NÖTROSOFİK BULANIK ÇOK AMAÇLI OPTİMİZASYON TEKNİĞİ VE ÜRETİM PLANLAMASINDA UYGULAMA DENEMESİ

Doktora Tezi

Şule BAYAZİT BEDİRHANOĞLU

Eskişehir 2021

NÖTROSOFİK BULANIK ÇOK AMAÇLI OPTİMİZASYON TEKNİĞİ VE ÜRETİM PLANLAMASINDA UYGULAMA DENEMESİ

Şule BAYAZİT BEDİRHANOĞLU

DOKTORA TEZİ

İşletme Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mahmut ATLAS

Eskişehir

Anadolu Üniversitesi

Sosyal Bilimler Enstitüsü

Aralık 2021

ÖZET

NÖTROSOFİK BULANIK ÇOK AMAÇLI OPTİMİZASYON TEKNİĞİ VE ÜRETİM PLANLAMASINDA UYGULAMA DENEMESİ

Şule BAYAZİT BEDİRHANOĞLU

İşletme Anabilim Dalı
Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Aralık, 2021

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mahmut ATLAS

Dünya, küreselleşme ile birlikte, zaman ve mekân fark etmeksizin küçülmektedir. Küçülme, günlük yaşama artan değişim ve belirsizlik olarak yansımıştır. Bu durum beraberinde rekabet koşullarının ağırlaşmasına ve işletmelerin talepleri karşılamada zorluklar yaşamasına neden olmuştur. Belirsizlik, 20. yüzyılda Zadeh tarafından sunulan bulanık kavramının literatüre girmesinden itibaren yönetilmesi gereken önemli bir kavram halini almıştır. Belirsizliği dikkate alan bulanık mantık, farklı yapılar halinde gelişmekle beraber birçok alanda uygulanmıştır. Nötrosofik bulanık kümeler bu yapılardan biridir. Nötrosofik bulanık kümeler, belirsizliği birbirinden bağımsız doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık bileşenleri ile inceleme imkanı sunmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında, bir üretim işletmesine, nötrosofik bulanık kümeler ile çok amaçlı üretim planlama modeli önerilmiştir. Önerilen model, Eskişehir Organize Sanayi Bölgesinde faaliyette bulunan, beyaz eşya yan sanayi ürünlerini üreten bir üretim işletmesinde uygulanmıştır. Önerilen üretim modelinin amaç fonksiyonları belirsizdir. Model nötrosofik bulanık kümelerin farklı üç yaklaşımı Model I, Model II, Model III ve sezgisel bulanık küme ile LINGO 19.0 paket programı yardımı ile çözülmüştür. Çalışmanın sonunda, nötrosofik bulanık ve sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon modellerinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon modelinin daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Nötrosofik bulanık küme, Sezgisel bulanık küme, Çok amaçlı optimizasyon, Nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon, Üretim planlama.

ABSTRACT

NEUTROSOPHIC FUZZY MULTI-OBJECTİVE OPTIMIZATION TECHNIQUE AND ITS APPLICATION IN PRODUCTION PLANNING

Şule BAYAZİT BEDİRHANOĞLU

Department of Business Administration
Anadolu University Graduate School of Social Sciences, December, 2021

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Mahmut ATLAS

With globalization the world has become smaller as different from time and space. Hereby uncertainty and change in the daily life have increased too. Additionally the conditions of competition have become more difficult and businesses are started to get into difficulties with respect to meeting the demands. The concept of uncertainty has become important with the fuzzy logic proposed by Zadeh in the 20th century. Fuzzy logic that takes uncertainty into the account, has been applied in various fields and being developed in different structures. Neutrosophic fuzzy sets are one of these structures. Neutrosophic fuzzy sets provide opportunity related to considering the uncertainty with independent components of truth, indeterminacy and falsity.

In this thesis a neutrosophic fuzzy sets based multi-objective production planning model is proposed. This proposed model is implemented for an enterprise that produces sub-industry product of white goods and operates in Eskişehir Organized Industrial Zone.

Objective functions of the proposed production model are uncertain. Model is being solved via LINGO 19.0 package software in the context of intuitionistic fuzzy sets and three different approaches (Model I, Model II, Model III) of neutrosophic fuzzy sets. Results of the neutrosophic and intuitionistic fuzzy multi-objective optimization models are compared. Neutrosophic fuzzy multi-objective optimization model gives better result.

Keywords: Neutrosophic fuzzy set, Intuitionistic fuzzy set, Multi-objective optimization, Neutrosophic fuzzy multi-objective optimization, Production planning.

TEŞEKKÜR

Doktora tez çalışmamım yürütülmesi sırasında, çalışmaya başladığımız ilk günden itibaren desteğini esirgemeyen, sadece akademik anlamda değil, sosyal ve insani yönüyle her zaman yanımda olan, her alanda örnek aldığım değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Mahmut ATLAS'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez izleme komitesinde yer alan ve tezimin her aşamasında, bilgi, destek ve katkılarını esirgemeyen kıymetli hocalarım Prof. Dr. Gülnur KECEK ve Doç. Dr. Ali ÖZDEMİR'e, değerli katkıları ile tez savunma komitesinde bulunan kıymetli hocalarım Prof. Dr. Nuray GİRGİNER ve Prof. Dr. Namık Kemal ERDOĞAN'a teşekkür ederim.

Çalışma sürecimin her aşamasında yanımda olan yol arkadaşım, kıymetlim, meslektaşım, eşim Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Erkan BEDİRHANOĞLU'na varlığın ve desteğin için teşekkür ederim.

Hayatımın her anında desteğini esirgemeyen başta annem Handan BAYAZİT ve babam Mehmet BAYAZİT ve kardeşlerime, duasını her zaman yanımda hissettiğim babaannem Süheyla BAYAZİT'e teşekkür ederim.

Bu çalışmamı, hayatımı öncesi ve sonrası diye iki kısma ayıran, oyun saatlerinden çaldığım, birlikte büyüdüğüm, nefesim, sarıpapatyam, biricik kızım SERRA'ma, doktora sürecimin son dönemlerine tanık olan minik insan tanesi, biricik oğlum BENNA'ma ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI ..... **i**
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI ..... **ii**
ÖZET ..... **iii**
ABSTRACT ..... **iv**
TEŞEKKÜR ..... **v**
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ ..... **vi**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
TABLOLAR DİZİNİ ..... **ix**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **x**
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... **xi**
GİRİŞ **1**

BİRİNCİ BÖLÜM

1. BULANIK YAPILAR **4**
1.1. Bulanık Mantık **4**
1.1.1. Bulanık mantığın tarihsel gelişimi **6**
1.1.2. Bulanık küme **7**
1.1.3. Üyelik fonksiyonları **9**
1.1.4. Bulanık küme işlemleri **14**
1.2. Sezgisel Bulanık Küme **17**
1.3. Sezgisel Bulanık Küme İşlemleri **20**
1.4. Nötrosofi Kavramı **24**

İKİNCİ BÖLÜM

2. NÖTROSOFİK BULANIK ÇOK AMAÇLI OPTİMİZASYON **25**
2.1. Nötrosofik Bulanık Mantık **25**
2.2. Nötrosofik Bulanık Kümelerin Tarihçesi **27**
2.3. Nötrosofik Bulanık Küme **29**
2.4. Nötrosofik Bulanık Küme İşlemleri **34**
2.5. Bulanık Yapıların Karşılaştırılması **36**
2.6. Karar Verme Süreci **36**
2.7. Sezgisel Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği **40**

2.8. Nötrosofik Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği 47
2.9. Literatür Taraması 57

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3.ÜRETİM PLANLAMASINDA NÖTROSOFİK BULANIK ÇOK AMAÇLI OPTİMİZASYON TEKNİĞİ VE UYGULAMA DENEMESİ 62
3.1. Uygulama Yapılan Üretim İşletmesinin Yapısı ve Tanıtımı 62
3.2. Karar Probleminin Tanımlanması 65
3.3. Çok Amaçlı Üretim Modelinin Kurulumu ve Çözümü 65
3.3.1. Üretim modelinin nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ile kurulumu ve çözümü 79
3.3.1.1. *Üretim modelinin nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği model I yaklaşımı ile kurulumu ve çözümü* 83
3.3.1.2. *Üretim modelinin nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği model II yaklaşımı ile kurulumu ve çözümü* 87
3.3.1.3. *Üretim modelinin nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği model III yaklaşımı ile kurulumu ve çözümü* 91
3.3.2. Üretim modelinin sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ile kurulumu ve çözümü 95
3.4. Nötrosofik Bulanık ve Sezgisel Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniklerinin Çözümlerinin Karşılaştırılması 101
SONUÇ 105
KAYNAKÇA 108
EKLER
ÖZGEÇMİŞ

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 1.1. Sezgisel Bulanık Küme İşlemleri 21
Tablo 2.1. Bulanık Yapıların Karşılaştırılması 36
Tablo 2.2. Karar Matrisi 39
Tablo 2.3. Ödünleşme Matrisi 42
Tablo 2.4. Maksimizasyon Yapılı Sezgisel Bulanık Üyelik Fonksiyonlarının Alt ve Üst Limitlerinin Belirlenmesi 42
Tablo 2.5. Minimizasyon Yapılı Sezgisel Bulanık Üyelik Fonksiyonlarının Alt ve Üst Limitlerinin Belirlenmesi 43
Tablo 2.6. Maksimizasyon Amaçlı Nötrosofik Bulanık Üyelik Fonksiyonu Alt ve Üst Değerlerinin Belirlenmesi 52
Tablo 2.7. Minimizasyon Amaçlı Nötrosofik Bulanık Üyelik Fonksiyonu Alt ve Üst Değerlerinin Belirlenmesi 52
Tablo 3.1. Üretim Planı Ödünleşme Matrisi 80
Tablo 3.2. Üretim Modeli Nötrosofik Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği Model I Yaklaşımı Çözüm Kümesi 85
Tablo 3.3. Üretim Modeli Nötrosofik Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği Model II Yaklaşımı Çözüm Kümesi 89
Tablo 3.4. Üretim Modeli Nötrosofik Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği Model III Yaklaşımı Çözüm Kümesi 93
Tablo 3.5. Üretim Modeli Sezgisel Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği Çözüm Kümesi 99
Tablo 3.6. Amaç Fonksiyonlarının Çözüm Tekniklerine Göre Karşılaştırmalı Sonuçları 102

