevleri gerektirir ve aynı zamanda birden çok katman arasındaki tedarikçilerle ortak ilişkiler kurmayı gerektirir. SCM, birincil amacı, malzemelerin tedarik, akış ve kontrolünü çoklu fonksiyonlar ve çok katmanlı

tedarikçilere toplam sistem perspektifi kullanarak entegre etmek ve yönetmek olan bir konsepttir.

La Londe ve Masters (1994)'e göre tedarik zinciri stratejisi şunları gerektirir: tedarik zincirinde iki veya daha fazla firma uzun vadeli bir anlaşmaya girilmelidir. İlişkiye olan güvenin ve bağlılığın geliştirilmesi gerekmektedir. Talep ve satış verileri gibi paylaşım içeren ve gerektiren lojistik faaliyetlerin entegrasyonu, lojistik sürecinin kontrol odağı içinde bir kayma potansiyeli gerektirmektedir.

Stevens (1989)'a göre ise tedarik zincirini yönetmenin amacı, yüksek müşteri hizmetleri, düşük envanter yönetimi ve düşük birim maliyet gibi çelişkili amaçlar arasında sıklıkla görülen yönetimsel gerekliliklerin arasında bir denge kurmak ve müşterinin gereksinimlerini tedarikçilerden gelen malzeme akışıyla senkronize etmektir.

Jones ve Riley (1985) için tedarik zinciri yönetimi, tedarikçilerden son kullanıcılara kadar toplam materyal akışıyla ilgilidir. Cooper ve arkadaşları (1997) için ise tedarikçiden nihai kullanıcıya bir dağıtım kanalının toplam akışını yönetmek için bütünleyici bir felsefedir.

Görüldüğü gibi her araştırmacı sonuç olarak yukarıda belirtilen üç ana başlıkta toplanmışlardır. Yani araştırmacılar tedarik zinciri yönetimini yönetim felsefesi, yönetim felsefesinin uygulanması ve bir dizi yönetim süreci olarak tanımlamaktadırlar.

Tedarik zinciri yönetiminin gerçekleşebilmesi için bazı aktiviteleri gerçekleştirmenin gerekliliği bir çok araştırmacı tarafından önerilmiştir. Bu aktiviteler, yönetimin gücünü ve bütünlüğünü sağlamak için gereklidir. Bu aktiviteler Tablo 3.1'de gösterildiği gibidir (Mentzer ve ark., 2001).

Tablo 3.1 SCM aktiviteleri

1. Entegre Davranmak
2. Karşılıklı Bilgi Paylaşmak
3. Karşılıklı Riskleri ve Kazanımları Paylaşmak
4. İşbirliği Yapmak
5. Aynı Hedef ve Aynı Odak Noktası ile Müşterilere Hizmet Vermek
6. Süreçlerin Entegrasyonu
7. Uzun Süreli İlişkiler Oluşturmak ve Sürdürmek İçin Ortaklık Kurmak

Bir tedarik zincirinin belirli hedefleri gerçekleştirmesi için katılımcılarının kârlılığını, rekabet avantajını ve müşteri değerini / memnuniyetini artırmak gerekmektedir. Örneğin, tedarik zinciri yönetiminin ana hedefi, belirli bir segmente gerekli düzeyde müşteri hizmetini sağlamak için gereken maliyetlerin düşürülmesidir (Houlihan, 1988; Jones and Riley, 1985; Stevens, 1989). Diğer önemli hedef, artan hisse senedi kullanılabilirliği ve azaltılmış sipariş döngüsü süresiyle müşteri hizmetini iyileştirmektir (Cooper ve Ellram, 1993). Müşteri hizmetleri hedefleri, yenilikçi çözümler geliştirme, ürün, hizmet ve bilgi akışını eşsiz, bireyselleştirilmiş müşteri hizmetleri değer kaynakları yaratmak için senkronize etmek üzerine yoğunlaşan tedarik sistemi ile gerçekleştirilmektedir (Ross, 1998).

Genel olarak ele alırsak; tedarik zinciri yönetimi, stratejik bir bağlamda (yani, entegre tedarik zinciri yönetimi yoluyla müşteri değeri ve memnuniyet yaratmak) karlılık kazandıran rekabet avantajı elde etmek için verimliliği (yani maliyet düşürme) ve etkililiği (müşteri hizmetleri) iyileştirmekle ilgilenmektedir. Bu bağlamda tedarik zinciri yönetimi, geleneksel işletme işlevlerinin sistematik, stratejik koordinasyonu ve bu işletme işlevleri süresince taktiklerin belirli bir veriye ve tedarik zinciri içindeki işletmeler arasında, uzun vadeli performansını iyileştirmek ve bunu bir zincir olarak tüm tedarik ağında sağlamaktır (Mentzer ve ark., 2001).

Bu tanım Şekil 3.4'deki tedarik zinciri modelinin oluşmasını sağlar. Pazarlama, satış, araştırma ve geliştirme, öngörme, üretim, tedarik, lojistik, bilgi teknolojisi, finans ve müşteri hizmetleri gibi geleneksel iş fonksiyonları tedarikçilerin tedarikçilerinden, müşterinin müşterileri aracılığıyla bu akışları yönetir ve gerçekleştirerek sonuçta değer yaratır ve müşteriyi memnun eder. Şekil 3.4 ayrıca tedarik zincirindeki bireysel veriler ve tedarik zinciri için rekabet avantajı ve karlılık

elde etmek için müşteri değerinin ve memnuniyetin kriterlerinin rolünü ve önemini göstermektedir (Mentzer ve ark., 2001).



Şekil 3.4 Tedarik zinciri yönetimi modeli

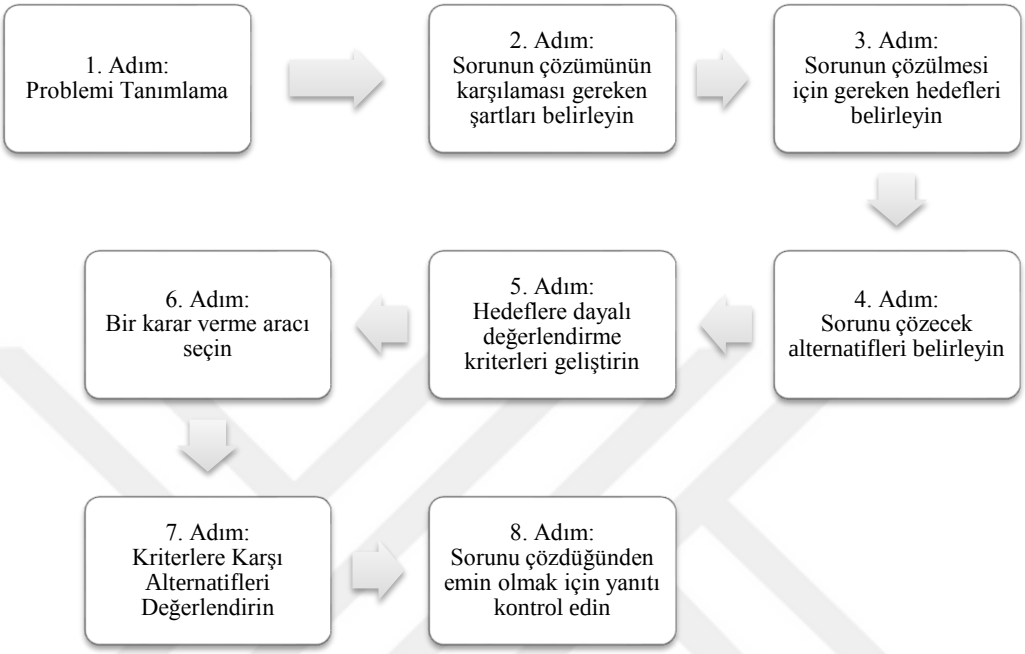
BÖLÜM DÖRT
ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME
(MULTI CRITERIA DECISION MAKING)

Çok kriterli karar vermenin son zamanlarda çok hızlı gelişen ve bir çok alanda karar verme konusunda önemli rolü vardır. Bu yöntem ilk olarak tek kriter, tek karar verici şeklinde uygulansa da daha sonrasında çok kriterli ve çok karar verici ile bir çok problemi çözmek için kullanılan bir yöntemdir. Tedarik zinciri ağının önemli bir problemi olan karar verme işlemlerinde de bu yöntem bir çok araştırmacı ve akademisyen tarafından uygulanmıştır (Triantaphyllou, 2000). Günümüzde de bu karar verme problemini daha etkili ve daha verimli hale getirmeyi amaçlayan bir çok model geliştirilmektedir (Wu ve Pagell, 2011); (Ho, Xu ve Dey, 2010) veya yeni modeller bulunmaya çalışılmaktadır (Tayur, Ganeshan ve Magazine, 2012). Tedarik zinciri ağının yönetiminde de kullanılan bir çok karar verme modelleri ve algoritmaları mevcuttur (Ho, Xu ve Dey, 2010).

Karar verme işlemi aslında insanın günün her anında yaptığı bir işlemdir. İnsan, önüne sunulan kriterler ve koşullar doğrultusunda, her eylemi karar destek sisteminden yani beyninden süzerek, son ve nihai tercihini yaparak seçtiği eylemi gerçekleştirir. Yani karar verme işlemi doğanın her bir parçasında işleyen bir işlemdir. Bu işlemi daha teorik ve matematikselleştirmek ise karar alma işlemini modellemek demektir.

Karar verme işleminin ilk önceliği karar verici(ler) ve karar kümesinin olması gerekmektedir. Karar vericinin olduğu her düzey problemde de bir model ve sıra ile karar verme işlemi aşamalı olarak yapılması gerekmektedir.

Karar verme işlemini D. Baker sekiz aşamada adım adım tanımlamaktadır (Baker ve ark., 2002). D. Baker karar verme sürecini adım adım açıklamaktadır ve bu adımlar başlıklar olarak Şekil 4.1'deki gibidir.



Şekil 4.1 Karar verme süreci adımları

1. Adım: Problemi Tanımlama

Problemi tanımlama adımı olmazsa olmaz adımlardan biridir. Bu süreç, asgari olarak, varsayımları, sistem ve organizasyon sınırlarını ve ara yüzlerini ve paydaş sorunlarını sınırlayan kök nedenleri belirlemelidir. Bu adımda amaç, konuyu hem başlangıç koşullarını hem de arzulanan koşulları açıklayan sade, tek cümle halinde problemin bir bildirisi şeklinde ifade etmektir.

Yeterli bir problem bildirimi hazırlamanın anahtarı, nihai raporun gözden geçirenlerin ve paydaşların sorularına, açıkça cevap vereceğinden emin olmak için sorun hakkında yeterli kaynak ve soru oluşturabilmektir. Gereksinimlerin ve hedeflerin belirlenmesinden önce harici bir kontrol sağlamak için problem bildirimini ilk ve arzulanan durumlarıyla incelemelek gerekmektedir. Bu da aslında problemi açık bir şekilde oluşturmak demektir.

2. Adım: Gereksinimleri Belirleme

Gereksinimler, sorunun veya problemin kabul edilebilir bir çözümünün karşılanması gereken koşullardır ve sorunun çözümünün ne yapması gerektiği konusunda bilgi verir. Örneğin, bir zorunluluk sektör hakkında zorunlu bir bilgi sahipliği olabilir. Kimya sektöründe kimyasal madde taşımacılığı titizlik gerektiren bir iştir ve bu işi titizlikle yapmayan bir taşıyıcı firma felakete sebep olabilir. Bu bir kimyasal madde tedarikçisinin seçiminde en çok önem arz eden gereklilik ve koşuldur.

3. Adım: Hedefleri Belirleme

Hedefler, niyet ve arzu edilen programatik değerlerin geniş beyanlarıdır. Örneğin: alanında uzman kişiler ile çalışmak, maliyetleri düşürmek, kamuoyu riskini azaltmak vs. Bazen hedefler, arzuları ve arzular için asgari zorunlulukların (yani şartların) ötesine geçmektedir. Bu nedenle hedefler yansız ve olumlu olarak belirtilmelidir. Hedefler alternatiflerin belirlenmesinde kullanışlı olduğu için, alternatifleri tanımlamadan önce geliştirilmelidirler.

4. Adım: Alternatifleri Belirleme

Alternatifler, başlangıç koşulunu istenen koşula dönüştürmek için farklı yaklaşımlar önerir. Karar vericiler, gereksinimleri ve hedefleri değerlendirerek, şartları karşılayacak ve mümkün olduğunca çok hedefi tatmin edecek alternatifleri önermelidir. Her alternatifin açıklaması, tanımlanan sorunun nasıl çözüldüğünü ve diğer alternatiflerden nasıl farklı olduğunu açıkça göstermelidir. Bu da aslında modelleri, yöntemleri vb. karşılaştırmak ve en verimli olanını belirlemektir.

5. Adım: Kriterleri Tanımlama

En iyi alternatif, neredeyse hedeflere ulaşan alternatif olacaktır. Alternatifler arasında ayrımı yapacak olan ise karar kriterleridir ve bu kriterler oluşturulmuş olan hedeflere dayanmalıdır. Her alternatifin proje hedeflerine ne kadar iyi ulaştığını ölçmek için hedeflerin nesnel gereksinimleri olan kriterleri tanımlamak gerekir.

Her kriter önemli bir şeyi ölçmeli ve başka bir kritere dayanmamalıdır. Bir birinden bağımsız kriterleri tanımlama daha makul sonuçlar almayı sağlamaktadır.

Kriterler;

- Alternatifleri ayırt edebilmeye olanak sağlamalıdır,
- Tam olmalıdır. Yani tüm hedeflerle ilintili olmalıdır.
- Operasyonel olmalıdır. Karar vericinin alternatiflerin etkilerini anlaması açısından önemlidir.
- Tek olmalıdır. İki aynı anlama gelen kriter olmamalıdır.
- Çok fazla olmamalıdır. Sorunun boyutlarını yönetebilmek için gereklidir.

Birkaç gerçek karar verici kullanmak daha anlaşılır bir karar analiz ürünü ile sonuçlanacaktır. Bununla birlikte, her hedef en az bir kriter üretmelidir.

6. Adım: Karar Verme Aracını Seçme

Karar verme araçları kullanılan metotlardır. Örneğin bulanık AHP bir karar verme aracıdır. Yöntem seçimi, sorunun karmaşıklığına ve kullananın deneyimine dayanmalıdır. Genellikle, yöntem ne kadar basit olursa, o kadar iyidir. Daha sonra ihtiyaç duyulursa daha karmaşık analizler eklenebilir ve karşılaştırılabilir.

7. Adım: Kriterlere Karşı Alternatifleri Değerlendirme

Alternatifler kantitatif yöntemlerle, nitel yöntemlerle veya her hangi bir kombinasyonla değerlendirilebilir. Kriterler ağırlıklandırılabilir ve alternatiflerin sıralamasında kullanılabilir. Seçim sürecinin kalitesini iyileştirmek için hem duyarlılık hem de belirsizlik analizleri kullanılabilir. Bu analizler, karar vericiden bağımsız analistler tarafından yapılmalı ve belirlenmelidir.

8. Adım: Sorunu Çözdüğünden Emin Olmak İçin Yanıtı Kontrol Etme

Değerlendirme süreci; tercih edilen bir alternatifi seçtikten sonra, çözümü belirlenen problemi gerçekten çözdüğünden emin olmak için kontrol edilmelidir. . Nihai bir çözüm, arzulanan durumu yerine getirmeli, gereksinimleri karşılamalı ve karar vericilerin değerleri içindeki hedeflere en iyi şekilde ulaşmalıdır. Tercih edilen alternatif doğrulandıktan sonra, karar verici (ler) e öneride bulunulabilir. Nihai

çözümü tavsiye eden karar süreci, varsayımlar, yöntemler ve sonuçların belgelendirilmesi için karar vericilere / karar mercilere verilecek nihai bir rapor hazırlanmalıdır.

Bu adımlar karar verme sürecinin gelişimi ve doğruluğu açısından çok önemli ve gereklidir. Özellikle birinci, ikinci, üçüncü ve beşinci adımlar hayati önem taşıyan ve bir karar verme sisteminin olmazsa olmazlarıdır. Problemi tanımlamadan, problemin gereklerini belirlemeden, hedefi tanımlamadan ve kriterleri geliştirmeden bir karar verme sistemi üretilemez.

4.1 Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Karmaşık karar verme problemleri için en popüler analitik tekniklerden biri analitik hiyerarşi prosesi (AHP) 'dir. Saaty (1980, 2000), bir karar verme problemini hedefler, nitelikler (veya kriterler) ve alternatiflerin hiyerarşileri sistemine dönüştüren AHP'yi geliştirmiştir.

AHP hiyerarşisi belirli bir karar durumunu tam olarak karakterize etmek için gereken bir çok seviyeye sahiptir. Bir dizi işlevsel özellik, AHP'yi yararlı bir metodoloji haline getirir. Bunlar, öznel kararları içeren karar durumlarını, birden fazla karar vericiyi ve tercih tutarlılığı ölçütlerini sunma ve kullanma kabiliyetini içerir (Triantaphyllou, 2000). AHP, özellikle farklı bireylerin öznel kararlarının karar sürecinin önemli bir bölümünü oluşturduğu durumlarda somut (yani objektif) hem de somut olmayan (yani öznel) nitelikleri etkili bir biçimde ele alabilir ve bu doğrultuda Rao kitabında AHP sürecini adım adım anlatmış ve gerekli tanımları vermiştir (Rao, 2007).

1. Adım: Amaç ve değerlendirme özelliklerini belirlemek. En üst düzeyde bir hedef veya nesne, ikinci düzeydeki nitelikler ve üçüncü düzeydeki alternatifler ile hiyerarşik bir yapı geliştirilmektedir.

2. Adım: Farklı özelliklerin amaç veya hedefe göre ikili (nispi) önemini belirlemek. Bu adımda Nispeten önem taşıyan bir ölçeği kullanarak bir çift karşılaştırmalı matris oluşturulmalıdır. Kararlar, analitik hiyerarşi prosesinin temel ölçeğini kullanarak girilmelidir (Saaty, 1980; 2000). Bu matrisde kendisiyle

karşılaştırılan bir özelliğe (faktöre) her zaman 1 değeri atanır, bu nedenle çift-bazlı karşılaştırma matrisinin ana diyagonal girdilerinin hepsi 1'dir. Çünkü özellikler kendileri ile karşılaştırıldığında "Eşit (Equal)" öneme sahiplerdir. 3, 5, 7 ve 9 numaralı atamaların sözlü kararları sırası ile "zayıf önemi (Moderate Importance)", "güçlü Önemi (Strong Importance)", "çok güçlü önem (Very Strong Importance)" ve "mutlak önem (Absolute Importance)" dir. (bu değerler arasında uzlaşmak için 2, 4, 6 ve 8 değerleri atanır. Örneğin çok güçlü önem ile mutlak önem arası bir değer belirlemek için 8 değeri atanır). Karşılaştırma faktörleri, önem değerine göre bire bir ve karşılıklı olarak yapılır. Tablo 4.1'deki faktörler önem ölçeklerinin bire bir ve karşılıklı olarak karşılaştırılması için kullanılmaktadır (Oğuztimur, 2011).