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Üyelik Fonksiyonunun Kısımları 10
Şekil 1.2. Tekil Üyelik Fonksiyonu 11
Şekil 1.3. Üçgen Üyelik Fonksiyonu 11
Şekil 1.4. Yamuk Üyelik Fonksiyonu 12
Şekil 1.5. Gaussian Üyelik Fonksiyonu 13
Şekil 1.6. Çan Eğrisi Üyelik Fonksiyonu 14
Şekil 1.7. Bulanık Kümelerde Birleşim İşlemi 15
Şekil 1.8. Bulanık Kümelerde Kesişim İşlemi 15
Şekil 1.9. Bulanık Kümelerde Tümleme İşlemi 16
Şekil 1.10. Sezgisel Bulanık Kümelerde Üyelik Fonksiyonları 19
Şekil 1.11. Sezgisel Bulanık Küme Tereddütlük Düzeyi 20
Şekil 2.1. Nötrosofik Bulanık Kümelerin Diğer Kümeler ile İlişkisi 29
Şekil 2.2. Karar Verme Tekniklerinin Sınıflandırılması 38
Şekil 2.3. Maksimizasyon Yapılı Sezgisel Bulanık Kümelerde Üyelik Fonksiyonları 44
Şekil 2.4. Minimizasyon Yapılı Sezgisel Bulanık Kümelerde Üyelik Fonksiyonları 45
Şekil 2.5. Maksimizasyon Yapılı Nötrosofik Bulanık Kümelerde Üyelik Fonksiyonları 54
Şekil 2.6. Minimizasyon Yapılı Nötrosofik Bulanık Kümelerde Üyelik Fonksiyonları 55
Şekil 3.1. Beyaz Eşya Plastik Ürünleri Üretim İşletmesinde İş Akış Diyagramı 64
Şekil 3.2. Üretim Modeli Çözüm Teknikleri 78

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

α Alfa

β Beta

γ Gama

λ Lambda

μ Mü

σ Sigma

$\tilde{A}$ Bulanık Küme

A^{I} Sezgisel Bulanık Küme

$A^{\tilde{N}}$ Nötrosofik Bulanık Küme

F Yanlışlık Üyelik Yüzdesi

Hgt Yükseklik

I Belirsizlik Üyelik Yüzdesi

T Doğruluk üyelik yüzdesi

Supp Support (destek)

$\mu_A(x)$ A kümesinde bir x elemanının üyelik derecesi

$v_A(x)$ A da bir x elemanının üye olmama derecesi

μ_{A^I} Sezgisel Bulanık A kümesinde bir x elemanının üye olma derecesi

v_{A^I} Sezgisel Bulanık A kümesinde bir x elemanının üye olmama derecesi

$\mu_{A^{\tilde{N}}}$ Nötrosofik Bulanık A kümesinde bir x elemanının doğruluk üyelik derecesi

$\sigma_{A^{\tilde{N}}}$ Nötrosofik Bulanık A kümesinde bir x elemanının belirsizlik üyelik derecesi

$v_{A^{\tilde{N}}}$ Nötrosofik Bulanık A kümesinde bir x elemanının yanlışlık üyelik derecesi

<A> Kavram, nitelik, fikir gibi bir öğe

<Anti A> <A> öğesinin Karşıtı

<Neut-A> <A> ve <Anti A> ile ilişkili öğe

GİRİŞ

Günlük yaşam, küresel hareketliliğin altında çeşitli değişikliklerle devam etmektedir. İnsan ihtiyaçlarının ve tercihlerinin sürekli değişmesi ve gelişmesine bağlı olarak, üretici tarafı üretim sürecini ve ürünlerini yenileme, ürünlerini hızlı bir biçimde üretme, talebi karşılama, maliyeti en az düzeyde tutma gibi durumlar ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu karmaşık ve belirsiz ortamda işletmeler rakiplerine karşı daha güçlü olmak zorundadır.

Üretim; mal ve hizmet üreten, tedarik edenler ile bunları talep eden işletme, kuruluş ve kişileri bir arada tutan işlemler bütünüdür. Üretim sonucu ortaya çıkan ürün ekonomik anlamda fayda yaratmaktadır. Modern dünya ekonomik şartları, artan rekabet ve teknolojik gelişmeler ile ortaya çıkan e-ticaret ve beraberinde sanal pazarlar işletmelerin işini oldukça zorlaştırmaktadır. İşletmeler aynı anda birden çok ve çoğu zaman birbiri ile çelişen amaçlar altında faaliyette bulunmak zorunda kalmaktadır.

İşletmeler, müşterilerin taleplerini, istenilen özellik ve ölçülerde, istenilen zamanda yerine getirerek rekabet savaşına bir adım önde devam edebilmektedir. Bu durum, üretimin planlar dâhilinde gerçekleştirilmesi ile mümkün olmaktadır. Planlama, mevcut durumu bilerek, var olan kaynakları en iyi biçimde kullanma ve hedeflere ulaşma süreci olarak işletmeler için hayati derecede önem arz etmektedir. Üretim planlama ise en yalın hali ile hangi ürünün, ne miktarda, ne zaman üretileceğinin belirlenmesi faaliyetleridir.

İnsan ihtiyaç ve tercihlerinde yaşanan değişiklikler ve üretim sürecinde yaşanan sapmalar gibi nedenler üretim sisteminde belirsizliğe neden olmaktadır. İşletmeler, belirsizliğin olduğu böylesi durumlarda bir yandan yaşanan karmaşanın üstesinden gelmeye diğer yandan da birden çok amaç altında faaliyetlerini devam ettirmeye çalışmaktadır. Bu faaliyetlerin gerçekleştirilmesi sırasında bir takım belirsizliklerin ortaya çıkması kaçınılmazdır.

Belirsizlik; bir durum hakkında bilginin eksik, yanlış, hatalı olması durumudur. Belirsizliğin temelini insanın dış dünyadan aldığı bilgi oluşturmaktadır. Belirsizlik; bir değişkenin, olgunun değeri hakkında, alınacak karar ve çıkarılacak sonuç hakkında şüpheye neden olmaktadır. Belirsizlik karar mekanizmasının çalışmasına engel olmaktadır. İşletmelerin başarısı, belirsizlikleri ne kadar iyi bir şekilde karşılayabildiği ile orantılıdır. Belirsiz dünya koşullarında arz eden ile talep edenlerin beklentilerini karşılamak klasik yaklaşımlar ile neredeyse imkânsız olmaktadır. Klasik yaklaşımların

eksikliği, belirsizliği mümkün olan en iyi şekilde bilinir kılabilen bulanık yapılar ile tamamlanmaktadır.

Bulanık yapılar, karar vericilerin belirsizliği mümkün olduğu kadar dikkate almasını ve kararların doğru zamanda doğru bir biçimde verilmesini sağlamaktadır. Üretim planlarının yapılması ve faaliyete geçirilmesi sürecinde gittikçe artan önemle, klasik yaklaşımların yetersiz kaldığı durumları tamamlayan bulanık yapılar; bulanık küme, sezgisel bulanık küme ve nötrosofik bulanık küme olarak gelişen bir sıralama göstermektedir.

Bu çalışmanın amacı, bir üretim işletmesindeki, üretim planlamasının, nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ile gerçekleştirilebildiğini göstermektir. Bu amaç kapsamında çalışmada, bulanık ve sezgisel bulanık kümelerin genellemesi olarak literatüre sunulan, nötrosofik bulanık kümeler ile çok amaçlı optimizasyon tekniği uygulanmıştır. Uygulama nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniğinin Model I, Model II ve Model III gibi üç farklı yaklaşımı ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca uygulama, nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniğinin etkinliğini ölçmek amacıyla sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ile de gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde, bulanık yapılar altında, bulanık mantık ve bulanık mantığın ortaya çıkışı, bulanık küme teorisi ve işleyişi ile bulanık kümenin genellemesi olan sezgisel bulanık küme konusu işlenmiştir. Bölüm sonunda nötrosofik bulanık mantığın çıkış kaynağı olan nötrosofi kavramına değinilmiştir.

İkinci bölümde nötrosofik bulanık küme detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Karar verme ve çok amaçlı karar verme kavramlarından kısaca bahsedildikten sonra, sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ve nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniğinin üç farklı yaklaşımı tanıtılmıştır. Üretim ve üretim planlama sürecinin genel işleyişinden bahsedildikten sonra, bölüm sonunda nötrosofik bulanık küme ile yapılan çalışmalardan oluşan geniş literatür taramasına yer verilmiştir.

Tez çalışmasının son bölümünü oluşturan üçüncü bölümde ise beyaz eşya yan sanayi sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin üretim planlaması, nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ile ele alınmıştır. Oluşturulan üretim planı nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniğinin üç farklı yaklaşımına yönelik modeller ile çözümlenmiştir. Aynı zamanda üretim planı, nötrosofik bulanık kümelerin etkinliğini

ortaya koymak için, sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ile modellenmiş ve çözümlenmiştir.

Sonuç kısmında; model çıktılarına yönelik uygulama sonuçları karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir. Üretim planlama probleminin gerçekleştirilmesinde uygulanan, nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniğinin Model I, Model II, Model III yaklaşımları ve sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ile elde edilen sonuçlar ortaya konulmuş ve karşılaştırılmıştır. Böylelikle üretimlerini bir planlama çerçevesinde gerçekleştirecek işletmelere, belirsizlik durumlarını mümkün olabildiğince dikkate alabilecekleri çok amaçlı optimizasyon tekniği kullanımını içeren model önerileri sunulmuştur.

BİRİNCİ BÖLÜM

1. BULANIK YAPILAR

Günlük yaşamda veya kurumsal düzeyde bireyler ya da topluluklar çoğunlukla belirsiz durumlarla karşı karşıyadır. Böylesi belirsizliklerin etkin biçimde işleme alınmasında bulanık mantık önemli yer edinmiştir. Bu kapsamda çalışmanın bu bölümünde bulanık yapılar ve uzantıları olan, bulanık mantık, bulanık kümeler, üyelik fonksiyonları ve sezgisel bulanık küme konuları ele alınacaktır. Bölüm sonunda ise bu alanda yeni bir kavram olan nötrosofi kavramına değinilecektir.

1.1. Bulanık Mantık

Günlük yaşamda kesin olarak bilinmeyen, kesin olarak kabul edilemeyen ancak kesinmiş gibi düşünülmekle birlikte net bir biçimde ifade edilemeyen birçok durumla karşılaşılmaktadır. İnsanlar durumları ifade ederken "hava bugün çok soğuk", "Mehmet Ali'den çok az uzundur" "araba hızlı" gibi kesinlik içermeyen kavramları kullanırlar. Çok, çok az, soğuk, sıcak, uzun, kısa gibi dilsel ifadeler, belirsiz durumları ifade etmektedir. Bu tür kesin gibi görünen durumlar, gerçekte kesin olmayıp, yaklaşık ve belirli sınırlar içinde yer almaktadır. Belirsizliğin söz konusu olduğu bu gibi durumlarda "bulanık" kavramı ortaya çıkmaktadır.

Bulanık kavramı, Türk Dil Kurumu sözlüğünde, duru olmayan, açık seçik görünmeyen, niteliği tam olarak anlaşılmayan anlamında ifade edilmektedir[1]. Belirsizlik ve devamında bulanıklık kavramları yakın tarihte Zadeh tarafından ortaya çıkarılmış olsa da temeli, mantığı ilk defa sistematik olarak ele alan Aristoteles'e dayanmaktadır. M.Ö. 384-322 yılları arasında yaşayan yunan Filozofu Aristoteles, olayları "doğru-yanlış", "evet- hayır","0-1" gibi iki değerli klasik mantık sistemi ile kesin çizgilerle ifade etmiştir. Aristo mantığı adı verilen klasik mantık; olmak ya da olmamak temeline dayanmaktadır. Aristo mantığına göre bir durumun varlığı veya doğruluğu "1", yokluğu veya yanlışlığı "0" şeklinde kesin olarak belirlidir.

Gerçek dünyada ekonomik, sosyal, siyasi pek çok belirsiz durumla karşılaşılmaktadır. Karmaşık sistemleri klasik yöntemler ile açıklamak oldukça güçtür. Belirsiz ve kesinlikten uzak insan düşünce yapısı ile karar verme ve problem çözme süreçlerinde klasik mantık yetersiz kalmaktadır. Bilgi eksikliği, klasik mantığın

[1] https://sozluk.gov.tr/ Erişim Tarihi:05.05.2021

modellemede yetersiz kalması gibi durumlarda belirsizlikle başarı sağlayabilmek için bulanık mantık kavramı geliştirilmiştir (Keskenler & Keskenler, 2017, s. 8).

Bulanık mantık ile ilgili ilk çalışma 1965'de Azeri asıllı akademisyen Lotfi Asker Zadeh tarafından yapılmıştır. Zadeh yayınladığı "Bulanık Kümeler" isimli çalışmasında, insan düşünce yapısının büyük kısmının kesin olmadığını, bulanık olduğunu ifade etmiştir (Zadeh, 1965). Zadeh' e göre insanlar olaylar ile ilgili görüşlerini, sayısal veriler yerine, günlük konuşma dilinde kullanılan dilsel terimler ile ifade etmektedir. İnsanların dilsel terimleri kullandığı düşünme ve karar mekanizmaları ise farklı algı ve yorumlamalara neden olmaktadır. Düşünce yapısındaki bu farklılıklarda belirsizliği ortaya çıkarmaktadır. Belirsizliğin klasik yaklaşımlar ile modellenmesi oldukça zordur. Zadeh tarafından önerilen bulanık mantık teorisi ile belirsizlik kolaylıkla modellenebilmektedir.

Bulanık mantığı, klasik mantıktan ayıran en önemli fark, bulanık mantığın belirsiz ve kesin olmayan ortamlarda insanların akılcı kararlar alabilmesine yardımcı olmasıdır (Zadeh, 1988, s. 83). Klasik mantık teorisinde evet, hayır, kapalı, açık gibi klasik net ifadeler kullanılırken, bulanık mantık teorisinde orta, yüksek, düşük gibi ara değerler kullanılmaktadır (Dağdeviren , 2007, s. 793).

Zadeh tarafından geliştirilen bulanık mantığın temel özellikleri aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir (Zadeh, 1996, s. 89; Jang & Gulley , 1997, s. 5-6; Elmas, 2003, s. 25-26):

- Bulanık mantıkta kesin akıl yürütme yerine, yaklaşık akıl yürütme söz konusudur.
- Bulanık mantıkta her şey derecelendirilmektedir.
- Herhangi bir mantık sistemi bulanıklaştırılabilmektedir.
- Bulanık mantıkta bilgi, bir değişken grubunda esnek veya eşdeğer olarak bulanık kısıtlayıcılar ile yorumlanabilmektedir.
- Bulanık mantıkta herhangi bir ifade [0,1] aralığında değer alan belirli bir üyelik derecesi ile gösterilebilmektedir.
- Bulanık mantıkta bilgi, az, çok, kısa, uzun, küçük, büyük gibi dilsel ifadeler ile tanımlanmaktadır.
- Bulanık mantık, matematiksel modeli çok karmaşık olan sistemler için kolay ve uygun bir yöntemdir.
- Bulanık mantık esnektir.

- Bulanık mantık karmaşık sistemlerin matematiksel modellemesi için uygulanabilir bir yaklaşım sunar.
- Bulanık mantık bilginin eksik olduğu, bilgiye tam olarak ulaşılamadığı durumlarda, eksik girilen bilgilere karşı toleranslıdır.
- Bulanık mantık, uzman deneyimlerini dikkate almaktadır. Sistemi anlayan ve tanıyan kişilerin süreçlere aktif olarak katılımını sağlamaktadır.
- İnsan ilişkileri ve insan konuşma dili bulanık mantığın aracı olmuştur. Bulanık mantık, doğal konuşma dili üzerine kurulmuştur.
- Bulanık mantık, geleneksel yöntemler ile birlikte çeşitlendirilmiştir. Bulanık mantık ile geleneksel yöntemlerin uygulanması basitleştirilip etkileri artırılmıştır.

1.1.1. Bulanık mantığın tarihsel gelişimi

Mantık, akıl yürütmenin doğru bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlayan ilkeleri inceleyen bir çalışma disiplinidir. Felsefenin bir dalı olarak ortaya çıkan mantık, zamanla bilimsel bir uzmanlık alanı haline gelmiştir. Mantık bir disiplin olarak Aristoteles döneminde ortaya çıkmıştır. Farabi, İbn-i Sina, Platon gibi düşünürler de bu disipline katkı sağlayan önemli isimler arasında yer almaktadır.

Aristoteles ve çağdaşları tarafından "Düşüncenin Yasaları" oluşturulmuştur. Bu yasalara göre, iki terimin karşılaştırılması ile ortaya çıkan bir önerme ya doğru ya da yanlıştır. (McCosh, 1991, s. 93). Buna karşın yakın dönemde yaşayan Heraclitus, bir önermenin hem doğru hem de yanlış olabileceğini ileri sunmuştur (Hellmann, 2001, s. 1). Bir önermenin hem doğru hem yanlış olabileceği muğlaklığı ve bulanıklığı ifade etmektedir.

Bulanık mantık ile ilgili ilk çalışmaların Platon tarafından yapıldığı görülmektedir. Platon, doğru ve yanlışın ötesinde üçüncü bir bölgenin olduğunu belirtmiştir. Daha sonra Hegel, Marx, Engels gibi düşünürler benzer düşünceleri ifade etmişlerdir.

Yakın tarihimizde Lukasiewicz (1920), iki değerli Aristo mantığına, sistematik olarak alternatif öneren ilk kişidir. Lukasiewicz'e göre doğru ve yanlış önermeler arasında sınırsız sayıda değer vardır. Başlangıçta kabul görmeyen bu iddia, bulanık mantığa giden yolu açmıştır (Hellmann, 2001, s. 1; Tosun, 2015, s. 27).

1920'lerde Russell, Lukasiewiz'den bağımsız olarak ikili mantığın 0 ve 1 arasında kesirli değerler alabileceği, çok değerli mantığı önermiştir. 1937'de Ünlü fizikçi Max

Black, “Philosophy of Scienc” (Bilim Felsefesi) isimli makalesinde nesnelere çok değerli mantığı uygulamış ve ilk bulanık küme eğrilerini çizmiştir (Kosko & Isaka, 1993, s. 77).

Günümüzde bilinen bulanık mantık literatürüne en güçlü katkının Zadeh tarafından yapıldığı kabul edilmektedir. Zadeh (1965) bulanık mantığı önermekle birlikte sistemin uygulanması için gerekli matematiksel tekniği de geliştirmiştir. Bulanık mantık günümüzde, bulanık küme teorisinin bir alt disiplini olarak ele alınmaktadır (Tekin & Karanfil , 1995, s. 6).

Belirsizlik ve devamında bulanık kavramları her ne kadar Zadeh (Zadeh, 1965) tarafından ortaya atılmış ise de literatürde kabul görmesi 1975 yılına kadar sürmüştür. Bulanık mantık ilk olarak, İngiltere de “Queen Marry College’de” Mamdani ve Assilian tarafından geliştirilen bir buhar makinesinin kontrolünde uygulanmıştır (Şen, 2009, s. 15-16).

1.1.2. Bulanık küme

Kümeler mantık kuramının temelini oluşturmaktadır. Aristoteles’in mantığı olarak bilinen iki değerli klasik küme mantığına göre, bir öğe bir kümenin ya elemanıdır ya da elemanı değildir, bir önerme ya doğrudur ya da yanlıştır. Klasik kümelerde bir öğe, kümenin elemanı ise öğenin üyelik derecesi 1, aksi takdirde öğe kümenin elemanı değil ise üyelik derecesi 0 değerini almaktadır. Klasik küme kavramında;

X: Boş olmayan bir küme,

A: X kümesinden türetilen klasik küme,

x: A kümesinin elemanları,

x_A: A kümesinin karakteristik fonksiyonu olmak üzere, A kümesinin karakteristik fonksiyonu eşitlik (1.1)’deki gibi gösterilmektedir (Klir & Yuan , 1995, s. 6).

$$x_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad \textbf{(1.1)}$$

Burada, $\forall\, x \in$ X için $x_A(x) = 1$ olduğunda x A kümesinin elemanıdır; $x_A(x) = 0$ olduğunda x A kümesinin elemanı değildir (Paksoy , Yapıcı Pehlivan, & Özceylan, 2013, s. 25).

Klasik küme yaklaşımında, elemanların üyeliği ile ilgili kesin yargılar içeren sadece iki durum bulunmaktadır. Ancak gerçek yaşamda kesin olarak tanımlanamayan, belirli bir grubun parçası olarak ifade edilemeyen durumların varlığı da söz konusudur. Örneğin bireylerin yaşını ele alalım. 40 yaş orta yaşlı olarak varsayılırsa, klasik kümelerde 30

yaşın altında olan bireyler “genç”, 30-50 yaş arası bireyler “orta yaşlı”, 50 yaş üzeri bireyler ise “yaşlı” kümesine dâhil edebiliriz. Bu sınıflamaya göre 49,5 yaşında bir birey “orta yaşlı” iken 50,5 yaşındaki bir birey ise “yaşlı” kümesine dahil olacaktır (Eğrisöğüt Tiryaki & Kazan, 2007, s. 4). Klasik kümelerdeki kesin yargıların ara değerleri karşılayamadığı bu gibi durumlarda bulanık kümelerden yararlanılmaktadır. Bu doğrultuda, bulanık küme teorisi, klasik kümelerin aksine muğlak olan, net olmayan ortamlarda, insanların akılcı kararlar almasına yarayan ve belirsizliği ortadan kaldırmaya çalışan bir sistemdir (Zadeh, 1988, s. 83).

Bulanık mantığın temelini oluşturan bulanık kümeler, değişik üyelik derecesine sahip olan elemanların oluşturduğu topluluktur. Üyelik derecesi ise bir elemanın bir kümeye ait olup olmamasının göstergesidir. Bulanık bir kümede, bir elemanın üyelik derecesi [0-1] aralığında değişen değerler almaktadır (Baykal & Beyan , 2004, s. 74). Bununla beraber, bir eleman farklı üyelik dereceleri ile birden fazla kümeye üye olabilmektedir. Üyelik dereceleri, üyelik fonksiyonu üzerinde tanımlanmaktadır (Şen, 2009, s. 38).

Bulanık kümeler genelde üzerlerinde “tilde” “~” işareti ile gösterilirler. X boş olmayan bir küme olmak üzere, X kümesinden türetilen Ã bulanık kümesi, üyelik fonksiyonu ile karakterize edilmektedir (Zadeh, 1965, s. 339). $\mu_{\tilde{A}}(x)$: X→[0,1] olmak üzere, Ã bulanık kümesi eşitlik (1.2)'deki gibi gösterilmektedir.