Tablo 4.1 Önem ölçekleri

Sayılar (b_{ij})	Karşılık Gelen Değer	Değerin Tanımı
1	Eşit	*i* ve *j* eşit önemli olduğunda
3	Zayıf Önemli	*i* , *j* ye göre zayıf önemli olduğunda
5	Güçlü Önemli	*i* , *j* ye göre güçlü bir şekilde önemli olduğunda
7	Çok Güçlü Önemli	*i* , *j* ye göre çok güçlü bir şekilde önemli olduğunda
9	Mutlak Önemli	*i* , *j* ye göre mutlak önemli olduğunda
2, 4, 6, 8	Ara Değerler	İki değer arasını belirtmek gerektiğinde kullanılmaktadır.

M tane niteliğimiz olduğunu varsayalım. Bu niteliklerin ikili karşılaştırmalarından oluşacak matris $\mathrm{B_{M\times M}}$ boyutunda bir kare matris olur ve b_{ij}, *i* niteliğinin j niteliği ile karşılaştırmalı önemini vermektedir. Bu matriste, eğer $i = j$ ise $b_{ij} = 1$ dir. Ayrıca $b_{ji} = {}^{1}/_{b_{ij}}$ dir. Denklem 4.1'deki gibi karşılaştırma matris olarak gösterecek olursak;

$$\mathrm{B_{M\times M}} = \begin{bmatrix} 1 & b_{12} & b_{13} & & b_{1\mathrm{M}} \\ b_{21} & 1 & b_{23} & \cdots & b_{2\mathrm{M}} \\ b_{31} & b_{32} & 1 & & b_{3\mathrm{M}} \\ & \vdots & & \ddots & \vdots \\ b_{\mathrm{M}1} & b_{\mathrm{M}2} & b_{\mathrm{M}3} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \tag{4.1}$$

Her özellik (B_i) için göreceli normal ağırlığı (relative normalized weight) bulmak için (w_j); i 'inci satırın geometrik ortalaması alınır ve normalleştirmek için satırdaki her eleman geometrik ortalamaya bölünür. Bu denklem 4.2 deki gibi ifade edilebilir:

$$\mathrm{GM}_j = [\prod_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{M}} b_{ij}]^{1/\mathrm{M}}$$

ve

$$w_j = {\mathrm{GM}_j}\Big/{\sum_{j=1}^{\mathrm{M}} \mathrm{GM}_j} \qquad (4.2)$$

AHP'nin geometrik ortalama yöntemi, basitliği, maksimum Öz değerin kolay saptanması (maximum Eigen value) ve kararların tutarsızlığının azaltılması nedeniyle, niteliklerin göreceli olarak normalleştirilmiş ağırlıklarını belirlemek için sıklıkla kullanılır.

Tutarlılığın hesaplanması için gerekli olan tutarlılık indeksi CI (consistency index) ise $\mathrm{CI} = (\lambda_{\max} - \mathrm{M})/(\mathrm{M} - 1)$ şekinde hesaplanır. Burada M matrisin boyutu ya da özellik sayısıdır. CI değeri ne kadar küçükse, tutarlılığın sapması da o kadar az olur. Ayrıca karar vermede kullanılan niteliklerin sayısı için rastgele indeksi (RI) elde edilmelidir. Rastgele indeksi (random indices), Saaty (1977) makalesinde RI'yı Tablo 4.2 deki gibi hesaplamaktadır.

Tablo 4.2 RI (rastgele indisler)

M	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Tutarlılığın nihai hesaplanması ise tutarlılık oranının (consistency ratio) hesaplanması ile olmaktadır. Bu da $\mathrm{CR} = \mathrm{CI}/\mathrm{RI}$ şeklindedir. Genellikle 0.1 veya daha düşük CR değeri kabul edilebilirdir ve incelenen soruna ilişkin analistin bilgisine atfedilen bilgilendirilmiş bir kararı yansıtmaktadır.

3. Adım: Bir sonraki adım, her bir özellikten ne kadar daha iyi (yani daha baskın) olduklarını, diğer bir deyişle her bir seçeneğin her bir niteliğe ne kadar iyi hizmet

ettiğini belirlemek için alternatifleri çiftler halinde karşılaştırmaktır. Eğer N sayıda alternatif varsa ve M nitelikler olduğundan, M sayısı kadar N x N yorumlama matrisi olacaktır. Nispeten önem taşıyan bir ölçeği kullanarak ikili karşılaştırma matrisleri oluşturmak gerekmektedir. Kararlar AHP yönteminin temel ölçeğini kullanarak girilmektedir (Saaty, 1980; 2000). Bu matrislerin oluşumu, adım 2'de önerilenlerle aynıdır.

AHP modelinde, karşılaştırmanın hem göreceli hem de kesin modları gerçekleştirilebilir. Göreceli mod, karar vericiler farklı alternatiflerin nitelikleri hakkında önceden bilgi sahibi olduklarında veya değerlendirilecek farklı alternatiflerin özelliklerinin nesnel verileri mevcut olmadığında kullanılabilir. Kesin mod, değerlendirilecek farklı alternatiflerin özelliklerinin verisi hazır olduğunda kullanılır. Kesin modda CI her zaman 0'a eşittir ve tam değerler karşılaştırma matrislerinde kullanılır, çünkü yargılarda eksiksiz tutarlılık vardır.

4. Adım: Bu adımda, her bir özelliğin (2. adımda elde edilen) göreli normal ağırlığının (w_j) her alternatif için 3. adımda elde edilen normalleştirilmiş ağırlık değeriyle çarpımı ile alternatifler için genel veya bileşik performans skorlarını elde edilmektedir ve Her alternatifin öznitelikleri üzerinde toplanır.

Kwiesielewicz ve Uden (2004) iddia etmektedir ki, eğer ikili karşılaştırma matrisi $B_{M\times M}$ kabul edilebilir bir tutarlılıkta olsa bile matris hala çelişkili olabilir. Eğer matris çelişkili ise $B_{M\times M}$ cinsinden ifade edilen tüm yargılamaları yerine getiren ağırlıkları türetmek zordur. Dolayısıyla, böyle çelişkili matrisi karar verme sürecinden kaldırmak zorunludur. Örneğin, eğer $b_{ij} = 1$ ve $b_{ik} = 1$ ise b_{jk} bire eşit olmak zorundadır. Eğer $b_{jk} > 1$ olduğu için herhangi bir yargı yapılırsa, matriste çelişki vardır ve bu değerlerin matrisden çıkarılması gerekmektedir. Kwiesielewicz ve Uden (2004) $B_{M\times M}$ matrisinde herhangi bir çelişki olup olmadığını kontrol etmek için bir algoritma geliştirmişlerdir.

4.2 Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (FUZZY AHP)

Bulanık AHP, AHP metodunun bulanıklaştırılmış halidir. Bu metodun uygulanma nedeni, kişisel yargılama ve kararları temel AHP metodunun karşılayamaması ve temel AHP metodunun kesin kararları yerine, bulanık AHP metodunun daha pürüzsüz ve kabul edilebilir sonuçlar verebilmesidir. Kişisel yargılamaya olanak sağlamasının nedeni ise her hangi linguistik bir ifadeyi bulanık üyelik fonksiyonları ile sayısal değerlere dönüştürülebilmesidir. Bu sayede, kişisel yargıyı yapmak kolaylaşır ve kelimelerin sayısal değerleri anlamlaşmaktadır. Bulanık mantığın, klasik mantığa göre daha genel yargılar yapabilmektedir. Bulanık AHP yöntemi, sözel yargıyı sayısal ölçeğe dönüştürme haricinde geleneksel AHP (Kısım 5) ile aynıdır (He ve arkadaşları, 2012).

Bulanık AHP modelini, Laarhoven ve Pedrycz (Laarhoven ve Pedrycz, 1983) ilk kullananlardandır. İkili karşılaştırmalar için üçgensel üyelik fonksiyonlarını kullanmışlardır. Daha sonrasında, Buckley (1985), üçgen üyelik fonksiyonlarına sahip karşılaştırma oranlarının bulanık önceliklerini belirleyerek konuyla ilgili katkıda bulunmuştur. Bulanık AHP'nin basamakları Laarhoven ve Pedrycz (Laarhoven ve Pedrycz, 1983) ve Ishizaka (Ishizaka, 2014) tarafından tanımlanmaktadır. Bu adımlar aşağıda sunulduğu gibidir.

1. Adım: İlk adımda hiyerarşik yapıyı geliştirmek gerekmektedir. Hiyerarşik bir yapının ürünü olacak karar verme süreci için yapılması gereken ve önceden belirlenmiş bir hiyerarşik yapı olması gerekmektedir.

2. Adım: Karar verici, kriterleri ya da ölçütleri karşılaştırması gerekmektedir. Bu karşılaştırmanın yapılabilmesi için, linguistik yargıyı (sözsel yargı) bulanık sayılara çevirmek gerekir. Tablo 4.3'de Saaty'nin AHP için belirlediği 9 skalanın, üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmesi gösterilmektedir.

Tablo 4.3 Linguistik terimler ve onlara karşılık gelen üçgensel bulanık sayılar

Saaty'nin AHP Skalaları	Linguistik Önem Tanımı	Üçgensel Bulanık Sayı Değeri
1	Eşit Önemli	(1, 1 , 1)
2	Ara Değer	(1 , 2 , 3)
3	Az Önemli	(2 , 3 , 4)
4	Ara Değer	(3 , 4 , 5)
5	Ortalama Önemli	(4 , 5 , 6)
6	Ara Değer	(5 , 6 , 7)
7	Güçlü Önemli	(6 , 7 , 8)
8	Ara Değer	(7 , 8 , 9)
9	Çok Güçlü Önemli	(9 , 9 , 9)

Bundan ayrı olarak Ishizaka'nın baz aldığı (Ishizaka, 2014) trapezoidal bulanık sayılar da kullanılabilir. Bu sayılar ve karşılık gelen linguistik terimler Tablo 4.4'de gösterilmektedir.

Tablo 4.4 Linguistik önem terimleri ve onlara karşılık gelen trapezoidal bulanık sayılar

Linguistik Önem Tanımı	Trapezoidal Bulanık Sayı Değeri
Az Önemli (A)	(0,0 , 0,0 , 0,2 , 0,4)
Ortalama Önemli (O)	(0,2 , 0,4 , 0,4 , 0,6)
Güçlü Önemli (G)	(0,4 , 0,6 , 0,6 , 0,8)
Çok Güçlü Önemli (ÇG)	(0,6 , 0,8 , 1,0 , 1,0)

Ayrıca seçim yapılacak olgunun performansı da aynı şekilde bulanıklaştırılabilir. Bu sayılar da Tablo 4.5'de gösterilmektedir.

Tablo 4.5 Linguistik performans terimleri ve onlara karşılık gelen trapezoidal bulanık sayılar

Linguistik Performans Tanımı	Trapezoidal Bulanık Sayı Değeri
Kötü Performans (K)	(0 , 0 , 2 , 4)
İyi Performans (İ)	(2 , 4 , 4 , 6)
Çok İyi Perfomans (Çİ)	(4 , 6 , 6 , 8)
Mükemmel Performans (MÜ)	(6 , 8 , 10 , 10)

Bu linguistik terimlerin karşılık gelen üçgen bulanık sayılarına göre, örneğin karar verici için, Kriter 1 (C1) Kriter 2'den (C2) "zayıf önemli" ise, bulanık üçgen ölçeği (2, 3, 4). Aksine, ölçütlerin çift bilge katkı matrisinde, C2'nin C1 ile karşılaştırılması, bulanık üçgen ölçeği (1/4, 1/3, 1/2) olarak alacaktır.

İkili karşılaştırma matrisi aşağıda gösterilmiştir; burada, $\tilde{d}_{ij}^{k}$, *k* karar vericisinin *i*'inci kriterin *j*'inci kriter üzerindeki yargısının bulanık üçgensel sayılar ile hangi yargıda bulunduğunu belirtir. Burada, "tilda", üçgensel bulanık sayı gösterimini temsil eder ve yukarıda belirtilen örnek olay için $\tilde{d}_{12}^{1}$, birinci karar vericinin ikinci kriter (C2)üzerindeki birinci kriteri (C1) nasıl yargıladığını ya da tercih ettiğini göstermektedir. Yani $\tilde{d}_{12}^{1} = (2,3,4)$ 'e eşittir.

$$\tilde{A}^{k} = \begin{bmatrix} \tilde{d}_{11}^{k} & \tilde{d}_{12}^{k} & \dots & \tilde{d}_{1n}^{k} \\ \tilde{d}_{21}^{k} & \tilde{d}_{22}^{k} & \dots & \tilde{d}_{2n}^{k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{d}_{n1}^{k} & \tilde{d}_{n2}^{k} & \dots & \tilde{d}_{nn}^{k} \end{bmatrix} \tag{4.3}$$

burada *n* kriter sayısını belirtmektedir.

3. Adım: Eğer birden fazla karar verici var ise, her bir karar verici için ortalama alınmalıdır ve denklem 4.4'deki gibi ifade edilir,

$$\tilde{d}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{K} \tilde{a}_{ij}^{k}}{K}. \tag{4.4}$$

burada *K* karar verici sayısını göstermektedir.

4. Adım: Bu adımda, 3. adımda alınan ortalamalar baz alınarak, nihai karşılaştırma matrisi denklem 4.5'deki gibi elde edilir.

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} \tilde{d}_{11} & \cdots & \tilde{d}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{d}_{n1} & \cdots & \tilde{d}_{nn} \end{bmatrix}. \tag{4.5}$$

5. Adım: Bu adımda her kriter için yani $\tilde{A}$ matrisinin satır elemanlarının denklem 4.6'daki gibi ortalaması alınması gerekir. Bu ortalamayı Buckey (1985) geometrik olarak almaktadır. Fakat farklı ortalama teknikleri de uygulanabilir.

$$\tilde{r}_i = \left(\prod_{j=1}^{n} \breve{d}_{ij}\right)^{1/n}, i = 1,2,\dots,n \tag{4.6}$$

6. Adım: Her $\tilde{r}_i$ değerinin vektör toplamını bulunur. Bu toplamda üretilen vekörün (-1) inci kuvveti alınır ve çıkan bulanık sayı artan bir sırayla yazılır. Kriterin bulanık

ağırlığını bulmak için, her bir $\tilde{r}_i$'yi bu tersi alınan vektörle çarpılır. Bu işlem denklem 4.7'deki gibidir,

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 \oplus \tilde{r}_2 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_n)^{-1} \quad . \tag{4.7}$$

$$= (lw_i, mw_i, uw_i)$$

7. Adım: Bulunan $\tilde{w}_i$ değerleri hala bulanık sayılar olduğundan, bulanık sayının veya uygulayıcının izleyeceği yola göre bir durulaştırma metodu seçilir ve uygulanır. Sonuçta çıkan değer bulanık olmayan bir sayıdır (M_i). Örneğin trapezoidal bir bulanık sayının (l, m_l, m_u, u), alanın merkezi (center of area) metodu uygulayarak durulaştırma uygulanması denklem 4.8'deki gibidir,

$$M_i = \frac{l+m_l+m_u+u}{4}. \tag{4.8}$$

8. Adım: Bulunan bulanık olmayan M_i sayıları, normalleştirilir. Normalleştirme işlemi denklem 4.9'daki gibidir,

$$N_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^{n} M_i}. \tag{4.9}$$

Bu sekiz adım, hem kriterlerin hem de alternatiflerin normalleştirilmiş ağırlıklarını bulmak için gerçekleştirilir. Daha sonra, her bir alternatif ağırlığın ilgili kriterlerin ağırlığı ile çarpılmasıyla, her alternatif için bir skor hesaplanır. Bu skorlara göre, karar vericiye en yüksek puanlı alternatif önerilmektedir.

4.3 DEMATEL Metodu

DEMATEL metodu ilk olarak 1973'te Cenevre Araştırma Merkezi aracılığıyla Battelle Memorial Enstitüsü tarafından geliştirilmiştir ve Fontela ve Gabus tarafından Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Laboratuarı (Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory - DEMATEL) tekniği olarak kullanılmıştır (Gabus ve Fontela, 1972; 1973). Bu metot, karmaşık grup problemlerini çözmek ve açığa kavuşturmak için 1972'den 1976'ya kadar enstitü tarafından bir proje kapsamında kullanılmıştır .

DEMATEL, karmaşık ölçütler arasındaki etki ilişkisini analiz etmek için yapısal bir model oluşturmak ve analiz etmek için genişletilmiş bir yöntemdir. Matrisler ve

digraphlar ile karmaşık nedensel ilişkilerin yapısını görselleştirmek için kullanışlıdır. Bu nedenle DEMATEL modeli, ölçütlerin nedenleri ve etkileri arasındaki ilişkiyi, sistemin anlaşılır yapısal modeline dönüştürebilir. DEMATEL, popüler bir yöntem haline gelmiştir çünkü her yapısal modelde birbiriyle iç içe geçmiş neden ve sonuç ilişkilerini değerlendirebilen ve formüle edebilen bir metot olduğundan dolayıdır. DEMATEL'in temeli, graph teorisidir ve önemli ve ilgili konuları yaratabilmek ve sonuçlandırmak için bölünerek daha rahat bir ilişki fark etmemize olanak tanır (ChungWei ve Gwo-Hshiung, 2009).

DEMATEL metodu kullanılırken adım adım ilerlenmektedir ve bu adımlar aşağıda belirtildiği gibidir (Tzeng ve ark., 2007); (Aksakal ve Dağdeviren, 2010).

1. Adım: Kriterlerin ve linguistik değerlerin belirlenmesi

Bu adımda karşılanacak problemin çözümü açısından kriterler belirlenmelidir. Kriterler uzmanlar veya literatürden edinilen bilgiler ışığında gerçeğe yatkın ve anlaşılır olmalıdır. Bu bağlamda literatürde en çok kullanılan iki linguistik değer tablosu, Tablo 4.6 ve Tablo 4.7'de gösterilmiştir (Dey ve ark., 2012); (Shieh ve ark., 2010).

Tablo 4.6 Terimlerin sayısal değerleri

Linguistik Terim	**Sayısal Değer**
Etkisiz (E)	0
Düşük Etki (DE)	1
Orta Etki (OE)	2
Yüksek Etki (YE)	3
Çok Yüksek Etki (ÇYE)	4

Tablo 4.7 Terimlerin sayısal değerleri

Linguistik Terim	**Sayısal Değer**
Etkisiz (E)	0
Düşük Etki (DE)	1
Orta Etki (OE)	2
Yüksek Etki (YE)	3

2. Adım: Direkt İlişki Matrisinin Oluşturulması

Bu adımda her bir kriter için ikili ilişki matrisi oluşturulacak ve bu matris simetrik olmayan ve köşegen elemanları 0 değerine sahip elemanlardan oluşacak bir matris olacaktır. Bu adımda uzmana "Seçili kriter diğer kriteri ne düzeyde etkiliyor?" sorusu sorulur ve direkt ilişki matrisi oluşturulur. Bunun bir örneği Tablo 4.8'de gösterilmiştir.

Tablo 4.8 Direkt ilişki matrisi örneği (DEMATEL)

	Kriter 1	Kriter 2	Kriter 3	Kriter 4
Kriter 1	0	E	DE	OE
Kriter 2	DE	0	ÇYE	YE
Kriter 3	YE	ÇYE	0	YE
Kriter 4	OE	OE	E	0

Bu direkt ilişki matrisinin sayısal değerler ile sunumu Tablo 4.9'de gösterilmiştir.

Tablo 4.9 Sayısal direkt ilişki matrisi örneği

	Kriter 1	Kriter 2	Kriter 3	Kriter 4
Kriter 1	0	0	1	2
Kriter 2	1	0	4	3
Kriter 3	3	4	0	3
Kriter 4	2	2	0	0

Yukarıda verilen matris gibi direkt ilişki matrisi de kare matris olmalıdır ve matris elemanlarına A_{ij} denilirse her bir i elemanının j elemanına göre etkisi matrisin elemanlarını göstermektedir. Uzman ve bilir kişilerden H adet olmak üzere, kriterler üzerinden direkt ilişki matrisi oluşturulması istenmektedir $(A^1, A^2, \dots, A^H)$. c kriter sayısı olmak üzere ve $i, j = \{1,2,3, \dots, c\}$ ise H adet ilişki matrislerinin denklem 4.10'da gösterildiği gibi

$$\tilde{A}_{ij} = 1/H \sum_{n=1}^{H} A_{ij}^{n} \tag{4.10}$$

ortalamaları alınır ve ortalama direkt ilişki matrisi $\tilde{A}_{ij}$ oluşturulur.

3. Adım: Standartlaştırılmış Direkt İlişki Bulanıklık Matrisi Oluşturma

Standartlaştırılmış direkt ilişki matrisi ise denklem 4.11'de gösterilmektedir;

$$k = \min\left(\frac{1}{\max\sum_{j=1}^{c}\left|\tilde{A}_{ij}\right|}, \frac{1}{\max\sum_{i=1}^{c}\left|\tilde{A}_{ij}\right|}\right)$$

olduğunda,

$$M = k \times \tilde{A} \tag{4.11}$$

dir.

4. Adım: Toplam İlişki Matrisinin Oluşturulması

Bir önceki adımda M belirlendikten sonra ve birim matrisin I olduğu bir uzayda, toplam ilişki matrisi yada direkt-direkt olmayan matrisi bulmak için denklem 4.12 kullanılmaktadır (geometrik seri açılımı),

$$S = \lim_{H\to\infty}(M + M^2 + M^3 + \cdots + M^H) = M(I - M)^{-1}. \tag{4.12}$$

5. Adım: Etkileyen Faktörleri ve Etkilenen Faktörleri Hesaplama

M matrisinin her i'inci satırı toplamı D_i şeklinde gösterilir. Bu toplam, i kriterinin diğer kriterleri etkilediği etkilerin toplamını göstermektedir. Benzer şekilde, M matrisinin i'inci sütunlarının toplamı R_i şeklinde gösterilir. Bu toplam ise, i kriterinin diğer kriterlerden etkilendiği etkilerin toplamı olarak ifade edilir. Herhangi bir i kriteri için, $(D_i + R_i)$ olarak göstereceğimiz toplam, i kriterinin toplam etki değeridir. Aynı şekilde herhangi bir i kriteri için, ; $(D_i - R_i)$ olarak göstereceğimiz toplam, i kriterinin tüm sisteme yapılan etki değerini göstermektedir. D_i ve R_i değeri, denklem 4.13'de gösterilmiştir.

$$S = s_{ij}, \quad i, j = \{1,2,3,\ldots,c\} \tag{4.13}$$

$$D_i = \sum_{j=1}^{c} s_{ij}$$

$$R_i = \sum_{i=1}^{c} s_{ij}$$

Sisteme yapılan etki değeri pozitif ise, i kriterini "etkileyen", negatif ise i kriterini "etkilenen" kriter yapmaktadır. Bu bilgiler ışığında, $(D_i - R_i)$ i kriterinin sisteme etki derecesi ve $(D_i + R_i)$ sistemin rol derecesi olarak adlandırılmaktadır (Çınar, 2013)**.**

6. Adım: Eşik Değerini Belirlemek ve Etki Grafik Diyagramı

Eşik değerini, uzman ve karar verici kişilerin etkisini belirlemek için önceden ayarlamak gerekir. Literatürde kimi araştırmacılar *S* matrisinin aritmetik ortalamasını alarak eşik değerini belirlemektedirler. Fakat genel olarak değeri belirleyen, uzmanın kendisidir. Eşik değeri belirlendikten sonra, etki diyagramını oluşturmak gerekir. Bu diyagram düşey ekseni $(D_i - R_i)$ ve yatay ekseni $(D_i + R_i)$ olan eksendir. Bu eksen, kriterlerin etkileyen ve etkilenenlerin hangi düzlemde olduğuna karar vermemizi sağlar.

7. Adım: Ağırlıkların Belirlenmesi

Ağırlıklar bulunurken ise denklem 4.14'den yararlanılır;

$$w_i = \sqrt{(D_i + R_i)^2 + (D_i - R_i)^2} \tag{4.14}$$

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^{c} w_i}.$$

4.4 Bulanık DEMATEL Metodu

Bulanık DEMATEL metodu kullanılırken adım adım ilerlenmektedir ve bu adımlar aşağıda belirtildiği gibidir.

1. Adım: Kriterlerin ve linguistik değerlerin belirlenmesi

Bu adımda karşılanacak problemin çözümü açısından kriterler belirlenmelidir. Kriterler uzmanlar veya literatürden edinilen bilgiler ışığında gerçeğe yatkın ve anlaşılır olmalıdır.

Kriterler belirlendikten sonra, her bir linguistik terim için bulanık bir değer verilmeli ve bu değerler Li ve Chen tarafından belirlenmiş değerlerdir ve Tablo 4.10'de gösterildiği gibi verilmektedir (Li ve Tzeng, 1999); (Chen ve ark., 2006);

Tablo 4.10 Terimlerin üçgensel bulanık değerleri

Linguistik Terim	**Bulanık Değer**
Etkisiz (E)	(0, 0, 0.25)
Düşük Etki (DE)	(0, 0.25, 0,5)
Orta Etki (OE)	(0.25, 0.5, 0.75)
Yüksek Etki (YE)	(0.5, 0.75, 1)
Çok Yüksek Etki (ÇYE)	(0.75, 1, 1)

2. Adım: Bulanık Direkt İlişki Matrisinin Oluşturulması

Bu adımda her bir kriter için ikili ilişki matrisi oluşturulacak ve bu matris simetrik olmayan ve köşegen elemanları 0 değerine sahip elemanlardan oluşacak bir matris olacaktır.

Tablo 4.11'da gösterilen matris bulanık direkt ilişki matrisine bir örnektir;

Tablo 4.11 Direkt ilişki matrisi örneği (Bulanık DEMATEL)

	Kriter 1	Kriter 2	Kriter 3	Kriter 4
Kriter 1	0	E	DE	OE
Kriter 2	DE	0	ÇYE	YE
Kriter 3	YE	ÇYE	0	YE
Kriter 4	OE	OE	E	0

Tablo 4.12 ise, Tablo 4.11'da belirtilen direkt ilişki matrisinin bulanık değerler ile gösterilmiş halidir;

Tablo 4.12 Bulanık direkt ilişki matrisi örneği

	Kriter 1	Kriter 2	Kriter 3	Kriter 4
Kriter 1	0	(0, 0, 0,25)	(0, 0,25, 0,5)	(0,25, 0,5, 0,75)
Kriter 2	(0, 0,25, 0,5)	0	(0,75, 1, 1)	(0.5, 0,75, 1)
Kriter 3	(0,5, 0,75, 1)	(0,75, 1, 1)	0	(0,5, 0,75, 1)
Kriter 4	(0,25, 0,5, 0,75)	(0,25, 0,5, 0,75)	(0, 0, 0,25)	0

Yukarıda verilen matris gibi direkt ilişki matrisi de kare matris olmalıdır ve matris elemanlarına $\tilde{Z}_{ij}$ denilirse her bir i elemanının j elemanına göre etkisi matrisin

elemanlarını göstermektedir. Uzman ve bilir kişilerden H adet olmak üzere, kriterler üzerinden direkt ilişki matrisi oluşturulması istenmektedir ($\tilde{Z}^1, \tilde{Z}^2, \dots, \tilde{Z}^H$). c kriter sayısı olmak üzere ve $i, j = \{1,2,3, \dots, c\}$ H adet ilişki matrislerinin denklem 4.15'de gösterildiği gibi

$$\tilde{o}_{ij} = 1/H \sum_{n=1}^{H} \tilde{Z}_{ij}^{n} \tag{4.15}$$

ortalamaları alınır ve ortalama direkt ilişki matrisi $\tilde{o}_{ij}$ oluşturulur.

3. Adım: Standartlaştırılmış Bulanık Direkt İlişki Bulanıklık Matrisi Oluşturma

ortalama ilişki matrisi olan $\tilde{o}_{ij}$ elemanları üçgensel bulanık sayıları ifade etmektedir ve aşağıdaki gibi sol, orta ve sağ elemanları gösterilebilir,

$$\tilde{o}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$$

Bunun sonucunda standartlaştırılmış bulanık direkt ilişki matrisi ise denklem 4.16'de gösterilmektedir;

$$\tilde{X} = \tilde{x}_{ij} = \frac{\tilde{o}_{ij}}{r} = \left(\frac{l_{ij}}{r_l}, \frac{m_{ij}}{r_m}, \frac{u_{ij}}{r_u}\right), \tag{4.16}$$

bu durumda

$$r_l = \max_{1 \le i \le n} \left(\sum_{j=1}^{n} l_{ij} \right) \quad r_m = \max_{1 \le i \le n} \left(\sum_{j=1}^{n} m_{ij} \right) \quad r_u = \max_{1 \le i \le n} \left(\sum_{j=1}^{n} u_{ij} \right).$$

olur.

4. Adım: Bulanık Toplam İlişki Matrisinin Oluşturulması

Bir önceki adımda $\tilde{X}$ belirlendikten sonra ve birim matrisin *I* olduğu bir uzayda, bulanık toplam ilişki matrisi ya da bulanık direkt-direkt olmayan matrisi bulmak için denklem 4.17 kullanılmaktadır,

$$T = \lim_{H \to \infty} (\tilde{X} + \tilde{X}^2 + \tilde{X}^3 + \cdots + \tilde{X}^H) = \tilde{X}(I - \tilde{X})^{-1}. \tag{4.17}$$

İşlem sırasında, $\tilde{X}$ matrisinin sol, orta ve sağ elemanlarını ayırarak yapmak daha faydalı ve kolay olmaktadır.

5. Adım: Bulanık Etkileyen Faktörleri ve Etkilenen Faktörleri Hesaplama

T matrisinin her i'inci satırı toplamı $\widetilde{D}_i$ şeklinde gösterilir. Bu toplam, i kriterinin diğer kriterleri etkilediği etkilerin toplamını göstermektedir. Benzer şekilde, *T* matrisinin i'inci sütunlarının toplamı $\tilde{R}_i$ şeklinde gösterilir. Bu toplam ise, i kriterinin diğer kriterlerden etkilendiği etkilerin toplamı olarak ifade edilir.

Herhangi bir *i* kriteri için, $(\widetilde{D}_i + \tilde{R}_i)$ olarak göstereceğimiz toplam, *i* kriterinin toplam etki değeridir. Aynı şekilde herhangi bir *i* kriteri için, ; $(\widetilde{D}_i - \tilde{R}_i)$ olarak göstereceğimiz toplam, *i* kriterinin tüm sisteme yapılan etki değerini göstermektedir.

Sisteme yapılan etki değeri pozitif ise, *i* kriterini "etkileyen", negatif ise *i* kriterini "etkilenen" kriter yapmaktadır. Bu bilgiler ışığında, $(\widetilde{D}_i - \tilde{R}_i)$ *i* kriterinin sisteme etki derecesi ve $(\widetilde{D}_i + \tilde{R}_i)$ sistemin rol derecesi olarak adlandırılmaktadır (Çınar, 2013)**.**

6. Adım: Bulanık Durulaştırma

Uygun bir bulanık durulaştırma modeli ile çıkan değerleri durulaştırmak gerekmektedir.

7. Adım: Kriterlerin Bulanık Ağırlıklarının Belirlenmesi

Ağırlıklar bulunurken ise denklem 4.18'den yararlanılır;

$$w_i = \sqrt{(\widetilde{D}_i + \tilde{R}_i)^2 + (\widetilde{D}_i - \tilde{R}_i)^2} \qquad (4.18)$$

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i}.$$

Bir diğer yöntem ise, bulanık toplam ilişki matrisi bulunduktan sonra durulaştırma metodu bu matrise uygulanıp durulaştırılmış toplam ilişki matrisi elde edilir ve bu matris üzerinden, DEMATEL metodunda yeni bir yol izlemeye olanak sağlamaktadır. Bunu sağlayacak durulaştırma yöntem ise CFCS (Converting Fuzzy Data into Crisp Scores) metodudur. Bu durulaştırma yöntemi araştırmacılar tarafından, DEMATEL metodu için kıvrım değerlerini elde etmek için en etkili yol olarak görülmektedir (Opricovic ve Tzeng, 2003); (Wu ve Lee, 2007).

CFCS bulanık durulaştırma metodu adımları denklem 2.39'dan, denklem 2.43'e kadar gösterilmektedir ve direkt ilişti matrisine uygulanıp çıkan kıvrım değerler matrisine , DEMATEL adımlarının uygulanması gerekir.

BÖLÜM BEŞ
UYGULAMA

Bu bölümde, bulanık karar verme modellerini tedarik zinciri yönetimi elemanları üzerinde uygulanmaktadır. Farklı bulanık modeller ile tedarikçi seçimi, tedarikçi seçimi için kriter geliştirme, tedarik zinciri ağında çok kriterli karar verme süreçleri, bulanık mantık tabanlı modelleri ile incelenmekte ve buna uygun bir karar destek sistemi oluşturulmaktadır.

Tedarik zinciri yönetiminin en önemli kararlarından olan tedarikçi seçimi, veriler ve tedarikçiler açısından hayati önem taşır. Tedarikçi seçim sürecinin stratejik önemi nedeniyle, tedarikçi değerlendirmesi ve seçimi konusunda kapsamlı araştırmalar yapılmaktadır. Araştırmacılar bu seçimi yapabilmek için bir çok model geliştirmişlerdir.

Nazeri ve arkadaşları (2011)'e göre tedarikçi seçimi, tedarik zinciri içerisindeki birçok işletme için ürün ve hizmet yönetiminin en önemli süreçlerinden biridir. Özellikle imalat verilerinde hammadde ve bileşen parçaları, ürün maliyetinin %70'ine eşit olabilir. Bu gibi durumlarda, satın alma birimi maliyet düşürmeyi etkileyebilir. Tedarikçi değerlendirmesi, satın alma yönetiminin en temel konularından biridir. Tedarikçi seçimi ve değerlendirilmesi sürecinin çok kriterli karar verme süreci olduğunu, yani tedarikçi seçiminde birçok ölçüt (kriter) üzerinden seçim yapıldığı ve kullanıldığı düşünülebilir.

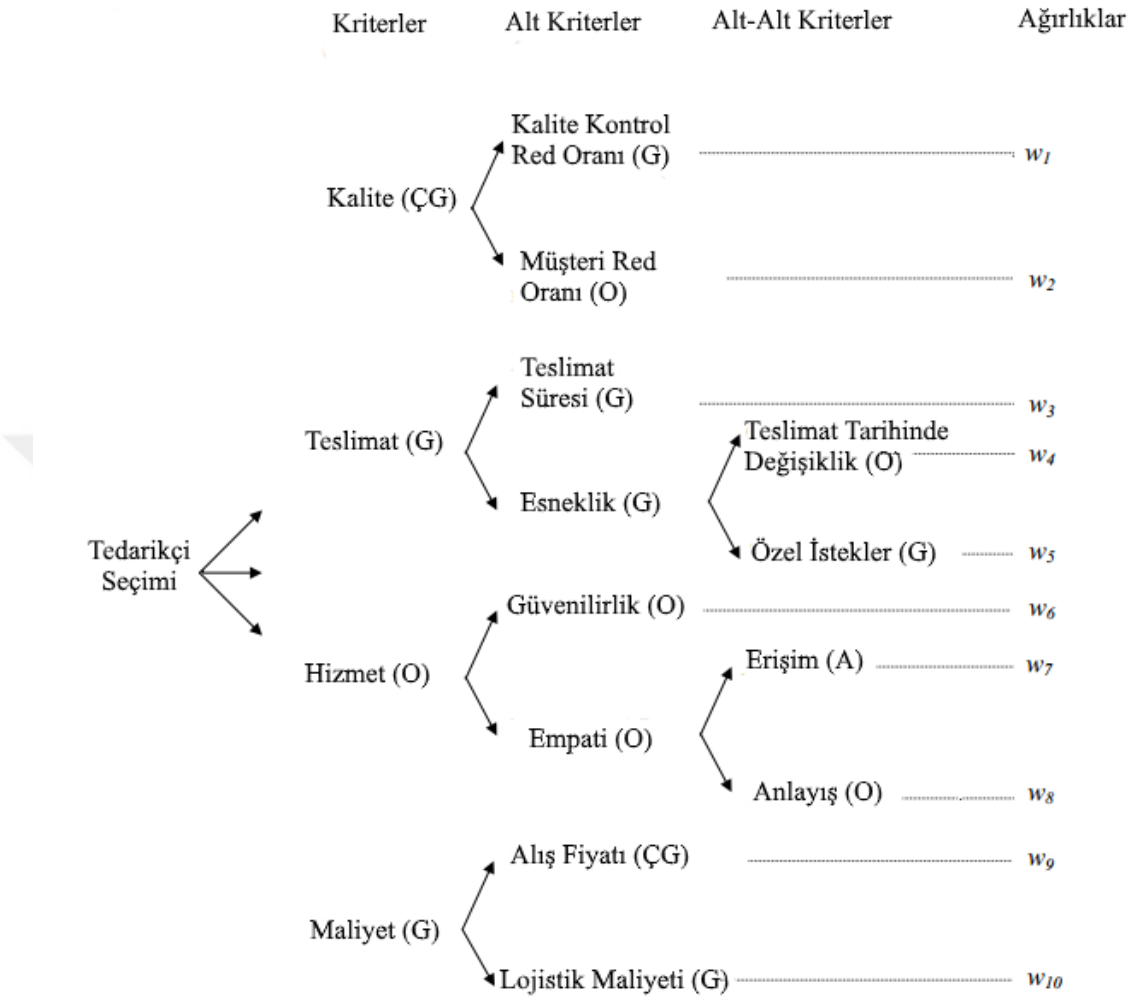
Temel olarak, tedarikçi seçimi ve değerlendirmesi, tek kaynaklı ve çok kaynaklı olmak üzere iki kategoriye ayrılabilir. Tek kaynakta, tedarikçi seçim sürecinde dikkate alınmayan kısıtlamalar vardır. Diğer bir deyişle, tüm tedarikçiler, alıcının talebini, kalitesini, teslimatını ve diğer taleplerini karşılayabilir. Alıcı, sadece bir tedarikçi kararı vermelidir. Öte yandan, çoklu tedarikte, tedarikçi seçimi sürecinde ele alınan tedarikçi kapasitesi, kalitesi ve teslimat gibi bazı kısıtlamalar bulunmaktadır. Başka bir deyişle, hiçbir tedarikçi, alıcının toplam gereksinimlerini karşılayamaz ve alıcının, bir tedarikçiden kapasitenin yetersizliği veya düşük kalitesini telafi etmek için, bir tedarikçiden talebin bir kısmını ve talebin diğer kısmını satın alması gerekir. Bu koşullar altında, alıcıların karar vermesi gereken şey;

“hangi tedarikçiler hangi kriterler açısından en iyisidir ve diğer tedarikçilere göre ne kadar iyidir?”.