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) : x \in X\} \qquad \textbf{(1.2)}$$

Burada,

X: Evrensel kümeyi,

x: Evrensel kümenin elemanı,

$\tilde{A}$: Bulanık kümeyi,

$\mu_{\tilde{A}}(x)$:Bulanık kümeye karşılık gelen üyelik fonksiyonunu temsil etmektedir.

Üyelik fonksiyonunun 0 olması ($\mu_{\tilde{A}}(x)= 0$) x elemanının kümeye üye olmadığını, üyelik fonksiyonunun 1 olması ($\mu_{\tilde{A}}(x)= 1$) $x$elemanının kümeye tam üye olduğunu ve üyelik fonksiyonunun 0 ve 1 arasında olması ise ($0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x) \leq 1$) $x$elemanının kümeye kısmi üyeliğini ifade etmektedir (Özkan, 2003, s. 6).

Zadeh tarafından temelleri atılan bulanık küme teorisi “kavramlar” ve “dilsel değişkenler” ile ele alınmaktadır. Bir değişkenin değerinin doğal dilde kullanılan kelimeler veya cümleler ile ifade edilmesine dilsel değişken adı verilmektedir. Dilsel

değişkenler, kelimeleri sayı gibi kullanan değişkenlerdir (Cebeci & Beskese, 2002, s. 93). Kelime veya kelime gruplarından oluşan dilsel değişkenler, bilgisayar ortamında matematiksel bir dile dönüştürülür. Bu dönüşüm bulanık kümeler ile gerçekleştirilmektedir.

1.1.3. Üyelik fonksiyonları

Kümenin elemanlarının, kümeye üyelik derecesini gösteren fonksiyona üyelik fonksiyonu adı verilmektedir. Klasik kümelerde elemanların üyelik fonksiyonu basitçe 0 veya 1 gibi iki karakter ile temsil edilmektedir. Buna karşılık bulanık kümelerde insan faktörünün de duruma dâhil olması ile birlikte elemanların üyeliği, kuralları olan teorik bir yapıya dönüşmektedir. Üyelik fonksiyonu bulanık kümelerin yapı taşını oluşturmaktadır. Bir üyelik fonksiyonu; öz, destek, sınırlar, yükseklik ve geçiş noktaları olmak üzere beş temel kavram üzerine kurulmaktadır (Başkaya, 2011, s. 110).

Öz; bir bulanık kümede, tam üyeliğe sahip elemanlardan oluşan topluluğa verilen isimdir. Başka bir ifade ile öz, evrensel kümedeki bulanık $\tilde{A}$ kümesinin, üyelik derecesi $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ olan x elemanlarından oluşmaktadır (Ross, 2002, s. 90).

Destek; kümesi ise $\tilde{A}$ bulanık kümesinin üyelik derecesi sıfırdan farklı olan elemanlarından oluşmaktadır (Bai , Zhuang , & Wang , 2006, s. 25). Bu elemanların oluşturduğu klasik kümeye ise destek (support - *supp*) kümesi denilmektedir. Destek kümesi matematiksel olarak eşitlik (1.3)'deki gibi gösterilmektedir (Özkan, 2003, s. 40).

$$supp(\tilde{A}) = \{x \mid \mu_{\tilde{A}}(x) > 0 \text{ ve } x \in X\} \quad \textbf{(1.3)}$$

Sınırlar; ise bulanık kümenin üyelik dereceleri 0 ve 1' e eşit olmayan elemanlarının oluşturduğu kısımdır. Bulanık kümenin sınırları matematiksel olarak eşitlik (1.4)'deki gibi gösterilmektedir (Baykal & Beyan , 2004, s. 84).

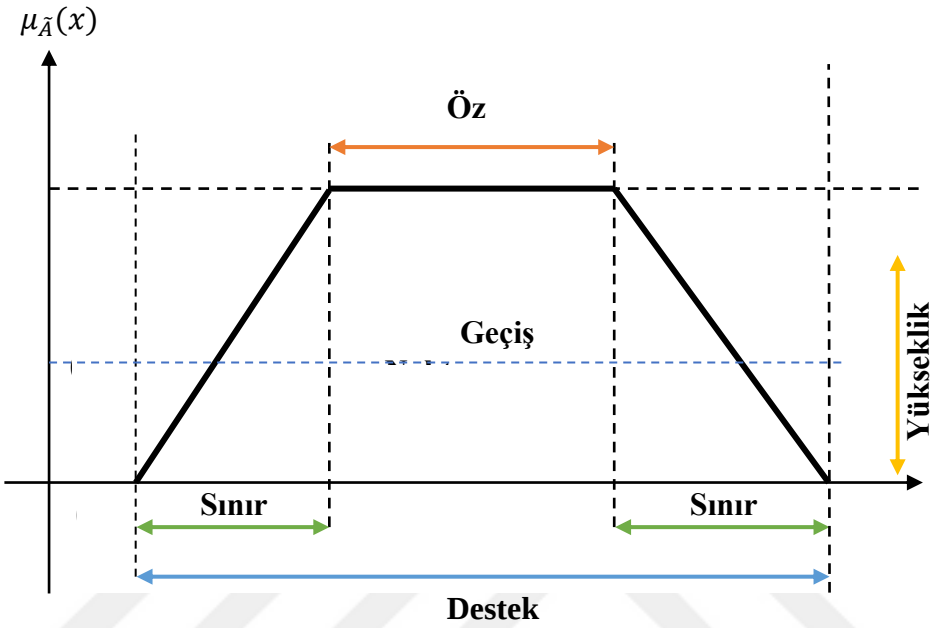
$$0 < \mu_{\tilde{A}}(x) < 1 \quad \textbf{(1.4)}$$

Yükseklik; bulanık $\tilde{A}$ kümesinde en büyük üyelik derecesine karşı gelmektedir. Yükseklik (height-hgt), bulanık küme tarafından verilen bilginin geçerliliğini ifade etmektedir ve matematiksel olarak eşitlik (1.5)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$hgt(\tilde{A}) = max[\mu_{\tilde{A}}(x)] \forall\, x \in X \quad \textbf{(1.5)}$$

Geçiş noktası; evrensel kümede tanımlı bulanık Ã kümesinin $\mu_{\tilde{A}}(x) = 0{,}5$ üyelik derecesine sahip olan elemanlarını ifade etmektedir (Ross, 2002, s. 92).

Şekil 1.1'de yamuk şeklinde bir üyelik fonksiyonunun öz, destek, sınır, yükseklik ve geçiş noktaları gösterilmektedir.



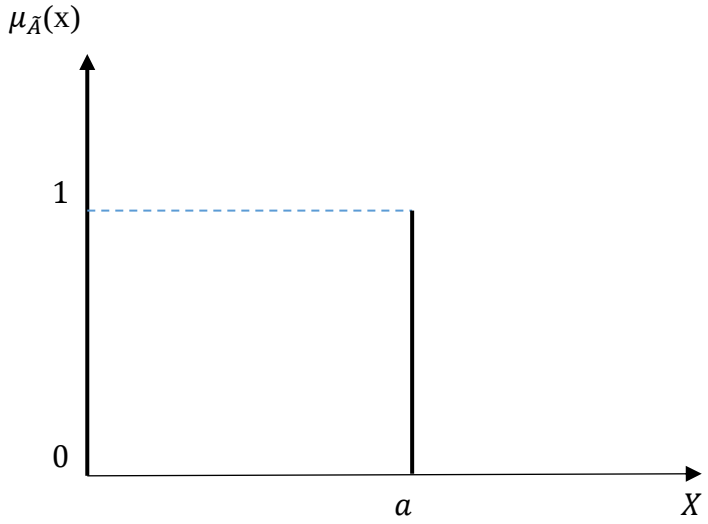
Şekil 1.1. *Üyelik Fonksiyonunun Kısımları (Şen, 2009, s. 33)*

Üyelik fonksiyonunun birden çok farklı yapısı vardır. Bunların bazıları; tekil üyelik fonksiyonu, üçgen üyelik fonksiyonu, yamuk üyelik fonksiyonu, Gaussian üyelik fonksiyonu ve çan eğrisi üyelik fonksiyonları olarak sıralanmaktadır.

i. Tekil üyelik fonksiyonu; Bulanık küme teorisinde klasik sayılar, bulanık sayıların tüm özelliklerine sahip özel bir durumu olarak tanımlanabilmektedir. Tekil üyelik fonksiyonu tek bir parametre ile tanımlanır. Tekil üyelik fonksiyonuna göre klasik bir sayı olan a sayısı, bulanık sayı olarak eşitlik (1.6)'daki gibi gösterilmektedir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x;a) = \begin{cases} 0, & x < a \quad ise \\ 1, & x = a \quad ise \\ 0, & x > a \quad ise \end{cases} \tag{1.6}$$

Burada x, a sayısına eşit ise 1, eşit değil ise 0 değerini alan üyelik fonksiyonudur. Şekil 1.2'de tekil üyelik fonksiyonu gösterilmektedir.

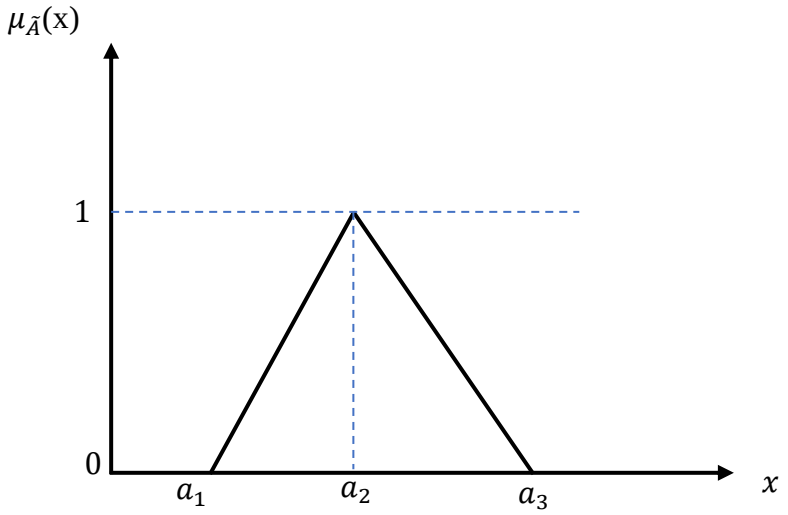


Şekil 1.2. *Tekil Üyelik Fonksiyonu (Hanss, 2005, s. 50)*

ii. Üçgen üyelik fonksiyonu; a_1, a_2 *ve* a_3 gibi üç parametre ile tanımlanan bulanık Ã kümesinin üçgen üyelik fonksiyonu eşitlik (1.7)'deki gibi gösterilmektedir.

$$\mu_{\tilde{A}}(\mathrm{x}: a_1, a_1, a_1) = \begin{cases} \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1 \le x \le a_2 \quad ise \\ \frac{a_3-x}{a_3-a_2}, & a_2 \le x \le a_3 \quad ise \\ 0, & x > a_3 veya\ x < a_1 \quad ise \end{cases} \qquad \textbf{(1.7)}$$

Üçgen üyelik fonksiyonu Şekil 1.3'te gösterilmektedir.