Tedarikçilerle müşteriler arasındaki bağlantıları tedarik zincirinde başarıyla yönetmek, etkin işbirliğini gerekli kılmaktadır. Sonuç olarak, veriler, yüksek tedarik zinciri performansını elde etmek ve sürdürmek için birkaç tedarikçi veya güvenilir bir tedarikçi ile yakın çalışmayı tercih etmektedirler. Tedarikçi değerlendirme ve seçim sürecinin stratejik önemi nedeniyle, bu çok kriterli karar verme probleminin üstesinden gelmek için kapsamlı araştırma yapılmaktadır. Son yıllarda, tedarikçi seçimi probleminin matematiksel modelleri üzerinde büyük bir odaklanma olmuştur. Matematiksel metotolojiler, bu sorunun karmaşıklığına cevap vermeye çalışmaktadır (Kahraman ve ark., 2014).

Bu metotlardan biri olan bulanık AHP ve Ordoobadi (2009)’un kullandığı bulanık mantık metodu, önceden de tanımlandığı gibi adım adım ilerleyerek uygulanmaktadır. İki metodun da ilk adımı, hiyerarşik bir düzen ve kriterlerin belirlenmesidir. Bu kriterleri belirlemede Ordoobadi’nin kullandığı hiyerarşi kullanılmaktadır. Bu hiyerarşinin elemanları olan kalite, bir hizmet veya ürünün kalitesini belirtmektedir. Kalite kontrol (K1) red oranı, tedarikçinin kalite kontrolü sonrası red yaratan ürün veya hizmetlerinin oranın belirtmektedir. Müşteri red oranı (K2), tedarikçinin ürettiği hizmet veya ürünün müşteri tarafından reddedildiği oranı belirtmektedir. Teslimat, tedarikçinin teslimat kabiliyetini, teslimat süresi (K3), siparişin verilip teslimin gerçekleştiği süre aralığını belirtmektedir. Esneklik, teslimat verirken kullanılabilecek kolaylıkları belirtmektedir. Teslimat tarihinde değişiklik (K4), teslimatın tarihini istediğiniz gibi belirleme iptal etme veya değiştirme olanağını, özel istekler (K5) ise teslimatın tesliminde tedarikçiden sağlanacak özel koşulları (soğuk hava deposu gibi) belirtmektedir. Hizmet, tedarikçinin hizmet kalitesini belirtmektedir. Güvenilirlik (K6), tedarikçiye güveni, Empati, tedarikçinin çalıştığı firmaları da kendi firması gibi görerek faaliyet göstermesini belirtmektedir. Erişim (K7), tedarikçiye gün içinde ve tatil günleri de dahil erişebilme ve iletişimi belirtmektedir. Anlayış (K8), tedarikçinin sizin sektör hakkındaki bilgi ve anlayışını belirtmektedir. Maliyet, tedarikçinin hizmet ve ürününün toplam ücret ve değerini, alış fiyatı (K9) tedarikçiden alınan ürün veya hizmetin mali değerini, lojistik maliyet

(K10) bu ürün veya hizmetin taşınma ve taşınırken yapılan tüm faaliyetin mali değerini göstermektedir. Bu hiyerarşi Şekil 5.1'deki gibidir (Ordoobadi, 2009).

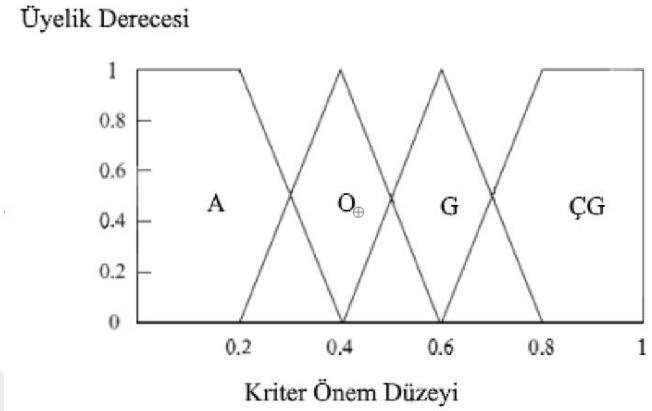


Şekil 5.1 Tedarikçi seçim kriterleri

5.1 Bulanık Metot ile Tedarikçi Seçimi

Seçim kriterleri belirlendikten sonra, her bir kriter için karşılık gelen linguistik önem terimlerinin bulanık karşılığı bulunmalıdır. Bunun için kullanılan bulanık sayılar Tablo 4.4'deki gibidir. Az önemli terimin bulanık sayısı (0,0 , 0,0 , 0,2 , 0,4), Ortalama Önemli terimin bulanık sayısı (0,2 , 0,4 , 0,4 , 0,6), Güçlü Önemli terimin bulanık sayısı (0,4 , 0,6 , 0,6 , 0,8), Çok Güçlü Önemli terimin bulanık sayısı (0,6 , 0,8 , 1,0 , 1,0) olarak tanımlanmakta ve Tablo 4.4'de gösterilmektedir. Ayrıca bu sayıların üyelik derecesi – kriterin önem düzeyi grafiği de Şekil 5.1'deki gibidir. Bu değerlendirmeler, çoğunlukla tedarik yöneticisi veya tedarik ekibi

tarafından, saha ziyaretleri, kabul edilen tedarikçilerle yapılan görüşme ve bazen bu tedarikçilerin önceki müşterileri ile görüşme sonrasında görüş birliğinde değerlendirilir. Böyle bir değerlendirme sürecine bir örnek, Ishizaka da verilmiştir (Ishizaka ve ark., 2012).



Şekil 5.2 Linguistik önem ağırlıklarının üyelik fonksiyonları

Kriterlerin seçimi ve her kritere karşılık gelen bulanık sayıları belirledikten sonra, tedarikçilerin bu kriterler bazında değerlendirildiği tedarikçi performans değerleri belirlenmektedir. Bu değerler, alanında uzman ve tedarikçi seçimi yapmış kişilere, önceden ya da hali hazırda iş birliğinde oldukları tedarikçilerin özellikleri baz alınarak değerlendirilmektedir. Bu değerlendirme için kullanılan linguistik performans terimleri ve karşılık gelen bulanık sayılar Tablo 4.5'de gösterilmektedir. Belirlenen bir kriterde, kötü performans gösteren veriin bulanık sayısı (0 , 0 , 2 , 4), iyi performans gösteren veriin bulanık sayısı (2 , 4 , 4 , 6), çok iyi performans gösteren veriin bulanık sayısı (4 , 6 , 6 , 8) ve mükemmel performans gösteren veriin bulanık sayısı (6 , 8 , 10 , 10)'dir.

Tedarikçi seçimi yapmadan önce, seçimin yapacağı kriterleri belirlenmektedir. Fakat bu kriterlerin üzerinden, seçilecek tedarikçilerin performans değerlerinin belirlenmesi de gerekmektedir. Bu süreç tedarikçilerin performans kriterlerini değerlendirmeye yetkin uzman kişiler tarafından yapılmaktadır. Bu anlamda, tedarikçilerin değerlendirilmesine yönelik bir değerlendirme, görsel uygulanan programda da bulunacak ve verilerin performans kriterlerinin bulunduğu bir veri tabanı oluşturulacaktır. Bu performans ölçütlerinin belirlenmekte olduğu Tablo 5.1'deki uzmanlar tarafından belirlenen 4 tedarikçi üzerinden bulanık mantık ile

karar verme süreci gösterilmektedir. Belirli tedarikçilerin, bu performans değerleri ve kriterler üzerinden değerlendirilmesi Tablo 5.1'deki gibidir.

Tablo 5.1 Tedarikçi performans değerlendirmesi

Seçim Kriteri	**Tedarikçi A**	**Tedarikçi B**	**Tedarikçi C**	**Tedarikçi D**
Kalite Kontrol Red Oranı	İ	Çİ	Çİ	İ
Müşteri Red Oranı	Çİ	Çİ	İ	K
Teslimat Süresi	İ	K	İ	Çİ
Teslimat tarihinde değişiklik	M	İ	Çİ	K
Özel İstekler	K	M	K	Çİ
Güvenilirlik	İ	İ	M	K
Erişim	Çİ	İ	İ	Çİ
Anlayış	M	İ	K	İ
Alış Fiyatı	Çİ	İ	M	İ
Lojistik Maliyeti	İ	M	Çİ	K

Hiyerarşi ve kriterlerin belirlenmesinden sonra, her kriterin önem bulanık sayısına göre, kriterlerin ağırlıkları hesaplanmaktadır. Bu bulanık ağırlıkların hesaplanması için kullanılan yöntem, hiyerarşideki her bir alt kriterin bulanık önem değerinin, kendinden önce gelen kriterler ve alt kriterlerin bulanık önem değerleri ile bire bir çarpılması ile bulunmaktadır. Örneğin, w_1'i bulmak için kalite kontrol oranının bulanık önem sayısı (G) ile kalitenin bulanık önem sayısını (ÇG) bire bir çarpmak gerekmektedir. Yani;

$$w_1 = \mathrm{G} * \mathrm{ÇG} = (0{,}4\ ,0{,}6\ ,0{,}6\ ,0{,}8) * (0{,}6\ ,0{,}8\ ,1{,}0\ ,1{,}0) = (0{,}24\ ,0{,}48\ ,0{,}6\ ,0{,}8)$$

Tüm diğer ağırlıklar da bu yöntem ile hesaplandığında;

$$w_1 = \mathrm{G} * \mathrm{ÇG} = (0{,}4\ ,0{,}6\ ,0{,}6\ ,0{,}8) * (0{,}6\ ,0{,}8\ ,1{,}0\ ,1{,}0) = (0{,}24\ ,0{,}48\ ,0{,}6\ ,0{,}8)$$

$$w_2 = \mathrm{O} * \mathrm{ÇG} = (0{,}2\ ,0{,}4\ ,0{,}4\ ,0{,}6) * (0{,}6\ ,0{,}8\ ,1{,}0\ ,1{,}0) = (0.12, 0.32, 0.4, 0.6)$$

$$w_3 = \mathrm{G} * \mathrm{G} = (0{,}4\ ,0{,}6\ ,0{,}6\ ,0{,}8) * (0{,}4\ ,0{,}6\ ,0{,}6\ ,0{,}8) = (0.16, 0.36, 0.36, 0.64)$$

$$w_4 = \mathrm{O} * \mathrm{G} * \mathrm{G} = (0{,}2\ ,0{,}4\ ,0{,}4\ ,0{,}6) * (0{,}4\ ,0{,}6\ ,0{,}6\ ,0{,}8) * (0{,}4\ ,0{,}6\ ,0{,}6\ ,0{,}8)$$

$$= (0.032, 0.144, 0.144, 0.384)$$

$w_5 = \text{G} * \text{G} * \text{G} = (0{,}4\ ,0{,}6\ ,0{,}6\ ,0{,}8) * (0{,}4\ ,0{,}6\ ,0{,}6\ ,0{,}8) * (0{,}4\ ,0{,}6\ ,0{,}6\ ,0{,}8)$

$= (0.064, 0.216, 0.216, 0.512)$

$w_6 = \text{O} * \text{O} = (0{,}2\ ,0{,}4\ ,0{,}4\ ,0{,}6) * (0{,}2\ ,0{,}4\ ,0{,}4\ ,0{,}6) = (0.04, 0.16, 0.16, 0.36)$

$w_7 = \text{A} * \text{O} * \text{O} = (0{,}0\ ,0{,}2\ ,0{,}2\ ,0{,}6) * (0{,}2\ ,0{,}4\ ,0{,}4\ ,0{,}6) * (0{,}2\ ,0{,}4\ ,0{,}4\ ,0{,}6)$

$= (0, 0, 0.032, 0.144)$

$w_8 = \text{O} * \text{O} * \text{O} = (0{,}2\ ,0{,}4\ ,0{,}4\ ,0{,}6) * (0{,}2\ ,0{,}4\ ,0{,}4\ ,0{,}6) * (0{,}2\ ,0{,}4\ ,0{,}4\ ,0{,}6)$

$= (0.008, 0.064, 0.064, 0.216)$

$w_9 = \text{ÇG} * \text{G} = (0{,}6\ ,0{,}8\ ,1{,}0\ ,1{,}0) * (0{,}4\ ,0{,}6\ ,0{,}6\ ,0{,}8) = (0{,}24\ ,0{,}48\ ,0{,}6\ ,0{,}8)$

$w_{10} = \text{G} * \text{G} = (0{,}4\ ,0{,}6\ ,0{,}6\ ,0{,}8) * (0{,}4\ ,0{,}6\ ,0{,}6\ ,0{,}8) = (0.16, 0.36, 0.36, 0.64)$

olarak bulunur.

Ağırlıkları bulduktan sonra, Tablo 5.1'deki liniguistik değerleri, bulanık sayılara çevirdiğimizde, Tablo 5.2 elde edilir.

Tablo 5.2 Bulanı sayılar ile tedarikçi performansı değerlendirmesi

Seçim Kriteri	**Tedarikçi A**	**Tedarikçi B**	**Tedarikçi C**	**Tedarikçi D**
Kalite Kontrol Red Oranı	(2, 4, 4, 6)	(4, 6, 6, 8)	(4, 6, 6, 8)	(2, 4, 4, 6)
Müşteri Red Oranı	(4, 6, 6, 8)	(4, 6, 6, 8)	(2, 4, 4, 6)	(0, 0, 2, 4)
Teslimat Süresi	(2, 4, 4, 6)	(0, 0, 2, 4)	(2, 4, 4, 6)	(4, 6, 6, 8)
Teslimat tarihinde değişiklik	(6,8,10, 10)	(2, 4, 4, 6)	(4, 6, 6, 8)	(0, 0, 2, 4)
Özel İstekler	(0, 0, 2, 4)	(6, 8, 10, 10)	(0, 0, 2, 4)	(4, 6, 6, 8)
Güvenilirlik	(2, 4, 4, 6)	(2, 4, 4, 6)	(6,8,10, 10)	(0, 0, 2, 4)
Erişim	(4, 6, 6, 8)	(2, 4, 4, 6)	(2, 4, 4, 6)	(4, 6, 6, 8)
Anlayış	(6,8,10, 10)	(2, 4, 4, 6)	(0, 0, 2, 4)	(2, 4, 4, 6)
Alış Fiyatı	(4, 6, 6, 8)	(2, 4, 4, 6)	(6,8,10, 10)	(2, 4, 4, 6)
Lojistik Maliyeti	(2, 4, 4, 6)	(6, 8, 10, 10)	(4, 6, 6, 8)	(0, 0, 2, 4)

Her bir tedarikçi için kullanılacak olan bulanık skorlar, Tablo 5.2'deki bulanık performanslar ile bulanık önem ağırlıklarının (w_i) birebir çarpımının sonucunun

ağırlıklı toplamları şeklinde bulunur. Yani, k_A tedarikçi A'nın tüm kriterlerinin bulanık değerlerini veren matris olsun. Böylece

$k_A^T = [(2,4,4,6),(4,6,6,8),(2,4,4,6),(6,8,10,10),(0,0,2,4),$

$(2,4,4,6),(4,6,6,8),(6,8,10,10),(4,6,6,8),(2,4,4,6)]$

olur.

Ayrıca *w* önem ağırlık matrisi de aynı şekilde;

$w =$[(0.24, 0.48, 0.6, 0.8), (0.12, 0.32, 0.4, 0.6), (0.16, 0.36, 0.36, 0.64), (0.032, 0.144, 0.144, 0.384), (0.064, 0.216, 0.216, 0.512), (0.04, 0.16, 0.16, 0.36), (0, 0 , 0.032, 0.144), (0.008, 0.064, 0.064, 0.216), (0.24, 0.48, 0.6, 0.8) , (0.16, 0.36, 0.36, 0.64)] olur.

Bu iki matrisin elemanlarını bire bir çarpılırsa;

$k_A^T \otimes w =$ [(2 * 0.24, 4 * 0.48, 4 * 0.6, 6 * 0.8), (4 * 0.12, 6 * 0.32, 6 * 0.4, 8 * 0.6), (2 * 0.16, 4 * 0.36, 4 * 0.36, 6 * 0.64), (6 * 0.032, 8 * 0.144, 10 * 0.144, 10 * 0.384), (0 * 0.064, 0 * 0.216, 2 * 0.216, 4 * 0.512), (2 * 0.04, 4 * 0.16, 4 * 0.16, 6 * 0.36), (4 * 0,6 * 0 , 6 * 0.032, 8 * 0.144), (6 * 0.008, 8 * 0.064, 10 * 0.064, 10 * 0.216), (4 * 0.24, 6 * 0.48, 6 * 0.6, 8 * 0.8), (2 * 0.16, 4 * 0.36, 4 * 0.36, 6 * 0.64)]

elde edilir. Daha sonra ağırlıklı toplamlarını alındığında bulanık skorları elde edilir. Tedarikçiler için elde edilen bulanık skorlar Tablo 5.3'de gösterilmektedir.

Tablo 5.3 Tedarikçilerin bulanık skorları

	Bulanık Skorlar
Tedarikçi A	(2,88 , 11,904 , 14,624 , 35,04)
Tedarikçi B	(3,424 , 12,8 , 16,48 , 36,704)
Tedarikçi C	(3,968 , 13,744 , 17,952 , 37,408)
Tedarikçi D	(1,872 , 7,552 , 10,832 , 29,2)

Bulunan bulanık skorlar durulaştırma (defuzification) yöntemlerinden olan ağırlık merkezi metodu ile (center of area method veya centroid) kıvrım (crisp) skorlara dönüştürülür;

$$\bar{x} = \frac{l + m_l + m_u + u}{4}$$

Yani tedarikçi A için kıvrım skoru, $S_a = \frac{2{,}88+11{,}904+14{,}624+35{,}04}{4} = 16{,}112$,

tedarikçi B için kıvrım skoru, $S_b = \frac{3{,}424+12{,}8+16{,}48+36{,}704}{4} = 17{,}352$,

tedarikçi C için kıvrım skoru, $S_c = \frac{3{,}968+13{,}744+17{,}952+37{,}408}{4} = 18{,}268$,

tedarikçi D için kıvrım skoru, $S_d = \frac{1{,}872+7{,}552+10{,}832+29{,}2}{4} = 12{,}364$ elde edilir.

Bu sonuçlar ışığında, kıvrım skorlarını normalleştirip, tedarikçilerin tüm kriterlere göre son yargılanışı ve en iyiden kötüye sıralanışı Tablo 5.4'de görülmektedir.

Tablo 5.4 Tedarikçiler için bulanık, kıvrım normal kıvrım skorlar ve sıralama

	Bulanık skorlar	Kıvrım Skorlar	Normal Kıvrım Skorlar	Sıralama
Tedarikçi A	(2,88, 11,904, 14,624, 35,04)	16,112	0.2514	3
Tedarikçi B	(3,424,12,8 ,16,48 ,36,704)	17,352	0.2707	2
Tedarikçi C	(3,968,13,744,17,952 ,37,408)	18,268	0.2850	1
Tedarikçi D	(1,872 , 7,552 , 10,832 , 29,2)	12,364	0.1929	4

Kıvrım skorlarının sonucunda tedarikçilerin belirli kriterlere göre sıralaması bulunmuştur. Bu analizin daha da hassas olabilmesi için, kullanacak olan araştırmacı şunları değiştirmeyi deneyebilir;

- Üyelik fonksiyonunun biçimini (üçgensel, yamuksu, gaussian, asimetrik vb.)
- Üyelik fonksiyonlarının pozisyonunu ve bulanık değerlerini,
- Kriterlerin veya tedarikçi alternatiflerinin değerlendirilmesinde kullanılan linguistik yargılar.

5.2 Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (FAHP) ile Kriterlerin Ağırlığını Belirleme

Tedarikçi seçim sürecinde kriterleri belirlemek ve alternatifleri değerlendirmek için bir verinin satın alma müdürüne başvuruldu. Tercihlerine göre, kriterlerin birebir karşılaştırması aşağıdaki Tablo 5.5'de gösterilmektedir. Uygulamadaki Tablo 5.5, M. Ayhan'ın yayınından esinlenilmiştir. (Ayhan, 2013)

Tablo 5.5 Kriterlerin birebir karşılaştırma tablosu

Q #	Ç.G. Öne. (9, 9, 9)	G. Öne. (6, 7, 8)	O. Öne. (4, 5, 6)	Az Öne. (2, 3, 4)	Kriter	Eşit Önemli (1, 1, 1)	Kriter	Az Öne. (2, 3, 4)	O Öne. (4, 5, 6)	G Öne. (6, 7, 8)	Ç.G. Öne. (9, 9, 9)
1		✔			Kalite		Teslimat				
2			✔		Kalite		Hizmet				
3					Kalite		Maliyet	✔			
4				✔	Teslimat		Hizmet				
5					Teslimat		Maliyet			✔	
6					Hizmet		Maliyet				✔

Tablo 5.4'e göre yapılacak olan karşılaştırma matrisi ise Tablo 5.6'deki gibidir.

Tablo 5.6 Kriterlerin karşılaştırma matrisi

Kriterler	Kalite	Teslimat	Hizmet	Maliyet
Kalite	(1, 1, 1)	(6, 7, 8)	(4, 5, 6)	(1/4, 1/3, 1/2)
Teslimat	(1/8, 1/7, 1/6)	(1, 1, 1)	(2, 3, 4)	(1/8, 1/7, 1/6)
Hizmet	(1/6, 1/5, 1/4)	(1/4, 1/3, 1/2)	(1, 1, 1)	(1/9, 1/9, 1/9)
Maliyet	(2, 3, 4)	(6, 7, 8)	(9, 9, 9)	(1, 1, 1)

İlk iki adım sonrasında, Tablo 5.5'deki matrisinin satır elemanlarının ortalamasının alınması gerekir. Bu ortalamayı Buckey (1985) geometrik olarak almıştır. Bu yöntem tezde anlatılan Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi teorisinde de anlatılmaktadır. Her bir kriter için uygulayacak olursak;

Kalite kriteri için;

$$\tilde{r}_1 = \left(\prod_{j=1}^{4} \check{d}_{1j}\right)^{1/4}$$

$$= \left[\left(1 * 6 * 4 * \frac{1}{4}\right)^{\frac{1}{4}}, \left(1 * 7 * 5 * \frac{1}{3}\right)^{\frac{1}{4}}, \left(1 * 8 * 6 * \frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{4}}\right]$$

$$= [1.5651\ , 1{,}8481\ ,\ 2{,}2134].$$

Teslimat kriteri için;

$$\tilde{r}_2 = \left(\prod_{j=1}^{4} \check{d}_{2j}\right)^{1/4}$$

$$= \left[\left(\frac{1}{8} * 1 * 2 * \frac{1}{8}\right)^{\frac{1}{4}}, \left(\frac{1}{7} * 1 * 3 * \frac{1}{7}\right)^{\frac{1}{4}}, \left(\frac{1}{6} * 1 * 4 * \frac{1}{6}\right)^{\frac{1}{4}}\right]$$

= [0,4204 , 0,4974 , 0,5774].

Hizmet kriteri için;

$$\tilde{r}_3 = \left(\prod_{j=1}^{4} \check{d}_{3j}\right)^{1/4}$$

$$= \left[\left(\frac{1}{6} * \frac{1}{4} * 1 * \frac{1}{9}\right)^{\frac{1}{4}}, \left(\frac{1}{5} * \frac{1}{3} * 1 * \frac{1}{9}\right)^{\frac{1}{4}}, \left(\frac{1}{4} * \frac{1}{2} * 1 * \frac{1}{9}\right)^{\frac{1}{4}}\right]$$

= [0,2608 , 0,2934 , 0,3433].

Maliyet kriteri için;

$$\tilde{r}_4 = \left(\prod_{j=1}^{4} \check{d}_{4j}\right)^{1/4}$$

$$= \left[(2 * 6 * 9 * 1)^{\frac{1}{4}}, (3 * 7 * 9 * 1)^{\frac{1}{4}}, (4 * 8 * 9 * 1)^{\frac{1}{4}}\right]$$

= [3,2237 , 3,7078 , 4,1195].

Dolayısıyla, tüm kriterlerin bulanık karşılaştırma değerlerinin geometrik anlamları Tablo 5.7'de gösterilmektedir.

Tablo 5.7 Tüm kriterlerin bulanık karşılaştırma değerlerinin geometrik ortalamaları

Kriter	$\tilde{r}_i$		
Kalite	1,5651	1,8481	2,2134
Teslimat	0,4204	0,4974	0,5774
Hizmet	0,2608	0,2934	0,3433
Maliyet	3,2237	3,7078	4,1195

Tablo 5.7 bulunduktan sonra, Bulanık AHP'nin 6. adımı uygulanır. Bu adımda her $\tilde{r}_i$ değerinin vektör toplamını bulunur. Bu toplamda üretilen vekörün (-1) inci kuvveti alınır ve çıkan bulanık sayı artan bir sırayla yazılır. Bu işlem uygulandığında Tablo 5.8'de ters değerler ve artan sıra ile yazılışları gösterilmektedir.

Tablo 5.8 Kriterler için geometrik ortalamaların toplam tersleri ve artan sıra ile gösterilişi

Kriter	$\tilde{r}_i$		
Kalite	1,5651	1,8481	2,2134
Teslimat	0,4204	0,4974	0,5774
Hizmet	0,2608	0,2934	0,3433
Maliyet	3,2237	3,7078	4,1195
Toplam	5,4700	6,3467	7,2536
Toplam Tersleri(-1 kuv.)	0,1828	0,1576	0,1379
Artan Sıra ile	0,1379	0,1576	0,1828

Her bir kriterin bulanık ağırlıklarını bulmak için, tersi bulunan toplamlar ile $\tilde{r}_i$ ler çarpılır.

Kalite kriteri için ağırlık;

$$\widetilde{w_1} = [(1{,}5651 * 0{,}1379), (1{,}8481 * 0{,}1576), (2{,}2134 * 0{,}1828)]$$

$$\widetilde{w_1} = [0{,}2158 \ , 0{,}2913 \ , 0{,}4046],$$

Teslimat kriteri için ağırlık;

$\widetilde{w_2} = [(0{,}4204 * 0{,}1379), (0{,}4974 * 0{,}1576), (0{,}5774 * 0{,}1828)]$

$\widetilde{w_2} = [0{,}0580\ , 0{,}0784\ , 0{,}1055]$,

Hizmet kriteri için ağrılık;

$\widetilde{w_3} = [(0{,}2608 * 0{,}1379), (0{,}2934 * 0{,}1576), (0{,}3433 * 0{,}1828)]$

$\widetilde{w_3} = [0{,}0360\ , 0{,}0462\ , 0{,}0628]$,

Maliyet kriteri için ağırlık;

$\widetilde{w_4} = [(3{,}2237 * 0{,}1379), (3{,}7078 * 0{,}1576), (4{,}1195 * 0{,}1828)]$

$\widetilde{w_4} = [0{,}4445\ , 0{,}5843\ , 0{,}7530]$ elde edilir.

Bu işlemin sonucu Tablo 5.9'da gösterilmektedir.

Tablo 5.9 Kriterlerin bulanık ağırlıkları

Kriter	$\widetilde{w_i}$		
Kalite	0,2158	0,2913	0,4046
Teslimat	0,0580	0,0784	0,1055
Hizmet	0,0360	0,0462	0,0628
Maliyet	0,4445	0,5843	0,7530

7 . adım ise bulanık sayıların, bulanık durulaştırma metotlarından biri kullanılarak, reel sayılar haline dönüştüğü adımdır. Bu adımda kullanılan yöntem alanın merkezi (COA, center of area) yöntemidir ve denklem 6.6'da belirtildiği gibi uygulandığında ve 8. adımdaki gibi çıkan sonuçlar normalleştirildiğinde Tablo 5.10'daki değerler elde edilir,

Tablo 5.10 Kriterlerin ağırlıkları ve normalleşmiş ağırlıkları

Kriter	$\boldsymbol{M_i}$	$\boldsymbol{N_i}$
Kalite	0,3039	0,2960
Teslimat	0,0806	0,0785
Hizmet	0,0483	0,0470
Maliyet	0,5939	0,5785

5.3 Bulanık AHP ile Tedarikçi Alternatiflerinin Ağırlıklarının Belirlenmesi ve Sıralanması

Kriterler için normalleştirilmiş bulanık olmayan ağırlıkları elde ettikten sonra, tedarikçi alternatifi için de ağırlıkları bulmak benzer yol ile sağlanmaktadır. Fakat her kriter için ayrı ayrı tedarikçi alternatifleri sağlanacağından, bu yöntem kriter sayısı arttıkça daha zor ve uğraştırıcı bir yol olacaktır çünkü, hali hazırdaki 4 kriter için ayrı ayrı 4 kere tedarikçi karşılaştırma matrisi hazırlanmalı ve uygulanmalıdır.

Bulunan en önemli ve ana 4 kriter için oluşturulacak karşılaştırma matrisleri ve tedarikçi alternatiflerinin ağırlıkları teker teker bulunmuştur.

- Bu kriterlerden ilki olan kalite kriteri için, tedarikçi alternatifleri Tablo 5.11'de gösterilmiştir.

Tablo 5.11 Kalite kriteri için tedarikçilerin karşılaştırma tablosu

Q #	Ç.G. Öne. (9, 9, 9)	G. Öne. (6, 7, 8)	O. Öne. (4, 5, 6)	Az Öne. (2, 3, 4)	Tedarikçiler	Eşit Önemli (1, 1, 1)	Tedarikçiler	Az Öne. (2, 3, 4)	O Öne. (4, 5, 6)	G Öne. (6, 7, 8)	Ç.G. Öne. (9, 9, 9)
1					T1		T2		✔		
2					T1		T3				✔
3					T2		T3	✔			

Tablo 5.11'e göre oluşturulacak matris ise tablo 5.12'de verilmiştir.

Tablo 5.12 Kalite kriteri için tedarikçilerin karşılaştırma matrisi

Tedarikçiler	**T1**	**T2**	**T3**
T1	(1,1,1)	(1/6,1/5,1/4)	(1/9,1/9,1/9)
T2	(4,5,6)	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)
T3	(9,9,9)	(2,3,4)	(1,1,1)

Kriterler için uygulanan metotolijinin aynısını, tedarikçilerin karşılaştırma matrisleri için uygularsak, T1 tedarikçisi için;

$$\check{r}_1 = \left(\prod_{j=1}^{3} \check{d}_{1j}\right)^{1/3}$$

$$= \left[(1 * 1/6 * 1/9)^{\frac{1}{3}}, \left(1 * 1/5 * \frac{1}{9}\right)^{\frac{1}{3}}, \left(1 * 1/4 * \frac{1}{9}\right)^{\frac{1}{3}}\right]$$

$$= [0{,}2646 \ , \ 0{,}2811 \ , \ 0{,}3029].$$

T2 tedarikçisi için;

$$\check{r}_2 = \left(\prod_{j=1}^{3} \check{d}_{2j}\right)^{1/3}$$

$$= \left[(4 * 1 * 1/4)^{\frac{1}{3}}, (5 * 1 * 1/3)^{\frac{1}{3}}, (6 * 1 * 1/2)^{\frac{1}{3}}\right]$$

= [1,0000 , 1,1856 , 1,4422].

T3 tedarikçisi için;

$$\check{r}_3 = \left(\prod_{j=1}^{3} \check{d}_{3j}\right)^{1/3}$$

$$= \left[(9 * 2 * 1)^{\frac{1}{3}}, (9 * 3 * 1)^{\frac{1}{3}}, (9 * 4 * 1)^{\frac{1}{3}}\right]$$

= [2,6207 , 3,0000 , 3,3019] elde edilir.

Bulanık AHP metoduna devam edersek bu adımda her $\check{r}_i$ değerinin vektör toplamının bulunur. Bu toplamda üretilen vekörün (-1) inci kuvveti alınır ve çıkan bulanık sayı artan bir sırayla yazılır. Bu işlem uygulandığında Tablo 5.13'de ters değerler ve artan sıra ile yazılışları gösterilmektedir.

Tablo 5.13 Kalite kriteri için geometrik ortalamaların toplam tersleri ve artan sıra ile gösterilişi

Tedarikçi	$\check{r}_i$		
T1	0,2646	0,2811	0,3029
T2	1,0000	1,1856	1,4422
T3	2,6207	3,0000	3,3019
Toplam	3,8853	4,4667	5,0470
Toplam Tersleri(-1 kuv.)	0,2574	0,2239	0,1981
Artan Sıra ile	0,1981	0,2239	0,2574

T1 tedarikçisi için ağırlık;

$\widetilde{w_1} = [(0{,}2646 * 0{,}1981), (0{,}2811 * 0{,}2239), (0{,}3029 * 0{,}2574)]$

$\widetilde{w_1} = [\,0{,}0524\ ,\ 0{,}0629\ ,\ 0{,}0780]$.

T2 kriteri için ağırlık;

$\widetilde{w_2} = [(1{,}0000 * 0{,}1981), (1{,}1856 * 0{,}2239), (1{,}4422 * 0{,}2574)]$

$\widetilde{w_2} = [0{,}1981\ ,\ 0{,}2655\ ,\ 0{,}3712]$.

T3 kriteri için ağrılık;

$\widetilde{w_3} = [(2{,}6207 * 0{,}1981), (3{,}0000 * 0{,}2239), (3{,}3019 * 0{,}2574)]$

$\widetilde{w_3} = [0{,}5192\ ,\ 0{,}6717\ ,\ 0{,}8499]$ elde edilir.

Tedarikçilere göre bulanık ağırlıklar Tablo 5.14'de gösterilmiştir.

Tablo 5.14 Tedarikçilerde kalite kriteri için bulanık ağırlıkları

Tedarikçi	$\widetilde{w_i}$		
T1	0,0524	0,0629	0,0780
T2	0,1981	0,2655	0,3712
T3	0,5192	0,6717	0,8499

Bulanık durulaştırma metotlarından biri kullanılarak (COA), reel sayılar haline dönüştürüldüğünde Tablo 5.15 oluşur;

Tablo 5.15 Tedarikçilerin kalite için ağırlıkları ve normalleşmiş ağırlıkları

Tedarikçi	$\breve{M}_i$	$\breve{N}_i$
T1	0,0644	0,0630
T2	0,2783	0,2720
T3	0,6803	0,6650

- Bu kriterlerden ikincisi olan teslimat kriteri için, tedarikçi alternatifleri Tablo 5.16'da gösterilmiştir.

Tablo 5.16 Teslimat kriteri için tedarikçilerin karşılaştırma tablosu

Q #	Ç.G. Öne. (9, 9, 9)	G. Öne. (6, 7, 8)	O. Öne. (4, 5, 6)	Az Öne. (2, 3, 4)	Tedarikçiler	Eşit Önemli (1, 1, 1)	Tedarikçiler	Az Öne. (2, 3, 4)	O Öne. (4, 5, 6)	G Öne. (6, 7, 8)	Ç.G. Öne. (9, 9, 9)
1				✔	T1		T2				
2		✔			T1		T3				
3			✔		T2		T3				

Tablo 5.16'ya göre oluşturulacak matris ise tablo 5.17'de verilmiştir.

Tablo 5.17 Teslimat kriteri için tedarikçilerin karşılaştırma matrisi

Tedarikçiler	T1	T2	T3
T1	(1,1,1)	(2,3,4)	(6,7,8)
T2	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(4,5,6)
T3	(1/8,1/7,1/6)	(1/6,1/5,1/4)	(1,1,1)

Kriterler için uygulanan metotolijinin aynısını, tedarikçilerin karşılaştırma matrisleri için uygularsak, T1 tedarikçisi için;

$$\hat{r}_1 = \left(\prod_{j=1}^{3} \hat{d}_{1j} \right)^{1/3}$$

$$= \left[(1 * 2 * 6)^{\frac{1}{3}}, (1 * 3 * 7)^{\frac{1}{3}}, (1 * 4 * 8)^{\frac{1}{3}} \right]$$

$$= [2{,}2894 \ , \ 2{,}7589 \ , \ 3{,}1748].$$

T2 tedarikçisi için;

$$\hat{r}_2 = \left(\prod_{j=1}^{3} \hat{d}_{2j}\right)^{1/3}$$

$$= \left[(1/4 * 1 * 4)^{\frac{1}{3}}, (1/3 * 1 * 5)^{\frac{1}{3}}, (1/2 * 1 * 6)^{\frac{1}{3}}\right]$$

= [1,0000 , 1,1856 , 1,4422].

T3 tedarikçisi için;

$$\hat{r}_3 = \left(\prod_{j=1}^{3} \hat{d}_{3j}\right)^{1/3}$$

$$= \left[(1/8 * 1/6 * 1)^{\frac{1}{3}}, (1/7 * 1/5 * 1)^{\frac{1}{3}}, (1/6 * 1/4 * 1)^{\frac{1}{3}}\right]$$

= [0,2752 , 0,3057 , 0,3467] değerleri elde edilir.

Bulanık AHP metoduna devam edersek bu adımda her $\hat{r}_i$ değerinin vektör toplamını bulunur. Bu toplamda üretilen vekörün (-1) inci kuvveti alınır ve çıkan bulanık sayı artan bir sırayla yazılır. Bu işlem uygulandığında Tablo 5.18'de ters değerler ve artan sıra ile yazılışları gösterilmektedir.

Tablo 5.18 Teslimat kriteri için geometrik ortalamaların toplam tersleri ve artan sıra ile gösterilişi

Tedarikçi	$\hat{r}_i$		
T1	2,2894	2,7589	3,1748
T2	1,0000	1,1856	1,4422
T3	0,2752	0,3057	0,3467
Toplam	3,5646	4,2502	4,9637
Toplam Tersleri(-1 kuv.)	0,2805	0,2353	0,2015
Artan Sıra ile	0,2015	0,2239	0,2805

T1 tedarikçisi için ağırlık;

$$\widehat{w}_1 = [(2{,}2894 * 0{,}2015), (2{,}7589 * 0{,}2239), (3{,}1748 * 0{,}2805)]$$

$$\widehat{w}_1 = [\,0{,}4613 \;,\; 0{,}6177 \;,\; 0{,}8905].$$

T2 kriteri için ağırlık;

$\widehat{w}_2 = [(1{,}0000 * 0{,}2015), (1{,}1856 * 0{,}2239), (1{,}4422 * 0{,}2805)]$

$\widehat{w}_2 = [0{,}2015\ ,\ 0{,}2655\ ,\ 0{,}4045]$.