Şekil 1.3. *Üçgen Üyelik Fonksiyonu (Zhang & Liu, 2006, s. 8)*

Burada x üçgensel bulanık bir sayıyı ifade etmektedir. a_1 ve a_3 parametreleri bulanık herhangi bir sayının alt ve üst sınırını ifade etmektedir. a_1 ve a_3 parametrelerinin

üyelik derecesi 0'dır. a_2 parametresi ise üyelik derecesinin 1 olduğu noktayı ifade etmektedir (Tosun, 2015, s. 33).

iii. Yamuk üyelik fonksiyonu; yamuk üyelik fonksiyonu, üçgen üyelik fonksiyonunun özel bir halidir. Yamuk üyelik fonksiyonu $a_1 < a_2 < a_3 < a_4$ olmak üzere $a_1, a_2, a_3 \; ve \; a_4$ biçiminde dört parametre ile tanımlanmaktadır. Parametreler;

a_1: en olası değer

a_2:olası değer

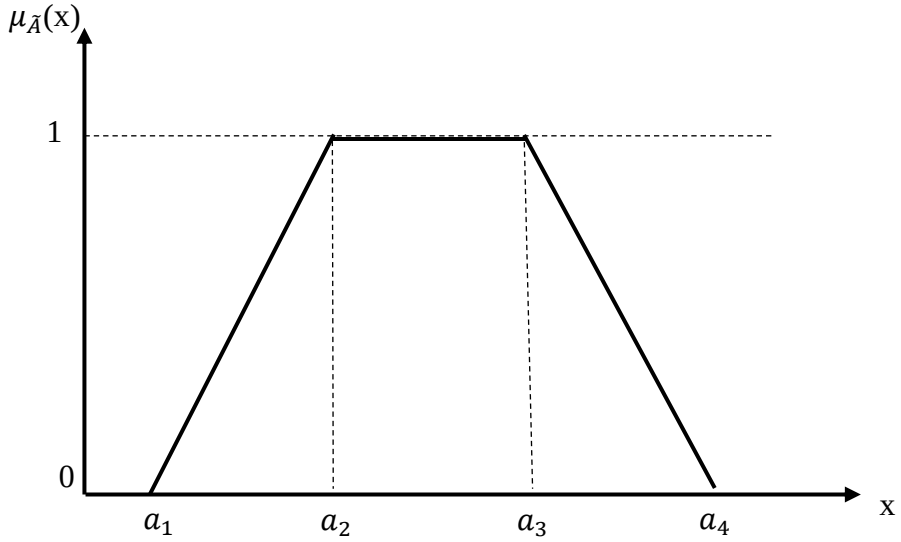
a_3:daha olası değer

a_4:en büyük olası değeri

ifade etmektedir. Eğer a_2 = a_3 olması durumunda yamuk üyelik fonksiyonu üçgen üyelik fonksiyonuna dönüşmektedir (Lee K. , 2005, s. 145). Yamuk üyelik fonksiyonunun matematiksel olarak eşitlik (1.8)'deki gibi gösterilmektedir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x: a_1, a_2, a_3, a_4) = \begin{cases} \dfrac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \quad ise \\ 1, & a_2 \leq x \leq a_3 \quad ise \\ \dfrac{a_4 - x}{a_4 - a_3}, & a_3 \leq x \leq a_4 \quad ise \\ 0, & x > a_4 \, veya \, x < a_1 \quad ise \end{cases} \qquad \textbf{(1.8)}$$

Yamuk üyelik fonksiyonunun grafiği ise Şekil 1.4'te gösterilmektedir.

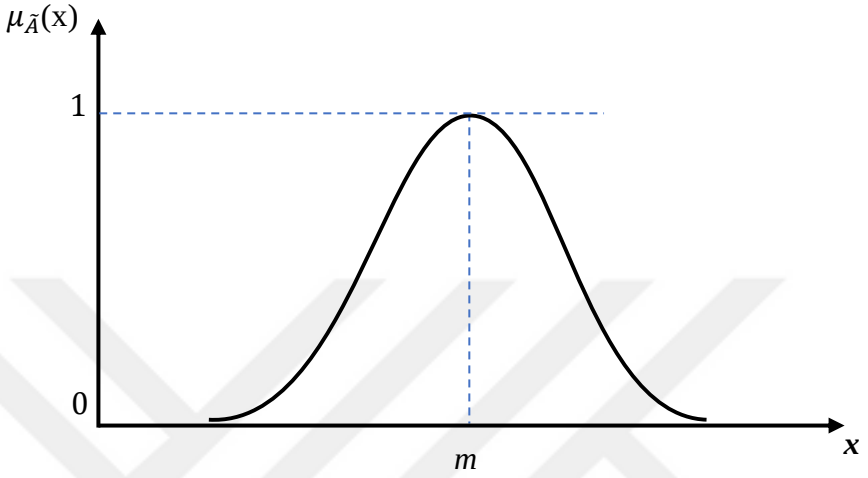


Şekil 1.4. *Yamuk Üyelik Fonksiyonu (Akan, 2017, s. 110)*

iv. Gaussian üyelik fonksiyonu; Gaussian üyelik fonksiyonu m ve σ parametreleri ile oluşturulmaktadır (Baykal & Beyan , 2004, s. 79). Gaussian üyelik fonksiyonunun matematiksel olarak eşitlik (1.9)' daki gibi gösterilmektedir.

$$\mu_{\tilde{A}}(\mathrm{x}: \mathrm{m}, \sigma) = e^{(\frac{-(x-m)^2}{2\sigma^2})} \quad \textbf{(1.9)}$$

Parametrelerden m fonksiyon merkezini, σ ise fonksiyonun genişliğini ifade etmektedir. σ parametresi değiştirildiğinde fonksiyonun değeri de değişmektedir. Şekil 1.5'te Gaussian üyelik fonksiyonu gösterilmektedir.

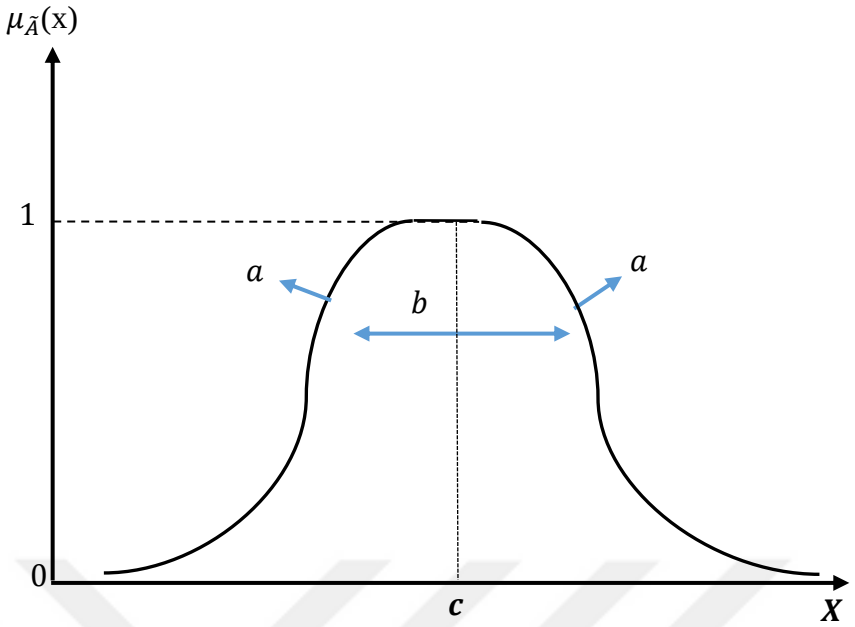


Şekil 1.5. *Gaussian Üyelik Fonksiyonu (Massad, Ortega, & Carcalho de Barros, 2008, s. 24)*

v. Çan eğrisi üyelik fonksiyonu; Çan eğrisi üyelik fonksiyonu, a_1, a_2, a_3 biçiminde üç parametre ile tanımlanmaktadır. a_1 ve a_3 parametreleri fonksiyonun sırası ile, genişliğini ve merkezini, a2 parametresi ise geçiş yerlerindeki eğimi düzenlemek amacıyla kullanılmaktadır (Aytaç, 2011, s. 81). Çan eğrisi üyelik fonksiyonunun matematiksel olarak eşitlik (1.10)' daki gibi gösterilmektedir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x: a_1, a_2 a_3) = \left\{ \frac{1}{1+\left|\frac{x-a_3}{a_1}\right|^{2a_2}} \right\} \quad \textbf{(1.10)}$$

Çan eğrisi üyelik fonksiyonu Şekil 1.6'da gösterilmektedir.



Şekil 1.6. *Çan Eğrisi Üyelik Fonksiyonu (Aytaç, 2011, s. 81)*

1.1.4. Bulanık küme işlemleri

Bulanık küme işlemleri, klasik küme teorisinde kullanılan işlemlerden oluşmaktadır. Bulanık kümelerde birleşme, kesişme, tümleme gibi işlemler kümelerin üyelik fonksiyonları ile tanımlanmaktadır.

$\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ iki bulanık küme ve $\mu_{\tilde{A}}(x)$ ve $\mu_{\tilde{B}}(x)$ sırasıyla bu bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları olmak üzere, bulanık kümelerdeki temel işlemler şu şekilde sıralanmaktadır (Zadeh, 1965, s. 340-341).

- **Boş Küme:** Bir $\widetilde{A}$ bulanık kümesi ancak ve ancak $\forall x \in X$ için $\mu_{\tilde{A}}(x) = 0$ ise boş kümedir.
- **Eşitlik:** Aynı evrensel kümede bulunan iki bulanık kümenin her ikisinin de üyelik fonksiyonları aynı ise bu kümeler eşittir ve eşitlik (1.11)'deki gibi gösterilmektedir.

$$\mu_{\tilde{A}} = \mu_{\tilde{B}} \text{ ise } \forall x \in X \text{ için } \widetilde{A} = \widetilde{B} \qquad \textbf{(1.11)}$$

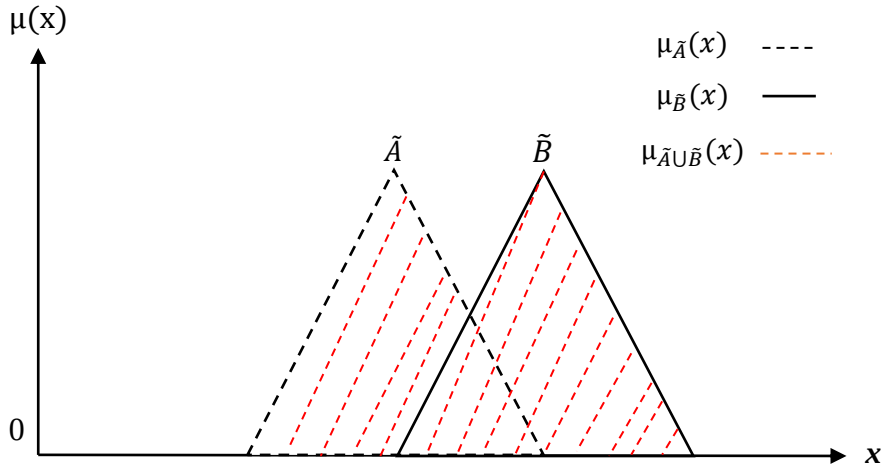
- **Kapsama:** Eğer $\mu_{\tilde{A}} \leq \mu_{\tilde{B}}$ ise, $\widetilde{B}$ kümesi, $\widetilde{A}$ kümesini kapsamaktadır ve eşitlik (1.12)'deki gibi gösterilmektedir.

$$\widetilde{A} \subset \widetilde{B} \Leftrightarrow \mu_{\tilde{A}}(x) \leq \mu_{\tilde{B}}(x), \forall x \in X \qquad \textbf{(1.12)}$$

- **Birleşim**: Bulanık $\widetilde{A}$ ve $\widetilde{B}$ kümelerinin üyelik fonksiyonlarının birleşimi eşitlik (1.13)'teki gibi gösterilmektedir.

$$\mu_{\widetilde{A} \cup \widetilde{B}}(x) = \max \{\mu_{\tilde{A}}(x),\ \mu_{\tilde{B}}(x)\}, \forall x \in X \qquad \textbf{(1.13)}$$

Bulanık kümelerde birleşim işlemi Şekil 1.7'de gösterilmektedir.