T3 kriteri için ağrılık;

$\widehat{w}_3 = [(0{,}2752 * 0{,}2015), (0{,}3057 * 0{,}2239), (0{,}3467 * 0{,}2805)]$

$\widehat{w}_3 = [\ 0{,}0555\ ,\ 0{,}0684\ ,\ 0{,}0972]$ değerleri elde edilir.

Tedarikçilere göre bulanık ağırlıklar Tablo 5.19'da gösterilmiştir.

Tablo 5.19 Tedarikçilerde teslimat kriteri için bulanık ağırlıkları

Tedarikçi	$\widehat{w}_i$		
T1	0,4613	0,6177	0,8905
T2	0,2015	0,2655	0,4045
T3	0,0555	0,0684	0,0972

Bulanık durulaştırma metotlarından biri kullanılarak (COA), reel sayılar haline dönüştürüldüğünde Tablo 5.20 elde edilir;

Tablo 5.20 Tedarikçilerin teslimat için ağırlıkları ve normalleşmiş ağırlıkları

Tedarikçi	$\widehat{M}_i$	$\widehat{N}_i$
T1	0,6565	0,6432
T2	0,2905	0,2846
T3	0,0737	0,0722

- Bu kriterlerden üçüncüsü olan hizmet kriteri için, tedarikçi alternatifleri Tablo 5.21'de gösterilmiştir.

Tablo 5.21 Hizmet kriteri için tedarikçilerin karşılaştırma tablosu

Q #	Ç.G. Öne. (9, 9, 9)	G. Öne. (6, 7, 8)	O. Öne. (4, 5, 6)	Az Öne. (2, 3, 4)	Tedarikçiler	Eşit Önemli (1, 1, 1)	Tedarikçiler	Az Öne. (2, 3, 4)	O Öne. (4, 5, 6)	G Öne. (6, 7, 8)	Ç.G. Öne. (9, 9, 9)
1					T1		T2	✔			
2				✔	T1		T3				
3			✔		T2		T3				

Tablo 5.21'e göre oluşturulacak matris ise tablo 5.22'de verilmiştir.

Tablo 5.22 Hizmet kriteri için tedarikçilerin karşılaştırma matrisi

Tedarikçiler	**T1**	**T2**	**T3**
T1	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(2,3,4)
T2	(2,3,4)	(1,1,1)	(4,5,6)
T3	(1/4,1/3,1/2)	(1/6,1/5,1/4)	(1,1,1)

Kriterler için uygulanan metodolijinin aynısını, tedarikçilerin karşılaştırma matrisleri için uygularsak, T1 tedarikçisi için;

$$\dot{r}_1 = \left(\prod_{j=1}^{3} \dot{d}_{1j} \right)^{1/3}$$

$$= \left[(1 * 1/4 * 2)^{\frac{1}{3}}, (1 * 1/3 * 3)^{\frac{1}{3}}, (1 * 1/2 * 4)^{\frac{1}{3}} \right]$$

$$= [0{,}7937 \ , \ 1{,}0000 \ , \ 1{,}2599].$$

T2 tedarikçisi için;

$$\dot{r}_2 = \left(\prod_{j=1}^{3} \dot{d}_{2j} \right)^{1/3}$$

$$= \left[(2 * 1 * 4)^{\frac{1}{3}}, (3 * 1 * 5)^{\frac{1}{3}}, (4 * 1 * 6)^{\frac{1}{3}} \right]$$

= [2,0000 , 2,4662 , 2,8845].

T3 tedarikçisi için;

$$\dot{r}_3 = \left(\prod_{j=1}^{3} \dot{d}_{3j} \right)^{1/3}$$

$$= \left[(1/4 * 1/6 * 1)^{\frac{1}{3}}, (1/3 * 1/5 * 1)^{\frac{1}{3}}, (1/2 * 1/4 * 1)^{\frac{1}{3}} \right]$$

= [0,3467 , 0,4055 , 0,5000] değerleri elde edilir.

Bulanık AHP metoduna devam edersek bu adımda her $\dot{r}_i$ değerinin vektör toplamının bulunur. Bu toplamda üretilen vekörün (-1) inci kuvveti alınır ve çıkan bulanık sayı artan bir sırayla yazılır. Bu işlem uygulandığında Tablo 5.23'de ters değerler ve artan sıra ile yazılışları gösterilmektedir.

Tablo 5.23 Hizmet kriteri için geometrik ortalamaların toplam tersleri ve artan sıra ile gösterilişi

Tedarikçi	$\dot{r}_i$		
T1	0,7937	1,0000	1,2599
T2	2,0000	2,4662	2,8845
T3	0,3467	0,4055	0,5000
Toplam	3,1404	3,8717	4,6444
Toplam Tersleri(-1 kuv.)	0,3184	0,2583	0,2153
Artan Sıra ile	0,2153	0,2583	0,3184

T1 tedarikçisi için ağırlık;

$$\dot{w}_1 = [(0{,}7937 * 0{,}2153), (1{,}0000 * 0{,}2583), (1{,}2599 * 0{,}3184)]$$

$$\dot{w}_1 = [\ 0{,}1709\ ,\ 0{,}2583\ ,\ 0{,}4012].$$

T2 kriteri için ağırlık;

$$\dot{w}_2 = [(2{,}0000 * 0{,}2153), (2{,}4662 * 0{,}2583), (2{,}8845 * 0{,}3184)]$$

$$\dot{w}_2 = [0{,}4306\ ,\ 0{,}6370\ ,\ 0{,}9184].$$

T3 kriteri için ağrılık;

$\dot{w}_3 = [(0{,}3467 * 0{,}2153), (0{,}4055 * 0{,}2583), (0{,}5000 * 0{,}3184)]$

$\dot{w}_3 = [\,0{,}0746\,,\ \ 0{,}1047\,,\ \ 0{,}1592]$ değerleri elde edilir.

Tedarikçilere göre bulanık ağırlıklar Tablo 5.24'de gösterilmiştir.

Tablo 5.24 Tedarikçilerde hizmet kriteri için bulanık ağırlıkları

Tedarikçi	$\dot{w}_i$		
T1	0,1709	0,2583	0,4012
T2	0,4306	0,6370	0,9184
T3	0,0746	0,1047	0,1592

Bulanık durulaştırma metotlarından biri kullanılarak (COA), reel sayılar haline dönüştürüldüğünde Tablo 5.25 elde edilir;

Tablo 5.25 Tedarikçilerin hizmet için ağırlıkları ve normalleşmiş ağırlıkları

Tedarikçi	$\dot{M}_i$	$\dot{N}_i$
T1	0,2768	0,2632
T2	0,6620	0,6295
T3	0,1128	0,1073

- Bu kriterlerden dördüncüsü olan maliyet kriteri için, tedarikçi alternatifleri Tablo 5.26'da gösterilmiştir.

Tablo 5.26 Maliyet kriteri için tedarikçilerin karşılaştırma tablosu

Q #	Ç.G. Öne. (9, 9, 9)	G. Öne. (6, 7, 8)	O. Öne. (4, 5, 6)	Az Öne. (2, 3, 4)	Tedarikçiler	Eşit Önemli (1, 1, 1)	Tedarikçiler	Az Öne. (2, 3, 4)	O Öne. (4, 5, 6)	G Öne. (6, 7, 8)	Ç.G. Öne. (9, 9, 9)
1					T1		T2	✔			
2					T1		T3			✔	
3					T2		T3		✔		

Tablo 5.26'ya göre oluşturulacak matris ise tablo 5.27'de verilmiştir.

Tablo 5.27 Maliyet kriteri için tedarikçilerin karşılaştırma matrisi

Tedarikçiler	**T1**	**T2**	**T3**
T1	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1/8,1/7,1/6)
T2	(2,3,4)	(1,1,1)	(1/6,1/5,1/4)
T3	(6,7,8)	(4,5,6)	(1,1,1)

Kriterler için uygulanan metotolijinin aynısını, tedarikçilerin karşılaştırma matrisleri için uygularsak, T1 tedarikçisi için;

$$\ddot{r}_1 = \left(\prod_{j=1}^{3} \ddot{d}_{1j} \right)^{1/3}$$

$$= \left[(1 * 1/4 * 1/8)^{\frac{1}{3}}, (1 * 1/3 * 1/7)^{\frac{1}{3}}, (1 * 1/2 * 1/6)^{\frac{1}{3}} \right]$$

$$= [0{,}3150 \ , \ 0{,}3625 \ , \ 0{,}4368],$$

T2 tedarikçisi için;

$$\ddot{r}_2 = \left(\prod_{j=1}^{3} \ddot{d}_{2j} \right)^{1/3}$$

$$= \left[(2 * 1 * 1/6)^{\frac{1}{3}}, (3 * 1 * 1/5)^{\frac{1}{3}}, (4 * 1 * 1/4)^{\frac{1}{3}} \right]$$

= [0,6934 , 0,8434 , 1,0000].

T3 tedarikçisi için;

$$\ddot{r}_3 = \left(\prod_{j=1}^{3} \ddot{d}_{3j} \right)^{1/3}$$

$$= \left[(6 * 4 * 1)^{\frac{1}{3}}, (7 * 5 * 1)^{\frac{1}{3}}, (8 * 6 * 1)^{\frac{1}{3}} \right]$$

= [2,8845 , 3,2711 , 3,6342] elde edilir.

Bulanık AHP metoduna devam edersek bu adımda her $\ddot{r}_i$ değerinin vektör toplamını bulunur. Bu toplamda üretilen vekörün (-1) inci kuvveti alınır ve çıkan bulanık sayı

artan bir sırayla yazılır. Bu işlem uygulandığında Tablo 5.28'de ters değerler ve artan sıra ile yazılışları gösterilmektedir.

Tablo 5.28 Maliyet kriteri için geometrik ortalamaların toplam tersleri ve artan sıra ile gösterilişi

Tedarikçi	$\ddot{r}_i$		
T1	0,3150	0,3625	0,4368
T2	0,6934	0,8434	1,0000
T3	2,8845	3,2711	3,6342
Toplam	3,8929	4,4770	5,0710
Toplam Tersleri(-1 kuv.)	0,2569	0,2234	0,1972
Artan Sıra ile	0,1972	0,2234	0,2569

T1 tedarikçisi için ağırlık;

$\ddot{w}_1 = [(0{,}3150 * 0{,}1972), (0{,}3625 * 0{,}2234), (0{,}4368 * 0{,}2569)]$

$\ddot{w}_1 = [\ 0{,}0621\ ,\ 0{,}0810\ ,\ 0{,}1122].$

T2 kriteri için ağırlık;

$\ddot{w}_2 = [(0{,}6934 * 0{,}1972), (0{,}8434 * 0{,}2234), (1{,}0000 * 0{,}2569)]$

$\ddot{w}_2 = [0{,}1367\ ,\ 0{,}1884\ ,\ 0{,}2569].$

T3 kriteri için ağrılık;

$\ddot{w}_3 = [(2{,}8845 * 0{,}1972), (3{,}2711 * 0{,}2234), (3{,}6342 * 0{,}2569)]$

$\ddot{w}_3 = [\ 0{,}5688\ \ , 0{,}7308\ \ , 0{,}9336]$ değerleri elde edilir.

Tedarikçilere göre bulanık ağırlıklar Tablo 5.29'da gösterilmiştir.

Tablo 5.29 Tedarikçilerde maliyet kriteri için bulanık ağırlıkları

Tedarikçi	$\ddot{w}_i$		
T1	0,0621	0,0810	0,1122
T2	0,1367	0,1884	0,2569
T3	0,5688	0,7308	0,9336

Bulanık durulaştırma metotlarından biri kullanılarak (COA), reel sayılar haline dönüştürüldüğünde Tablo 5.30 elde edilir;

Tablo 5.30 Tedarikçilerin maliyet için ağırlıkları ve normalleşmiş ağırlıkları

Tedarikçi	$\dot{M}_i$	$\dot{N}_i$
T1	0,0851	0,0831
T2	0,1940	0,1895
T3	0,7444	0,7273

Bu açıklamalara dayanarak, her kriter için her bir alternatifin normalleştirilmiş bulanık olmayan bağıl ağırlıkları bulunmuştur ve Tablo 5.31'de gösterilmiştir.

Tablo 5.31 İlgili kriterlere göre tedarikçi puanları ve kriter ağırlıkları

		İlgili Kritere Göre Tedarikçi Puanları		
Kriterler	**Ağırlıklar**	**T1**	**T2**	**T3**
Kalite	0,2960	0,0630	0,2720	0,6650
Teslimat	0,0785	0,6432	0,2846	0,0722
Hizmet	0,0470	0,2632	0,6295	0,1073
Maliyet	0,5785	0,0831	0,1895	0,7273

Daha sonrasında her tedarikçi için ilgili kriterlerin ağırlıkları ve tedarikçinin puanı çarpılıp, bulunan sonuçların toplamı, tedarikçinin genel skorunu vermektedir. Bu işlem T1 için;

$$(0{,}2960 * 0{,}0630) + (0{,}0785 * 0{,}6432) + (0{,}047 * 0{,}2632) + (0{,}5785 * 0{,}0831)$$

$$= \ 0{,}1296,$$

T2 için;

$$(0{,}2960 * 0{,}272) + (0{,}0785 * 0{,}2846) + (0{,}0470 * 0{,}6295) + (0{,}5785 * 0{,}1895)$$

$$= \ 0{,}2421,$$

T3 için;

$$(0{,}296 * 0{,}6650) + (0{,}0785 * 0{,}0722) + (0{,}0470 * 0{,}1073) + (0{,}5785 * 0{,}7273)$$

$$= \ 0{,}6283$$

olarak bulunmuştur. Bu durumda skoru en yüksek olan tedarikçi, en iyi tedarikçi olarak bulunmuştur. Tedarikçilerin sıralanışı Tablo 5.32'deki gibidir.

Tablo 5.32 Tedarikçi skorları ve sıralaması

Tedarikçiler	Toplam Skorlar	Sıralama
T1	0,1296	3
T2	0,2421	2
T3	0,6283	1

5.4 Bulanık DEMATEL Metodu

Bulanık DEMATEL metodunun adımları, Şekil 5.1'deki tedarikçi seçim kriterlerini kullanarak, 2 uzmanın belirlemiş olduğu linguistik değerler ile direkt ilişki matrisleri üzerinden incelenmiştir ve uygulanmaktadır.

1. Adım: Kriterlerin ve linguistik değerlerin belirlenmesi

Bu adım, bulanık DEMATEL metodunun teorik anlatımında Li'nin de kullanmış olduğu (Li, 1999) Tablo 4.6'deki üçgensel bulanık sayılar olarak belirlenmiş ve linguistik değerler Tablo 5.33'de, bu tabloya göre uygulanmaktadır.

Tablo 5.33 Linguistik direkt ilişki matrisi

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
K1	0	DE	OE	YE	OE	DE	OE	DE	YE	ÇYE
K2	OE	0	OE	DE	YE	OE	ÇYE	OE	E	OE
K3	ÇYE	YE	0	OE	OE	ÇYE	OE	ÇYE	YE	DE
K4	DE	ÇYE	ÇYE	0	E	ÇYE	OE	DE	OE	YE
K5	OE	YE	OE	YE	0	OE	OE	E	OE	ÇYE
K6	E	ÇYE	DE	OE	DE	0	DE	OE	DE	OE
K7	ÇYE	E	OE	DE	E	YE	0	ÇYE	OE	DE
K8	DE	ÇYE	OE	YE	OE	OE	OE	0	ÇYE	OE
K9	YE	E	ÇYE	OE	E	YE	DE	OE	0	DE
K10	OE	OE	OE	OE	ÇYE	YE	OE	OE	ÇYE	0

2. Adım: : Bulanık Direkt İlişki Matrisinin Oluşturulması

Bu adımda 2 uzman tarafından belirli kriterlerin direkt ilişki matrisi belirlenmiştir. Bu matrisler, 10×10'luk matrisler olup, Şekil 5.1'de kullanılan kriterler üzerinden belirlenmektedir. DEMATEL metodunun da gereği olarak köşegenler 0 ve kare simetrik olmayan matrisler belirlenmiştir. Bu matrisler Tablo 5.34 ve Tablo 5.35'de verilmiştir.

Tablo 5.34 Direkt ilişki matrisi (uzman 1)

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
K1	0	(0,0,25, 0,50)	(0,25,0, 50,0,75)	(0,50, 0,75, 1,00)	(0,25, 0,50, 0,75)	(0, 0,25, 0,50)	(0,25, 0,50, 0,75)	(0, 0,25, 0,50)	(0,50, 0,75, 1,00)	(0,75, 1,00, 1,00)
K2	(0,25, 0,50, 0,75)	0	(0,25, 0,50, 0,75)	(0, 0,25, 0,50)	(0,50, 0,75, 1,00)	(0,25, 0,50, 0,75)	(0,75, 1,00, 1,00)	(0,25, 0,50, 0,75)	(0, 0, 0,25)	(0,25, 0,50, 0,75)
K3	(0,75, 1,00, 1,00)	(0,50, 0,75, 1,00)	0	(0,25, 0,50, 0,75)	(0,25, 0,50, 0,75)	(0,75, 1,00, 1,00)	(0,25, 0,50, 0,75)	(0,75, 1,00, 1,00)	(0,50, 0,75, 1,00)	(0, 0,25, 0,50)
K4	(0, 0,25, 0,50)	(0,75, 1,00, 1,00)	(0,75, 1,00, 1,00)	0	(0, 0, 0,25)	(0,75, 1,00, 1,00)	(0,25, 0,50, 0,75)	(0, 0,25, 0,50)	(0,25, 0,50, 0,75)	(0,50, 0,75, 1,00)
K5	(0,25, 0,50, 0,75)	(0,50, 0,75, 1,00)	(0,25, 0,50, 0,75)	(0,50, 0,75, 1,00)	0	(0,25, 0,50, 0,75)	(0,25, 0,50, 0,75)	(0, 0, 0,25)	(0,25, 0,50, 0,75)	(0,75, 1,00, 1,00)
K6	(0, 0, 0,25)	(0,75, 1,00, 1,00)	(0, 0,25, 0,50)	(0,25, 0,50, 0,75)	(0, 0,25, 0,50)	0	(0, 0,25, 0,50)	(0,25, 0,50, 0,75)	(0, 0,25, 0,50)	(0,25, 0,50, 0,75)
K7	(0,75, 1,00, 1,00)	(0, 0, 0,25)	(0,25, 0,50, 0,75)	(0, 0,25, 0,50)	(0, 0, 0,25)	(0,50, 0,75, 1,00)	0	(0,75, 1,00, 1,00)	(0,25, 0,50, 0,75)	(0, 0,25, 0,50)
K8	(0, 0,25, 0,50)	(0,75, 1,00, 1,00)	(0,25, 0,50, 0,75)	(0,50, 0,75, 1,00)	(0,25, 0,50, 0,75)	(0,25, 0,50, 0,75)	(0,25, 0,50, 0,75)	0	(0,75, 1,00, 1,00)	(0,25, 0,50, 0,75)
K9	(0,50, 0,75, 1,00)	(0, 0, 0,25)	(0,75, 1,00, 1,00)	(0,25, 0,50, 0,75)	(0, 0, 0,25)	(0,50, 0,75, 1,00)	(0, 0,25, 0,50)	(0,25, 0,50, 0,75)	0	(0, 0,25, 0,50)
K10	(0,25, 0,50, 0,75)	(0,25, 0,50, 0,75)	(0,25, 0,50, 0,75)	(0,25, 0,50, 0,75)	(0,75, 1,00, 1,00)	(0,50, 0,75, 1,00)	(0,25, 0,50, 0,75)	(0,25, 0,50, 0,75)	(0,75, 1,00, 1,00)	0

Tablo 5.35 Direkt ilişki matrisi (uzman 2)

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
K1	0	(0,5, 0,75, 1,0)	(0,75, 1,0, 1,0)	(0,5, 0,75, 1,0)	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0, 0,25)
K2	(0,5, 0,75, 1,0)	0	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)
K3	(0,75, 1,0, 1,0)	(0,5, 0,75, 1,0)	0	(0,5, 0,75, 1,0)	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)	(0,5, 0,75, 1,0)	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)
K4	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)	0	(0,5, 0,75, 1,0)	(0,75, 1,0, 1,0)	(0,5, 0,75, 1,0)	(0,5, 0,75, 1,0)	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)
K5	(0, 0, 0,25)	(0, 0, 0,25)	(0, 0, 0,25)	(0,5, 0,75, 1,0)	0	(0,75, 1,0, 1,0)	(0, 0,25, 0,5)	(0,5, 0,75, 1,0)	(0,5, 0,75, 1,0)	(0, 0,25, 0,5)
K6	(0,5, 0,75, 1,0)	(0, 0,25, 0,5)	(0,5, 0,75, 1,0)	(0,5, 0,75, 1,0)	(0,5, 0,75, 1,0)	0	(0,5, 0,75, 1,0)	(0,5, 0,75, 1,0)	(0,5, 0,75, 1,0)	(0,5, 0,75, 1,0)
K7	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)	(0,5, 0,75, 1,0)	(0,5, 0,75, 1,0)	0	(0,5, 0,75, 1,0)	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)
K8	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)	(0,5, 0,75, 1,0)	(0,5, 0,75, 1,0)	(0,5, 0,75, 1,0)	(0,5, 0,75, 1,0)	(0,5, 0,75, 1,0)	0	(0,5, 0,75, 1,0)	(0, 0,25, 0,5)
K9	(0,5, 0,75, 1,0)	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)	(0,5, 0,75, 1,0)	(0,5, 0,75, 1,0)	(0, 0,25, 0,5)	(0,5, 0,75, 1,0)	0	(0,5, 0,75, 1,0)
K10	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)	(0,5, 0,75, 1,0)	0

3. Adım: Bulanık Verileri Kıvrım Skorlarına (Crisp Scores) Dönüştürme

Bu adımda, denklem 2.39'dan, denklem 2.43'e kadar olan adımlar izlenerek bulanık direkt ilişki matrisleri kıvrım skorlarına dönüştürülerek durulaştırılmış direkt ilişki matrisi bulunur. Tablo 5.34 ve Tablo 5.35 baz alınarak bulunmuş durulaştırılmış direkt ilişki matrisi Tablo 5.36'daki gibidir.