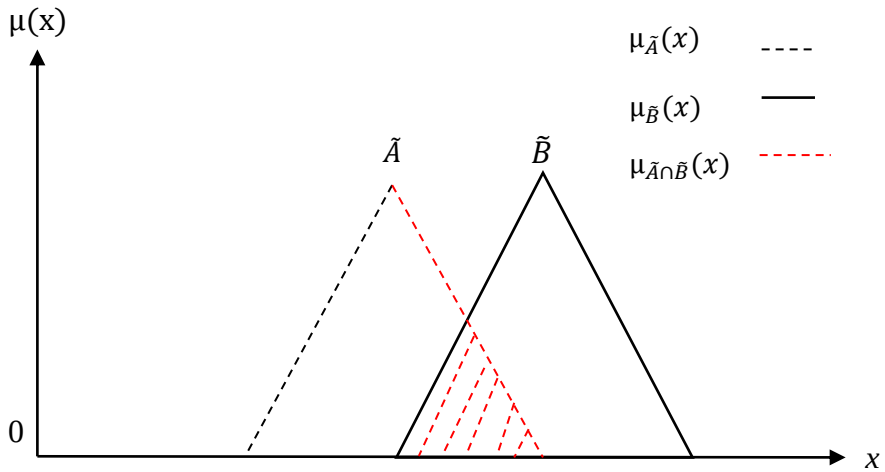


Şekil 1.7. *Bulanık Kümelerde Birleşim İşlemi*

- **Kesişim:** Bulanık $\widetilde{A}$ ve $\widetilde{B}$ kümelerinin üyelik fonksiyonlarının kesişimi eşitlik (1.14)'teki gibi gösterilmektedir.

$$\mu_{\widetilde{A} \cap \widetilde{B}}(x) = \min \{\mu_{\tilde{A}}(x),\ \mu_{\tilde{B}}(x)\}, \forall x \in X \qquad \textbf{(1.14)}$$

Bulanık kümelerde kesişim işlemi Şekil 1.8'de gösterilmektedir.

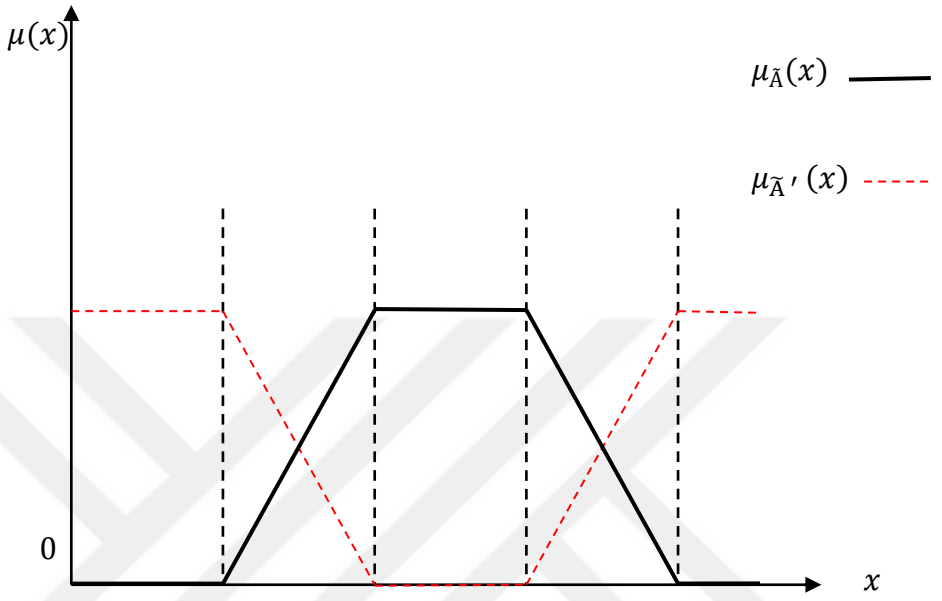


Şekil 1.8. *Bulanık Kümelerde Kesişim İşlemi*

- **Tümleme:** Bulanık bir $\tilde{A}$ kümesinin tümleyeni $\tilde{A}'$ ile gösterilir. $\forall x \in X$ için tümleme üyelik fonksiyonu eşitlik (1.15)'teki gibi gösterilmektedir.

$$\mu_{\tilde{A}'}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x), \forall x \in X \quad \textbf{(1.15)}$$

Bulanık kümelerde tümleme işlemi Şekil 1.9'da gösterildiği gibidir.



Şekil 1.9. *Bulanık Kümelerde Tümleme İşlemi*

- **Toplama:** Bulanık $\tilde{A}$ ve bulanık $\tilde{B}$ kümelerinin cebirsel toplamı bulanık $\tilde{C}$ ($\tilde{C} = \tilde{A} + \tilde{B}$) kümesine eşittir. Bulanık kümelerde toplama işlemi eşitlik (1.16)'daki gibi gösterilmektedir.

$$\tilde{C} = \{(x, \mu_{\tilde{A}+\tilde{B}}(x)) \mid x \in X\}$$

$$\mu_{\tilde{A}+\tilde{B}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x) + \mu_{\tilde{B}}(x) - \mu_{\tilde{A}}(x).\mu_{\tilde{B}}(x) \quad \textbf{(1.16)}$$

- **Çıkarma**: Bulanık $\tilde{A}$ ve bulanık $\tilde{B}$ kümelerinin cebirsel farkı, üyelik derecelerinin minimumu alınarak hesaplanmaktadır. Bulanık kümelerin cebirsel farkı matematiksel eşitlik (1.17)'deki gibi gösterilmektedir.

$$\mu_{\tilde{A}-\tilde{B}}(x) = min[\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)] \quad \textbf{(1.17)}$$

- **Çarpma**: Bulanık $\tilde{A}$ ve bulanık $\tilde{B}$ kümelerinin cebirsel çarpımı bulanık $\tilde{C}$ kümesi olmak üzere matematiksel olarak eşitlik (1.18)'deki gibi gösterilmektedir.

$$\tilde{C} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x) \times \mu_{\tilde{B}}(x)) \mid x \in X\} \quad \textbf{(1.18)}$$

Son yirmi yılda birçok farklı bulanık küme yapısı geliştirilmiştir. Literatürde en fazla sezgisel bulanık kümeler ve nötrosofik bulanık kümelerin kullanıldığı görülmektedir.

1.2. Sezgisel Bulanık Küme

Bulanık küme kavramının geliştirilmesi üzerine araştırmalar 1963'te başlamış olmasına rağmen, sezgisel bulanık küme çalışmaları ilk olarak 1983'te yayınlanmıştır. Bulanık küme teorisi, gerçek hayattaki belirsizlikleri ele almakta güçlü bir yöntem olmasına rağmen bazı durumlarda yetersiz olmaktadır (Atlas & Bayazit Bedirhanoğlu, 2018, s. 610). Sezgisel bulanık küme, bulanık kümelerin eksikliğini tamamlamak üzere, bulanık kümelere alternatif bir yaklaşım olarak 1986 yılında Atanassov tarafından literatüre sunulmuştur (Kumar & Yadav, 2012, s. 289).

Geçtiğimiz yüzyılın başında L. Brouwer (1881-1966) tarafından sezgicilik kavramı ortaya atılmıştır. Brouwer, matematikçileri Aristoteles'in kanunlarını dışlamaya davet etmiştir. Brouwer, bir A önermesinin varsa A'nın doğru olduğunu, ya da yanlış olduğunu veya A'nın doğru mu yanlış mı olduğunu bilmediğimizi söyleyebileceğimizi ifade etmiştir (Atanassov K. T., 2012, s. 5). Böylece üç değerli bir yaklaşım sergilemiştir.

Atanassov' a göre sezgisel bulanık kümelerin başlangıcı bir rastlantıdır. Atanassov, hastanede Kaufmann'ın "Bulanık Alt Kümeler Teorisine Giriş" adlı kitabını okurken, sezgisel bulanık kümelerin çıkışı bir oyun olarak başlamıştır.

Atanassov, iki kümenin elemanlarını, seçimlerde oy verme örneği ile ele almıştır. Atanassov'a göre;

X: seçim yapılmış ve bir hükümet seçilmiş tüm ülkelerin olduğu bir evren,

A: bu evrende bir ülke,

$M(x)$: A ülkesinde seçilmiş hükümete oy veren seçmenlerin sayısı,

$\mu(x)$: A ülkesinde seçilmiş hükümete oy veren seçmenlerin yüzdesi,

$\nu(x)$: A ülkesinde seçilmiş hükümete oy vermeyen seçmenlerin yüzdesi,

olmak üzere; hükümete oy veren seçmenlerin yüzdesi; $\mu(x)= \frac{M(x)}{100}$ (üyelik derecesi) olur. A ülkesinde, hükümete oy vermeyen seçmenlerin yüzdesi, 1'den oy veren seçmenlerin yüzdesi çıkarılarak $\nu(x)= 1- \mu(x)$ olarak bulunur. Hükümete oy veren seçmenler ve oy vermeyen seçmenler dışında, hiç oy kullanmayan seçmenlerin de mümkündür. Oy kullanmayan seçmenlerin oranı 1'den hükümete oy veren seçmenler ve oy vermeyen

seçmenlerin toplamının çıkarılması ile elde edilir (1- (μ(x) + ν(x)) (Atanassov K. T., 2003, s. 12). Atanassov, oy verme işlemini bir oyun gibi düşünerek, bir olayın olma ve olmama olasılıklarının yanı sıra, şüpheli, kararsız bir durumun varlığına dikkat çekmiştir. Bunun sonucunda tereddütte kalınan durumları ifade edebilmek adına sezgisel bulanık kümeleri ortaya çıkarmıştır.

Güncel yaşamda bir kişi bir öğeyi belirli bir derecede kümenin elemanı olarak varsayabilir. Fakat bu varsayımın içinde kişinin şüphe duyma ihtimali söz konusudur. Öğenin üyelik derecesi konusunda tereddüt yaşanabilir. Sezgisel bulanık kümeler, üyelik derecesi konusunda yaşanan belirsizlik ve şüphe durumunu, üye olma ve üye olmama derecesinin yanı sıra, tereddüt derecesi ile ifade etmektedir (Davarzani & Khurheh, 2013, s. 1).

Bulanık kümelerde, bir elemanın kümeye üye olma derecesi μ_A, üye olmama derecesi 1 - μ_A'ya eşittir. Dolayısıyla, üye olma ve üye olmama derecelerinin toplamı 1' e eşittir. Oysa yaşamda üye olma derecesi ile üye olmama derecesinin toplamının her zaman 1'e eşit olması mümkün değildir. Başka bir ifade ile üye olma ve üye olmama derecelerinin toplamı 1' den küçük olabilmektedir. Sezgisel bulanık kümeler, bulanık kümelerin belirsizliği ele almada yetersiz olduğu bu durumu tereddüt derecesi ile dikkate alarak tanımlamaktadır (Chaira, 2019, s. 25).

Atanassov' un tanımladığı bulanık kümelerin uzantısı olan sezgisel bulanık kümeler, sırasıyla, üye olma derecesini ve üye olmama derecesini ifade eden iki fonksiyonla karakterize edilmektedir (Parvathi & Malathi, 2012, s. 52). Sezgisel bulanık kümelerin literatürde yer alan kesin bir gösterimi yoktur. Çalışmamızda sezgisel bulanık kümeler $A^{\tilde{I}}$ sembolü ile ifade edilecektir.

Sezgisel bulanık kümeler matematiksel olarak eşitlik (1.19)'daki gibi gösterilmektedir (Atanassov K. T., 1986, s. 87).

$$A^{\tilde{I}}=\{\langle x, \mu_{A^{\tilde{I}}}(x), \nu_{A^{\tilde{I}}}(x)\rangle : x \in X\} \quad \textbf{(1.19)}$$

Burada;

X: Evrensel küme,

x: Evrensel kümenin elemanı,

$A^{\tilde{I}}$: Sezgisel bulanık küme

$\mu_{A^{\tilde{I}}}(x)$: Sezgisel bulanık kümeye karşılık gelen üye olma fonksiyonu

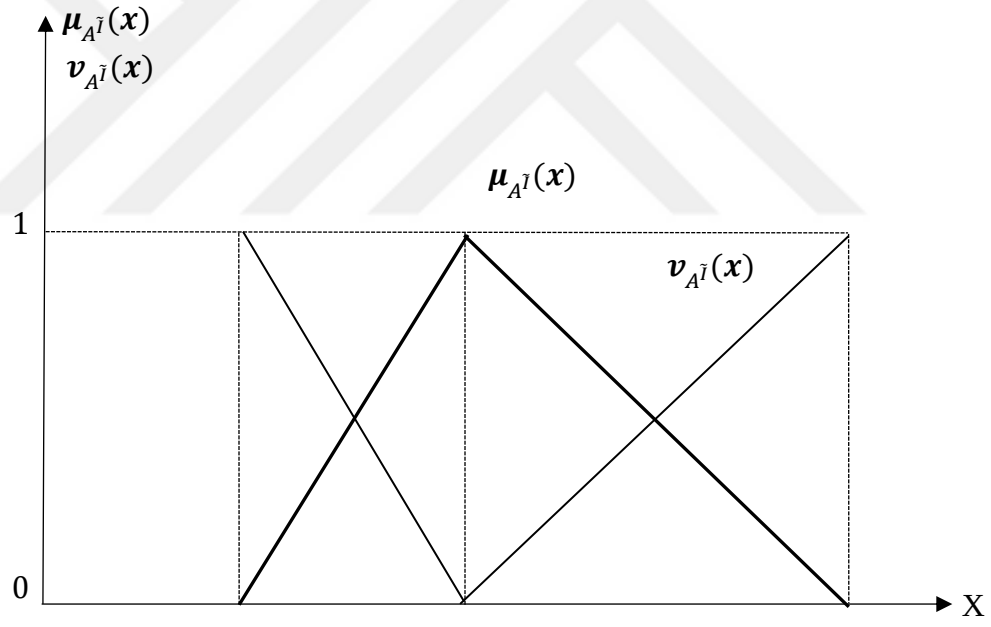
$v_{A^I}(x)$: Sezgisel bulanık kümeye karşılık gelen üye olmama fonksiyonunu temsil etmektedir.

Sezgisel bulanık kümeleri, bulanık kümelerden ayıran en önemli özellik sezgisel bulanık kümelerin üye olma ve üye olmama derecelerini birbirinden ayırmasıdır. Bu sayede sezgisel bulanık kümeler, klasik bulanık kümelere göre daha fazla uygulama alanına sahip olmuştur (Singh & Yadav, 2018, s. 694).

$A^{\tilde{I}}$ sezgisel bulanık kümesi, üye olma derecesi $\mu_{A^{\tilde{I}}}$ ve üye olmama derecesi $v_{A^{\tilde{I}}}$ olmak üzere matematiksel olarak eşitlik (1.20)'deki gibi gösterilmektedir (Atanassov & Gargov, 1989, s. 343)

$$\mu_{A^I} : X \rightarrow [0,1] \text{ ve } v_{A^I} : X \rightarrow [0,1] \qquad \textbf{(1.20)}$$

Sezgisel bulanık kümelerde üye olma ve üye olmama dereceleri Şekil 1.10'da gösterildiği gibidir.



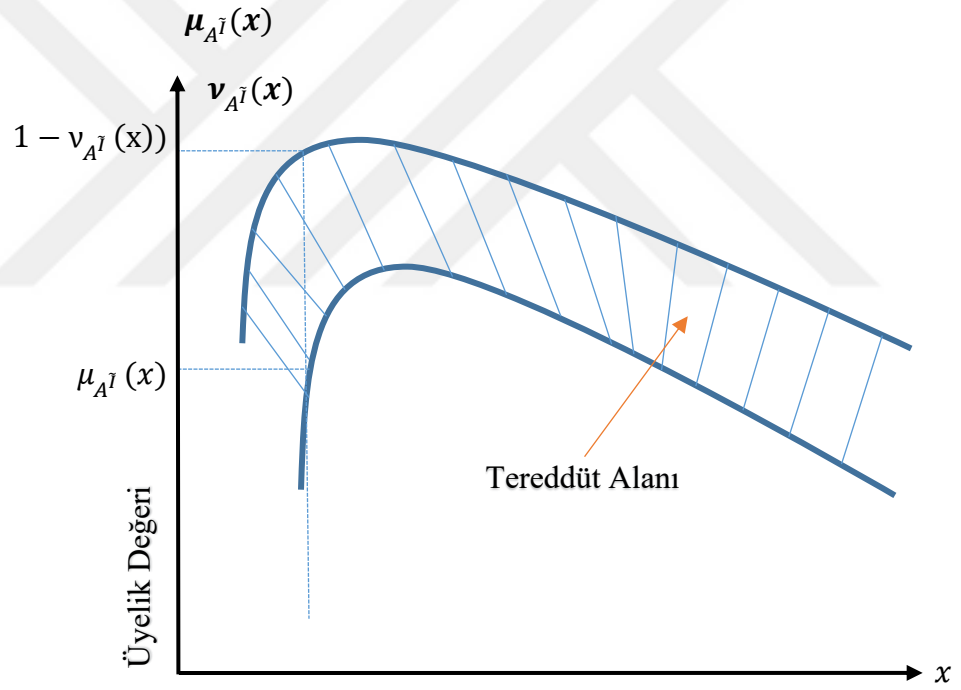
Şekil 1.10. *Sezgisel Bulanık Kümelerde Üyelik Fonksiyonları (Naim & Hagras, 2014, s. 1308)*

Sezgisel bulanık kümelerde üye olma ve olmama derecesine ek olarak tereddüt derecesi söz konusudur. Tereddüt derecesi π_{A^I} olmak üzere matematiksel olarak eşitlik (1.21)'deki gibi gösterilmektedir (Chaira, 2019, s. 25).

$$\pi_{A^{\tilde{I}}} = 1 - (\mu_{A^{\tilde{I}}}(x) + v_{A^{\tilde{I}}}(x)) \qquad \textbf{(1.21)}$$

Tereddüt derecesi, sezgisel bulanık kümelerin elemanlarına üyelik derecelerini atanmasındaki belirsizliği ifade etmek için kullanılmaktadır (Lee K. M., 2004, s. 126). Bir başka ifade ile tereddüt derecesi herhangi bir elemanın kümeye ait olup olmamasının tereddüt düzeyini ifade etmektedir.

Tereddüt derecesinin büyüklüğü kümenin elemanı hakkında sahip olunan bilgi düzeyine göre değişkenlik gösterebilir. Bir kümenin elemanı hakkında sahip olunan bilgi, göreli olarak daha keskin ise tereddüt derecesinin değeri küçüktür. Eğer kümenin elemanı hakkındaki bilgi göreli olarak az, yetersiz ve belirsiz ise tereddüt derecesinin değeri büyük olur (Boran, 2009, s. 29). Sezgisel bulanık kümelerde tereddüt alanı arttıkça üyelik derecesindeki belirsizlik de artmaktadır (Xia & Xu, 2011). Şekil 1.11'de tereddüt düzeyi gösterilmektedir.



Şekil 1.11. *Sezgisel Bulanık Küme Tereddütlük Düzeyi (Garg, Rani & Sharma, 2013, s. 3)*

1.3. Sezgisel Bulanık Küme İşlemleri

Sezgisel bulanık küme işlemleri, bulanık küme işlemlerine benzer şekilde yapılmaktadır. Klasik X evrensel kümesinde $A^{\tilde{I}}$ ve $B^{\tilde{I}}$ sezgisel bulanık kümeler ve

$\mu_{A^{\tilde{I}}}$: $A^{\tilde{I}}$ sezgisel bulanık kümesinin üye olma fonksiyonu,

$\nu_{A^{\tilde{I}}}$: $A^{\tilde{I}}$ sezgisel bulanık kümesinin üye olmama fonksiyonu,

$\mu_{B^{\tilde{I}}}$: $B^{\tilde{I}}$ sezgisel bulanık kümesinin üye olma fonksiyonu,

$v_{B^{\tilde{I}}}$: $B^{\tilde{I}}$ sezgisel bulanık kümesinin üye olmama fonksiyonu

olmak üzere, sezgisel bulanık küme işlemleri Tablo 1.1'de gösterilmektedir (Atanassov K. , 1999, s. 10).