Tablo 5.36 Durulaştırılmış direkt ilişki matrisi

A_{ij}	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
K1	0	0,500	0,7333	0,7333	0,3833	0,2667	0,3833	0,2667	0,5000	0,500
K2	0,6167	0	0,3833	0,2667	0,5000	0,3833	0,6167	0,3833	0,1500	0,3833
K3	0,9667	0,7333	0	0,6167	0,3833	0,6167	0,3833	0,8500	0,5000	0,2667
K4	0,2667	0,6167	0,6167	0	0,3833	0,9667	0,6167	0,5000	0,3833	0,5000
K5	0,2667	0,3833	0,2667	0,7333	0	0,7333	0,3833	0,3833	0,6167	0,6167
K6	0,3833	0,6166	0,5000	0,6166	0,5000	0	0,5000	0,6166	0,5000	0,6166
K7	0,6166	0,1500	0,3833	0,2666	0,3833	0,7333	0	0,8500	0,3833	0,2666
K8	0,2667	0,6167	0,6167	0,7333	0,6167	0,6167	0,6167	0	0,8500	0,3833
K9	0,7333	0,1500	0,6167	0,3833	0,3833	0,7333	0,2667	0,6167	0	0,5000
K10	0,3833	0,3833	0,3833	0,3833	0,6167	0,5000	0,3833	0,3833	0,8500	0

4. Adım: Standartlaştırılmış Direkt İlişki Bulanıklık Matrisi Oluşturma

Bu adımda denklem 4.11'de belirtilmiş olan standartlaştırılmış direkt ilişki matrisi oluşturulmaktadır. Bu adımda elde edilen standartlaştırılmış direkt ilişki matrisi Tablo 5.37'de gösterilmektedir.

Tablo 5.37 Standartlaştırılmış direkt ilişki matrisi

M	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
K1	0	0,0900	0,1321	0,1321	0,0690	0,0480	0,0690	0,0480	0,0900	0,0900
K2	0,1111	0	0,0690	0,0480	0,0900	0,0690	0,1111	0,0690	0,0270	0,0690
K3	0,1741	0,1321	0	0,1111	0,0690	0,1111	0,0690	0,1531	0,0900	0,0480
K4	0,0480	0,1111	0,1111	0	0,0690	0,1741	0,1111	0,0900	0,0690	0,0900
K5	0,0480	0,0690	0,0480	0,1321	0	0,1321	0,0690	0,0690	0,1111	0,1111
K6	0,0690	0,1111	0,0900	0,1111	0,0900	0	0,0900	0,1111	0,0900	0,1111
K7	0,1111	0,0270	0,0690	0,0480	0,0690	0,1321	0	0,1531	0,0690	0,0480
K8	0,0480	0,1111	0,1111	0,1321	0,1111	0,1111	0,1111	0	0,1531	0,0690
K9	0,1321	0,0270	0,1111	0,0690	0,0690	0,1321	0,0480	0,1111	0	0,0900
K10	0,0690	0,0690	0,0690	0,0690	0,1111	0,0900	0,0690	0,0690	0,1531	0

5. Adım: Toplam İlişki Matrisinin Oluşturulması

Bu adımda denklem 4.12'de belirtilmiş olan toplam ilişki matrisi oluşturulmaktadır. Bu adımda elde edilen toplam ilişki matrisi Tablo 5.38'de gösterilmektedir.

Tablo 5.38 Toplam ilişki matrisi

S	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
K1	0,3601	0,4215	0,4808	0,4953	0,3953	0,4840	0,3981	0,4335	0,4552	0,4071
K2	0,4070	0,2896	0,3752	0,3738	0,3688	0,4371	0,3884	0,3962	0,3518	0,3447
K3	0,5894	0,5355	0,4483	0,5677	0,4719	0,6292	0,4766	0,6046	0,5403	0,4465
K4	0,4494	0,4827	0,5062	0,4250	0,4404	0,6435	0,4787	0,5211	0,4862	0,4497
K5	0,4075	0,4088	0,41694	0,5040	0,34098	0,5674	0,4066	0,4592	0,4856	0,4374
K6	0,4634	0,4787	0,4876	0,5236	0,4566	0,4894	0,4583	0,5326	0,5043	0,4659
K7	0,4421	0,3572	0,4179	0,4188	0,3872	0,5378	0,3233	0,5099	0,4326	0,3629
K8	0,4853	0,5114	0,5426	0,5791	0,5061	0,6380	0,5091	0,4756	0,5924	0,4641
K9	0,4896	0,3845	0,4814	0,4652	0,4116	0,5694	0,3933	0,5021	0,3960	0,4240
K10	0,4198	0,3959	0,4244	0,4410	0,4306	0,5171	0,3936	0,4481	0,5106	0,3264

6. Adım: Etkileyen Faktörleri ve Etkilenen Faktörleri Hesaplama

S matrisinin satır ve sütun toplamları, D ve R'yi bulmamızı sağlar. Denklem 4.13'de gösterildiği gibi S matrisine uygulandığında Tablo 5.39'da gösterilmektedir.

Tablo 5.39 Etkileyen ve etkilenen faktörler

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
D	4,3312	3,7332	5,3104	4,8833	4,4348	4,8609	4,1902	5,3040	4,5177	4,3082
R	4,5141	4,2664	4,5817	4,7942	4,2099	5,5133	4,2264	4,8833	4,7554	4,1292
D+R	8,8453	7,9996	9,8921	9,6776	8,6448	10,3742	8,4167	10,1874	9,2731	8,4374
D-R	-0,1828	-0,5332	0,7286	0,0891	0,2249	-0,6524	-0,0362	0,4207	-0,2377	0,1789

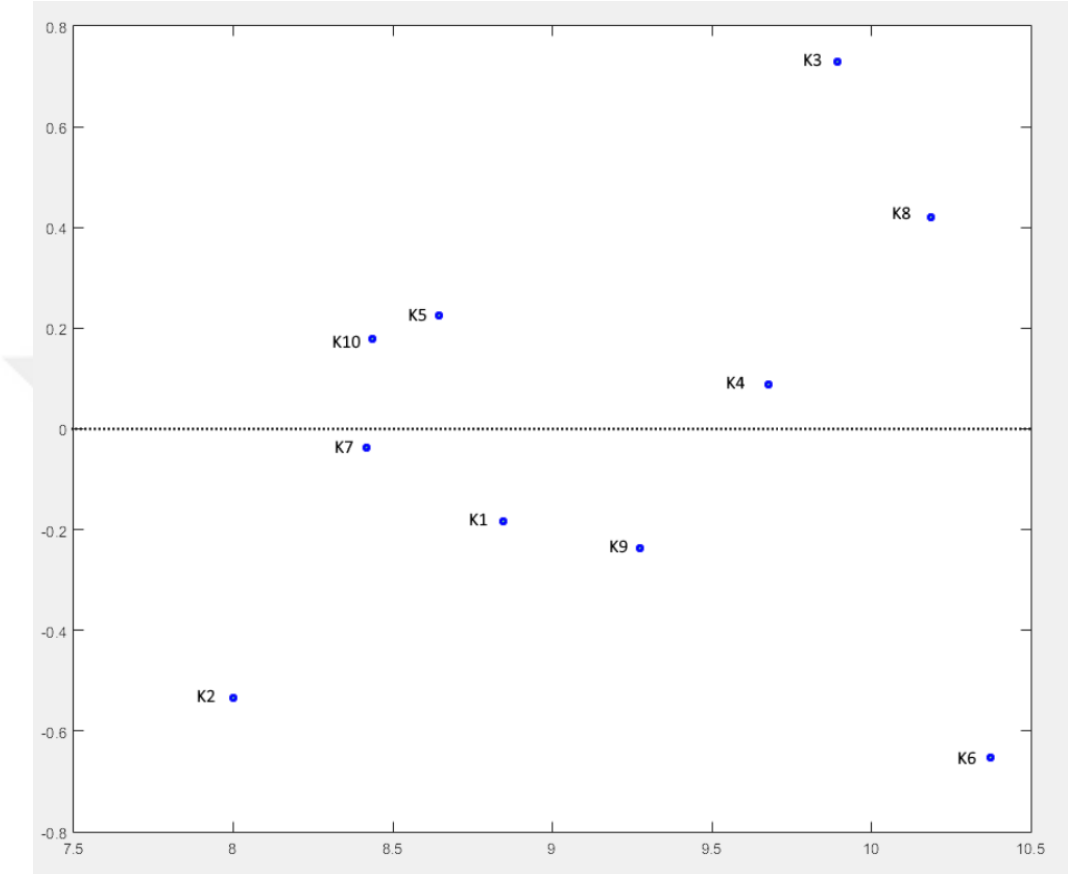
7. Adım: Ağırlıkların Belirlenmesi

Ağırlıklar belirlenirken ise denklem 4.14'den yararlanılır. Ağırlıklar ve kriterlerin sıralaması Tablo 5.40'da gösterilmiştir.

Tablo 5.40 Ağırlıklar ve kriterlerin sıralanması

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
W_i	0,0963	0,08730	0,10801	0,10538	0,0941685	0,1131924	0,09165	0,1110	0,1010	0,09189
Sıralama	6	10	3	4	7	1	9	2	5	8

Sıralamada görüldüğü gibi (D+R),(D-R) ekseninde en önemli ve ağırlığı en çok olan kriter K6 kriteri olarak belirlenmektedir.



Şekil 5.3 Kriterlerin nedensel diyagram olarak gösterimi

Şekil 5.3'de görüldüğü üzere, K3, K4, K5,K8 ve K10 kriterlerinin (D-R) ekseninin altında kalması nedeni ile bu kriterler diğer kriterleri etkileyen kriterlerdir. K1, K2, K6, K7, K9 kriterlerini de bu kriterler tarafından etkilenen kriterler olarak görülebilmektedir.

5.5 Görsel Program

Bulanık mantık, bulanık DEMATEL ve bulanık AHP metotları, örnekler ile denenmiş ve sonucunda, tedarik zinciri elemanlarını seçmek amaçlı bir karar destek sistemi paket programı hazırlanmıştır. Bu program, satın alma, tedarik zinciri, lojistik vb. departmanlarda çalışan uzmanlar veya işletme sahiplerinin, tedarikçi seçimi için birden çok metot ile seçim yapmalarını, tedarik zinciri yönetiminde karar vericiler

için en önemli kriterleri belirlemelerini ve tedarikçilerin bu kriterlere göre sıralanmalarını sağlamaktadır.

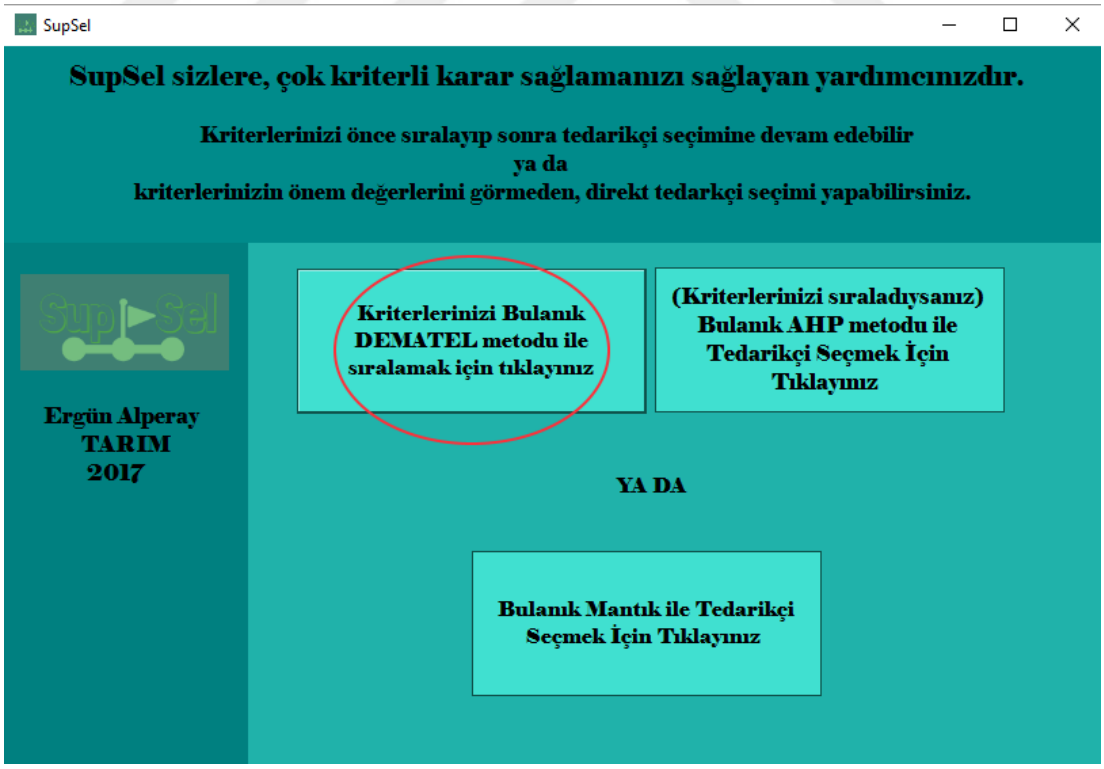
Bu paket programda kullanılan metot ve algoritmalar MATLAB ortamında oluşturulup, uzmanlar yardımı ile denenmiş, Visual Studio görsel programlama aracı ile de oluşturulmuştur.

Programın temel hatları ve işleyişi aşağıda adımlarla verilmektedir;

1. Adım: Kriterlerin Bulanık DEMATEL Metodu ile Sıralanması

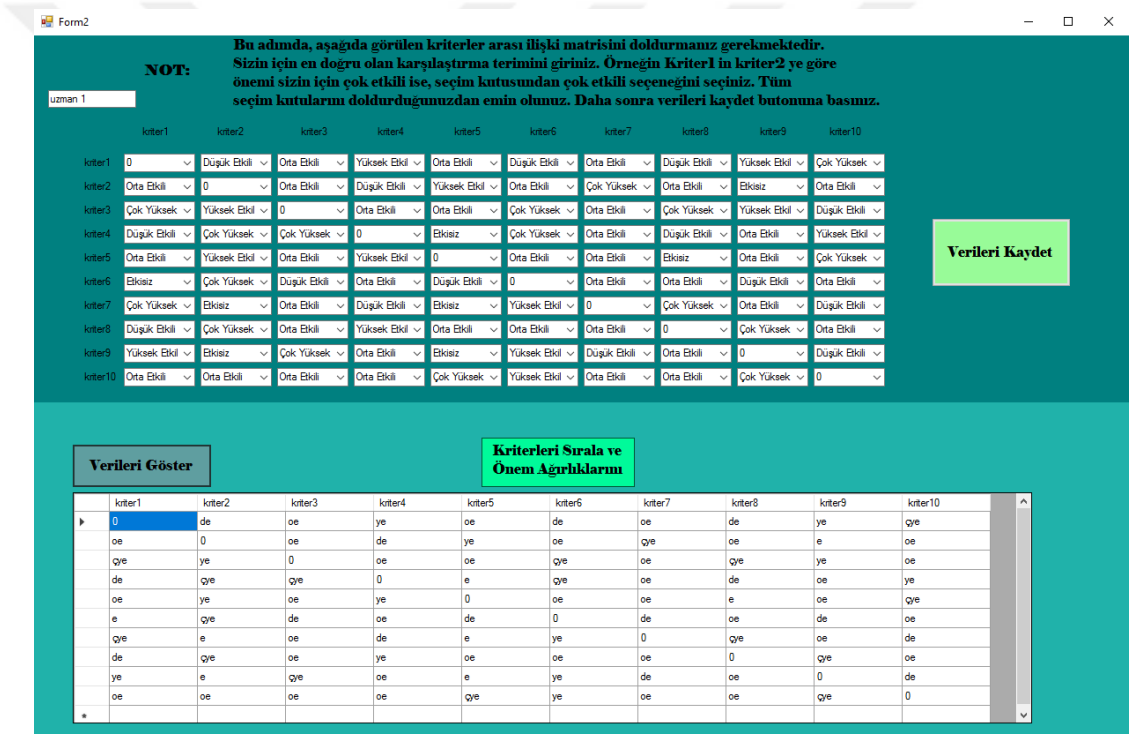
Bu adımda 5. bölümde teorik olarak anlatılan ve 5.4. bölümde örneklenen bulanık DEMATEL metodu kullanılarak kriterler sıralanmaktadır. Bu adım, 5.4. bölümde kullanılan veriler ile denemiştir.

Program açıldıktan sonra, "Kriterlerinizi Bulanık DEMATEL metodu ile sıralayınız" butonuna Şekil 5.4'deki gibi tıklandığında Şekil 5.5'deki pencere açılmaktadır.



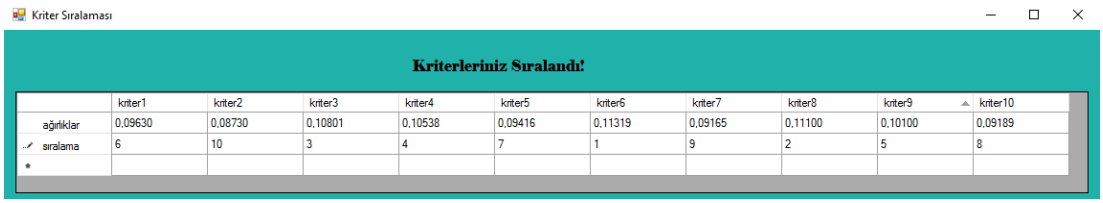
Şekil 5.4 Kriterlerinizi bulanık DEMATEL metodu ile sıralanması

Açılan pencerede bulunan 10×10'luk combo kutu'lardan oluşan matris, linguistik direkt ilişki matrisidir. Bu matris kullanıcı tarafından doldurulmalıdır. Aynı pencerede bulunan "Verileri Kaydet" butonu ile kullanıcının girmiş olduğu matris SQL verisi olarak kaydedilmektedir. "Structured Query Language" yani yapısal sorgulama dili anlamına gelen ve baş harflerinden oluşan SQL, veri tabanı oluşturma ve veri üzerinde işlem yapma programıdır. "Verileri Göster" butonu ile de, kişinin girmiş olduğu veriler, verileri Windows form ortamında göstermek ve veriler üzerinde işlem yapabilmeyi sağlayan datagridview aracında gözükmekte, değişiklik yapılmak veya yeni bir matris girip karşılaştırmak vb. durumlarda bu araçtan yararlanılmaktadır. Tüm bu işlem araçları Şekil 5.5'de gösterilmektedir.



Şekil 5.5 Kriterlerin sıralanması, gösterilmesi ve kaydedilmesi

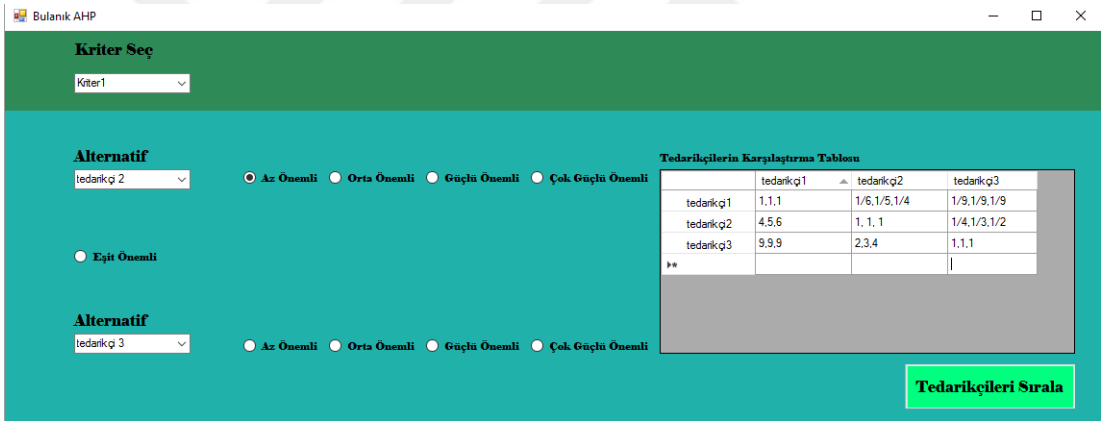
"Kriterleri Sırala ve Önem Ağırlıklarını Belirle" butonuna basıldığında, bulanık DEMATEL metodu ile belirlenmiş ağırlık ve sıralama yeni açılır pencere olarak Şekil 5.6'daki gibi görülmektedir.



Şekil 5.6 Kriterlerin sıralanması

2. Adım: Bulanık AHP Metodu ile Tedarikçi Seçmek

Adım 1'de belirlenen kriterlerin ilk 4'ü, adım 2'de kullanılmektedir. Adım 2'de "Bulanık AHP ile tedarikçi seçme" butonuna basıldığında, yeni açılan pencerede Bulanık AHP için gereken girdiler görülmektedir. Her bir kriter için, alternatif tedarikçilerin karşılaştırma tablosunu oluşturmak için radio butonlardan Şekil 5.7'de gösterildiği gibi faydalanılır. Hangi tedarikçinin değeri kullanıcı için daha ağırlıklı ise, seçilen tedarikçinin hizasındaki buton Şekil 5.7'de görüldüğü gibi işaretlenir.



Şekil 5.7 Tedarikçilerin karşılaştırma tablolarının oluşturulması ve tedarikçileri sıralama

Karşılaştırma tabloları oluşturulduktan sonra "Tedarikçileri Sırala" butonuna basılır ve Şekil 5.8'deki sıralama tablosu oluşur.



Şekil 5.8 Tedarikçilerin sıralanması (FAHP)

Bu iki adım ile tedarikçilerin seçimi ve sıralaması yapılabileceği gibi, bir diğer yöntem olan bulanık mantık ile sıralama bir sonraki adımda anlatılmaktadır.

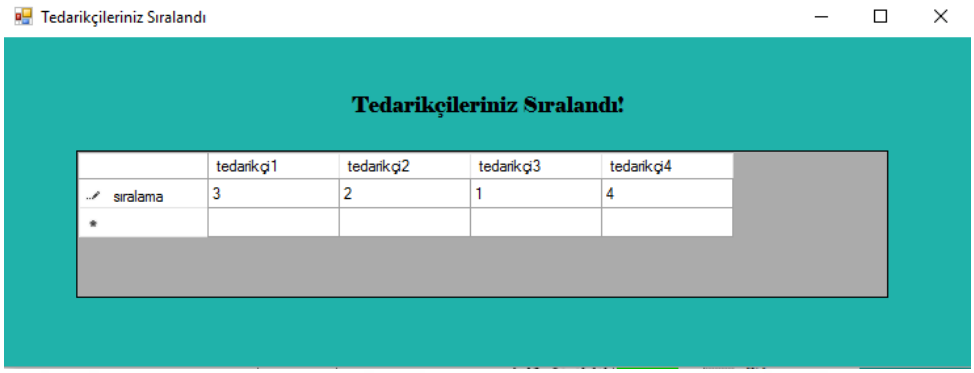
3. Adım: Bulanık Metot ile Tedarikçi Seçimi

Bu adımda Ishizaka (2014)'ün kullandığı bir yöntem olan bulanık mantık ile tedarikçiler sıralanmaktadır. "Bulanık Mantık ile Tedarikçi Seçmek için Tıklayınız" butonuna tıkladıktan sonra Şekil 5.9'daki pencere açılmaktadır. Bu pencerede kullanıcı, hali hazırda eklenmiş hiyerarşik kriter düzeninde, kriterleri "Az, Orta, Güçlü, Çok Güçlü" olarak, karar verici olan yapı üzerindeki etkilerini belirlemektedir. Kriterlerin etkileri ve önemleri belirlendikten sonra, her bir tedarikçi için karşılık gelen kritere göre, tedarikçilerin performansları oylanır.



Şekil 5.9 Kriterlerin önemlerinin ve tedarikçilerin performanslarının belirlenmesi

Bütün gerekli yerler kullanıcı tarafından doldurulduktan sonra “Tedarikçileri Sırala!” butonu ile Şekil 5.10’daki pencere açılmaktadır ve tedarikçiler sıralanmaktadır.



Şekil 5.10 Tedarikçilerin sıralanması (Bulanık Metot)

Bu menüler ile kullanıcı daha rahat ve kullanışlı bir program ile tedarikçi ve kriter seçimini yapabilmektedir. Sonuç olarak hazırlanan program, tedarik zinciri yönetimine yardımcı ve özgünlüğü açısından gerekli bir çalışmadır.

BÖLÜM ALTI
SONUÇ VE ÖNERİLER

Tedarik zinciri yönetimini daha anlamlı kılmak, tedarik zinciri ağı elemanlarını tanımak, onlar arasında seçim yapabilmek, veriler için daha verimli tedarikçiler seçmek ve bu tedarikçileri seçerken, karar vericilere en önemli kriterlerinin neler olduğunu göstermek amacı ile yapılan bu çalışmada, karar vericilere uygulayabilecekleri görsel bir karar destek sistemi oluşturulmaktadır. Bu karar destek sisteminde, çok kriterli karar modelleri uygulanmakta ve bu modeller üzerinden uygulamalar yapılmıştır.

Modelleri bulanıklaştırmadan önce, bulanık küme ve bulanık mantık detaylı incelenmektedir ve açıklanmaktadır. Bulanık küme operatörleri ile işlemlerin nasıl yapılacağı detaylı açıklanarak, modelleri uygulamada izlenecek yollar gösterilmiştir.

Modellerin uygulanacağı tedarik zinciri ve tedarik zinciri yönetimi tanımlanmaktadır ve uygulanacak olan çok kriterli karar verme ve karar destek sistemlerinin hangi adımlardan geçtiği detaylı açıklanmıştır.

Modellerin teorisi ve algoritması adım adım anlatılmaktadır. Uygulama kısmında, uzmanlar yardımı ile elde edilen veriler ile her model teoride anlatılan adımları takip ederek uygulanmaktadır. Bu sayede, tedarik zinciri modelleri detaylı olarak uygulanmakta ve her adımda elde edilen sonuçlar sayesinde tüm algoritmalar açıkça gösterilmiştir.

Bu uygulamalar sonucunda belirlenen veriler üzerinden, bulanık mantık ve bulanık AHP metotları ile tedarik zinciri elemanları olan tedarikçiler performanslarına göre sıralanmaktadır. Ayrıca uzmanlardan elde edilen veriler ile bulanık DEMATEL ve bulanık AHP yöntemleri kullanılarak, tedarikçileri seçmek için gerekli olan kriterlerin önem sırası belirlenmektedir. Metotlar bileşik olarak kullanılmaktadır ve hibrit bir metot elde edilmiştir.

Sonuç olarak, uygulanan bu modeller ile Visual Studio ortamında, karar destek sistemi görsel programı prototipi hazırlanmıştır. Bu programda kriter ve tedarikçi

seçimi, uygun modellerin algoritmaları vasıtasıyla hazırlanmıştır. Bu program ile kullanıcı rahatça tedarikçilerini ve kriterlerini seçebilmektedir.

Programın daha da geliştirilmesi ve ticarileştirilmesi için, bir lojistik firması yöneticisi ile görüşülmüştür ve aynı firma tarafından kullanılacaktır. Programın ticari versiyonunda, kullanıcı kriter isimleri, kriter sayısı, tedarikçi isimleri, tedarikçi sayılarını kendi belirleyecektir ve programın algoritması ve alt yapısı olan modeller kullanıcıya yansıtılmayacaktır. Ayrıca, program kapsamında bir veri tabanı oluşturularak, tedarikçileri ve kriterleri oylayan kullanıcının, hali hazırda birlikte çalıştığı ya da bilgi sahibi olduğu tedarikçi firmalar var ise, bu firmaların skorları bu veri tabanında saklanacaktır. Bu skorlar ile ileriye dönük uluslararası firma verileri olan bir veri tabanı oluşturulması ve bu veri tabanı ile tedarikçi danışmanlığı yapan bir firma kurulması hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

Aksakal, E. ve Dağdeviren, M. (2010). ANP ve DEMATEL yöntemleri ile personel seçimi problemine bütünleşik bir yaklaşım. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 25*(4).

Ayhan, M. (2013), A fuzzy AHP approach for supplier selection problem: a case study in a Gearmotor Company. *International Journal of Managing Value and Supply Chains (IJMVSC) 4*(3), 11-23.

Baker, D., Bridges, D., Hunter, R., Johnson, G., Krupa, J., Murphy, J., ve Sorenson, K. (2002*). Guidebook to decision-making methods*. USA: Department of Energy Press.

Bottani, E., Gentilotti, M. C., & Rinaldi, M. (2017). A fuzzy logic-based tool for the assessment of corporate sustainability: A case study in the food machinery ındustry. *Sustainability*, *9*(4), 583.

Buckley, J. J. (1985). Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy Sets Systems*, *17*(3), 233–247.

Chen, C. T., Lin, C. T. ve Huang, S. F. (2006). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *International Journal of Production Economics*, *102*(2), 289-301.

Christopher, M. (1992). Logistics and supply chain management. *Constructıon & Contract News* (1995) 30-31.

Cooper, M. C. ve Ellram, L. M. (1993). Characteristics of supply chain management and the implications for purchasing and logistics strategy. *The İnternational Journal of Logistics Management*, *4*(2), 13-24.

Cooper, M. C., Lambert, D. M. ve Pagh, J. D. (1997). Supply chain management: more than a new name for logistics. *The İnternational Journal of Logistics Management*, *8*(1), 1-14.

Çınar, Y. (2013). Kariyer tercihi probleminin yapısal bir modeli ve riske karşı tutumlar: Olasılıklı DEMATEL yöntemi temelli bütünleşik bir yaklaşım. *Sosyoekonomi*, *19*(19).

Dey, S., Kumar, A., Ray, A. ve Pradhan, B. B. (2012). Supplier selection: integrated theory using DEMATEL and quality function deployment methodology. *Procedia Engineering*, *38*, 3560-3565.

Dubois, D. J. (1980). *Fuzzy sets and systems: theory and applications*. New York: Academic press.

Forrester, J. W. (1958). Industrial dynamics: A major breakthrough for decision makers. *Harvard Business Review*, *38*, 37-66.

Gabus, A. ve Fontela E. (1972). *World problems an invitation to further thought within the framework of DEMATEL*. Geneva: Battelle Geneva Research Centre.

Gabus, A. ve Fontela, E. (1973). *Perceptions of the world problematique: communication procedure, communicating with those bearing collective responsibility*. Geneva: Battelle Geneva Research Centre.

He, T., Ho, W., Lee Ka Man, C. ve Xu, X. (2012). A fuzzy AHP based integer linear programming model for the multi-criteria transshipment problem. *The International Journal of Logistics Management*, *23*(1), 159-179.

Ho, W., Xu, X. ve Dey, P. K. (2010). Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. *European Journal of Operational Research*, *202*(1), 16-24.

Houlihan, J. B. (1988). International supply chains: A new approach. *Management Decision*, *26*(3), 13-19.

Ishizaka, A. (2014). Comparison of fuzzy logic, AHP, FAHP and hybrid fuzzy AHP for new supplier selection and its performance analysis. *International Journal of Integrated Supply Management*, *9*(1-2), 1-22.

Jang J. R., Sun C. ve Mizutani E. (1997). *Neuro-fuzzy and soft computing, a computational approach to learning and machine intelligence*. New Jersey: Prentice Hall.

Jones, T. ve Riley D. W. (1985). Using inventory for competitive advantage through supply chain management, *International Journal of Physical Distribution and Materials Management, 15* (5), 16-26.

Kahraman C. ve Öztayşi B. (2014). *Supply Chain Management Under Fuzziness*. Berlin: Springer-Verlag.

Kaufmann A. ve Gupta M.M. (1985). *Introduction to Fuzzy Arithmetic*, New York: Van Nostrand Reinhold Company.

Kumar, D., Rahman, Z. ve Chan, F. T. (2017). A fuzzy ahp and fuzzy multi-objective linear programming model for order allocation in a sustainable supply chain: a case study. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, *30*(6), 535-551.

Kwiesielewicz, M. ve Van Uden, E. (2004). Inconsistent and contradictory judgements in pairwise comparison method in the AHP. *Computers & Operations Research*, *31*(5), 713-719.

La Londe, B. J. (1997). Supply chain management: Myth or reality?. *Supply Chain Management Review, 1*, 6-7.

La Londe, B. J. ve Masters, J. M. (1994). Emerging logistics strategies: blueprints for the next century. *International Journal Of Physical Distribution & Logistics Management*, *24*(7), 35-47.

Lambert, D. M., Stock J. R., ve Ellram L. M. (1998). *Fundamentals of Logistics Management*. Boston: Irwin/McGraw-Hill.

Li, C. W. ve Tzeng, G. H. (2009). Identification of a threshold value for the DEMATEL method using the maximum mean de-entropy algorithm to find critical services provided by a semiconductor intellectual property mall. *Expert Systems with Applications*, *36*(6), 9891-9898.

Li, R. J. (1999). Fuzzy method in group decision making. *Computers & Mathematics with Applications*, *38*(1), 91-101.

Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D. ve Zacharia, Z. G. (2001). Defining supply chain management. *Journal of Business logistics*, *22*(2), 1-25.

Moghaddam, N. B., Sahafzadeh, M., Alavijeh, A. S., Yousefdehi, H. ve Hosseini, S. H. (2011). Strategic environment analysis using dematel method through systematic approach. *Management Science and Engineering*, *4*(4), 95-105.

Monczka, R. M., Petersen, K. J., Handfield, R. B. ve Ragatz, G. L. (1998). Success factors in strategic supplier alliances: the buying company perspective. *Decision Sciences*, *29*(3), 553-577.

Nazeri, A., Meftahi, H. ve Shaharoun, A. M. (2011). Supplier evaluation and selection in SCM using Fuzzy AHP. *3rd International Conference on Advanced Management Science IPEDR 19*.

Oğuztimur, S. (2011). Why fuzzy analytic hierarchy process approach for transport problems?. *51st European Regional Science Association Conference Proceedings*.

Opricovic, S. ve Tzeng, G. H. (2003). Defuzzification within a multicriteria decision model. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, *11*(05), 635-652.

Ordoobadi, S. M. (2009). Development of a supplier selection model using fuzzy logic. *Supply Chain Management: An International Journal*, *14*(4), 314-327.

Ross, D. F. (1998). *Competing Through Supply Chain Management*. New York: Chapman & Hall.

Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology, 15*(3), 234-281.

Saaty T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. New York: . McGraw Hill.

Saaty, T. L. (2000). *Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process*. New York: McGraw Hill.

Shieh, J. I., Wu, H. H. ve Huang, K. K. (2010). A DEMATEL method in identifying key success factors of hospital service quality. *Knowledge-Based Systems, 23*(3), 277-282.

Stevens, G. C. (1989). Integrating the supply chain. *International Journal of Physical Distribution & Materials Management*, *19*(8), 3-8.

Tayur, S., Ganeshan, R. ve Magazine, M. (Eds.). (2012). *Quantitative models for supply chain management* (17th ed.). New York: Springer Science & Business Media.

Triantaphyllou, E. (2013). *Multi-criteria decision making methods: a comparative study* (44th ed.). New York: Springer Science & Business Media.

Tzeng, G. H., Chiang, C. H. ve Li, C. W. (2007). Evaluating intertwined effects in e-learning programs: A novel hybrid MCDM model based on factor analysis and DEMATEL. *Expert systems with Applications*, *32*(4), 1028-1044.

Van Laarhoven, P. J. M. ve Pedrycz, W. (1983). A fuzzy extension of Saaty's priority theory. *Fuzzy sets and Systems*, *11*(1-3), 229-241.

Wu, W. W. ve Lee, Y. T. (2007). Developing global managers' competencies using the fuzzy DEMATEL method. *Expert Systems with Applications, 32*(2), 499-507.

Wu, Z. ve Pagell, M. (2011). Balancing priorities: Decision-making in sustainable supply chain management. *Journal of Operations Management*, *29*(6), 577-590.

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control, 8*(3), 338-353.