Tablo 1.1. *Sezgisel Bulanık Küme İşlemleri*

Özellik	İlişki
Kapsama	$A^{\tilde{I}} \subset B^{\tilde{I}} \Leftrightarrow \mu_{A^{\tilde{I}}} \leq \mu_{B^{\tilde{I}}}$ ve $v_{A^{\tilde{I}}}(x) \geq v_{B^{\tilde{I}}}(x)$ $A^{\tilde{I}} \supset B^{\tilde{I}} \Leftrightarrow B^{\tilde{I}} \subset A^{\tilde{I}}$
Eşitlik	$A^{\tilde{I}} = B^{\tilde{I}} \Leftrightarrow (\forall x \in A)\ \mu_{A^{\tilde{I}}} = \mu_{B^{\tilde{I}}}$ ve $v_{A^{\tilde{I}}} = v_{B^{\tilde{I}}}$
Kesişim	$A^{\tilde{I}} \cap B^{\tilde{I}} \left\{ \left(x, \min\left(\mu_{A^{\tilde{I}}}(x), \mu_{B^{\tilde{I}}}(x)\right), \max\left(v_{A^{\tilde{I}}}(x), v_{B^{\tilde{I}}}(x)\right)\right) \middle|\ x \in X \right\}$
Birleşim	$A^{\tilde{I}} \cup B^{\tilde{I}} = \left\{ \left(x, \max\left(\mu_{A^{\tilde{I}}}(x), \mu_{B^{\tilde{I}}}(x)\right), \min\left(v_{A^{\tilde{I}}}(x), v_{B^{\tilde{I}}}(x)\right)\right) \middle|\ x \in X \right\}$
Tümleme	$A^{\tilde{I}}$ Sezgisel bulanık kümesinin tümleyeni, $\forall x \in X$ için $A^{\tilde{I}} = \left\{ (x, v_{A^{\tilde{I}}}(x), \mu_{A^{\tilde{I}}}(x)) \middle|\ x \in X \right\}$
Toplama	$A^{\tilde{I}} + B^{\tilde{I}} = \left\{ \left((x) + \mu_{B^{\tilde{I}}}(x) - \mu_{A^{\tilde{I}}}(x) * \mu_{B^{\tilde{I}}}(x), v_{A^{\tilde{I}}}(x) * v_{B^{\tilde{I}}}(x) \right) \middle|\ x \in X \right\}$
Çarpma	$A^{\tilde{I}} * B^{\tilde{I}} = \left\{ (\mu_{A^{\tilde{I}}}(x) * \mu_{B^{\tilde{I}}}(x), v_{A^{\tilde{I}}}(x) + v_{B^{\tilde{I}}}(x) - v_{A^{\tilde{I}}}(x) * v_{B^{\tilde{I}}}(x)) \middle|\ x \in X \right\}$

Kapsama: Sezgisel bulanık $A^{\tilde{I}}$ kümesi, sezgisel bulanık $\tilde{B}$ kümesinin alt kümesi ise, $A^{\tilde{I}}$ kümesinin üyelik fonksiyonu derecesi, $\tilde{B}$ kümesinin üyelik fonksiyonu derecesinden küçük veya eşittir. Aynı zamanda $A^{\tilde{I}}$ kümesinin üye olmama fonksiyonunun derecesi , $\tilde{B}$ kümesinin üye olmama fonksiyonunun derecesinden büyük veya eşittir. Sezgisel bulanık kümelerde kapsama işlemi eşitlik (1.22)'deki gibi gösterilmektedir

$$A^{\tilde{I}} \subset B^{\tilde{I}} \Leftrightarrow \mu_{A^{\tilde{I}}} \leq \mu_{B^{\tilde{I}}} \text{ ve } v_{A^{\tilde{I}}}(x) \geq v_{B^{\tilde{I}}}(x) \quad A^{\tilde{I}} \supset B^{\tilde{I}} \Leftrightarrow B^{\tilde{I}} \subset A^{\tilde{I}} \qquad \textbf{(1.22)}$$

Eşitlik: Sezgisel bulanık $\tilde{A}$ kümesi, sezgisel bulanık $\tilde{B}$ kümelerinin üyelik fonksiyonu derecesi ve üye olmama fonksiyonu dereceleri birbirine eşit ise, sezgisel bulanık $A^{\tilde{I}}$ kümesi, sezgisel bulanık $\tilde{B}$ kümeleri birbirine eşittir. Sezgisel bulanık kümelerde eşitlik işlemi eşitlik (1.23)'teki gibi gösterilmektedir.

$$A^{\tilde{I}} = B^{\tilde{I}} \Leftrightarrow (\forall x \in A)\ \mu_{A^{\tilde{I}}} = \mu_{B^{\tilde{I}}} \text{ ve } v_{A^{\tilde{I}}} = v_{B^{\tilde{I}}} \qquad \textbf{(1.23)}$$

Kesişim: Sezgisel bulanık $A^{\tilde{I}}$ kümesi, sezgisel bulanık $\tilde{B}$ kümelerinin kesişim işlemi eşitlik (1.24)'teki gibi gösterilmektedir.

$$A^{\tilde{I}} \cap B^{\tilde{I}} \left\{ \left(x, \min\left(\mu_{A^{\tilde{I}}}(x), \mu_{B^{\tilde{I}}}(x)\right), \max\left(v_{A^{\tilde{I}}}(x), v_{B^{\tilde{I}}}(x)\right)\right) x \in X \right\} \quad \textbf{(1.24)}$$

Birleşim: Sezgisel bulanık $\tilde{A}$ kümesi, sezgisel bulanık $\tilde{B}$ kümelerinin birleşimi eşitlik (1.25)'teki gibi gösterilmektedir.

$$A^{\tilde{I}} \cup B^{\tilde{I}} = \left\{ \left(x, max\left(\mu_{A^{\tilde{I}}}(x), \mu_{B^{\tilde{I}}}(x)\right), min\left(v_{A^{\tilde{I}}}(x), v_{B^{\tilde{I}}}(x)\right)\right) x \in X \right\} \quad \textbf{(1.25)}$$

Tümleme: Sezgisel bulanık $\tilde{A}$ kümesinde tümleme işlemi eşitlik (1.26)'daki gibi gösterilmektedir.

$$\forall x \in X \text{ için } A^{\tilde{I}} = \left\{ \left(x, v_{A^{\tilde{I}}}(x), \mu_{A^{\tilde{I}}}(x)\right) \middle|\ x \in X \right\} \quad \textbf{(1.26)}$$

Toplama: Sezgisel bulanık $\tilde{A}$ kümesi, sezgisel bulanık $\tilde{B}$ kümelerinde toplama işlemi eşitlik (1.27)'deki gibi gösterilmektedir.

$$A^{\tilde{I}} + B^{\tilde{I}} = \left\{ \mu_{A^{\tilde{I}}}(x) + \mu_{B^{\tilde{I}}}(x) - \mu_{A^{\tilde{I}}}(x) * \mu_{B^{\tilde{I}}}(x), v_{A^{\tilde{I}}}(x) *\ v_{B^{\tilde{I}}}(x) \middle|\ x \in X \right\} \quad \textbf{(1.27)}$$

Çarpma: Sezgisel bulanık $\tilde{A}$ kümesi, sezgisel bulanık $\tilde{B}$ kümelerinde çarpma işlemi eşitlik (1.28)'deki gibi gösterilmektedir (Atanassov K. , 1999, s. 20).

$$A^{\tilde{I}} * B^{\tilde{I}} = \left\{ \mu_{A^{\tilde{I}}}(x) * \mu_{B^{\tilde{I}}}(x), v_{A^{\tilde{I}}}(x) + v_{B^{\tilde{I}}}(x) - v_{A^{\tilde{I}}}(x) *\ v_{B^{\tilde{I}}}(x) \middle|\ x \in X \right\} \quad \textbf{(1.28)}$$

Sezgisel bulanık küme teorisinin, bulanık küme teorisine ek olarak karar vericinin tereddütte kaldığı durumu da kapsaması araştırmacıların birçoğu tarafından ilgi görmüştür. Ancak üye olma ve üye olmama derecesinin tek bir değer ifade edilmesi gerçekçi bulunmamıştır. Atanassov ve Gargov gerçeğe daha yakın sonuçlar ile ulaşabilmek için 1989 yılında sezgisel bulanık kümeleri genelleştirerek, aralık değerli sezgisel bulanık kümeleri literatüre sunmuşlardır (Atanassov & Gargov, 1989).

Aralık değerli sezgisel bulanık üyelik fonksiyonları;

$\mu_{A^{\tilde{I}}}{}^{L}(x)$: aralık değerli üye olma fonksiyonu alt sınırı

$\mu_{A^{\tilde{I}}}{}^{U}(x)$: aralık değerli üye olma fonksiyonu üst sınırı

$\nu_{A^{\tilde{I}}}{}^{L}(x)$: aralık değerli üye olmama fonksiyonu alt sınırı

$\nu_{A^{\tilde{I}}}{}^{U}(x)$: aralık değerli üye olmama fonksiyonu üst sınırı

$\pi_{A^{\tilde{I}}}{}^{L}(x)$: aralık değerli üye olmama fonksiyonu alt sınırı

$\pi_{A^{\tilde{I}}}{}^{U}(x)$: aralık değerli üye olmama fonksiyonu üst sınırı

olmak üzere üye olma ve olmama fonksiyonları eşitlik (1.29)'daki gibi gösterilmektedir.

$$\mu_{A^{\tilde{I}}}(x) = [\mu_{A^{\tilde{I}}}{}^{L}(x), \mu_{A^{\tilde{I}}}{}^{U}(x)]$$

$$\nu_{A^{\tilde{I}}}(x) = [\nu_{A^{\tilde{I}}}{}^{L}(x), \nu_{A^{\tilde{I}}}{}^{U}(x)]$$

$$\pi_{A^{\tilde{I}}}(x) = [\pi_{A^{\tilde{I}}}{}^{L}(x), \pi_{A^{\tilde{I}}}{}^{U}(x)] \quad \textbf{(1.29)}$$

Aralık değerli sezgisel bulanık kümelerde tereddüt derecesi $\pi_{A^{\tilde{I}}}$ eşitlik (1.30)'daki gibi elde edilmektedir.

$$\pi_{A^{\tilde{I}}} = [(\pi_{A^{\tilde{I}}}{}^{L}(x), \pi_{A^{\tilde{I}}}{}^{U}(x))]$$
$$\pi_{A^{\tilde{I}}} = [(1-\mu_{A^{\tilde{I}}}{}^{U}(x)- \nu_{A^{\tilde{I}}}{}^{U}(x)), (1-\mu_{A^{\tilde{I}}}{}^{L}(x)- \nu_{A^{\tilde{I}}}{}^{L}(x))] \quad \textbf{(1.30)}$$

Aralık değerli sezgisel bulanık küme eşitlik (1.31)'deki gibi gösterilmektedir.

$$A^{\tilde{I}}\{[\mu_{A^{\tilde{I}}}{}^{L}(x), \mu_{A^{\tilde{I}}}{}^{U}(x)], [\nu_{A^{\tilde{I}}}{}^{L}(x), \nu_{A^{\tilde{I}}}{}^{U}(x)| \ x \in X]\} \quad \textbf{(1.31)}$$

Aralık değerli sezgisel bulanık kümelerde üye olma, üye olmama ve tereddüt dereceleri tek bir değer yerine aralık değerler ile tanımlanmaktadır. Wan ve Dong 2015 yılında yaptıkları çalışma ile bulanıklığın, sezgisel bulanık kümeler yerine aralık değerli sezgisel bulanık kümeler ile daha etkin biçimde tanımlandığını ileri sürmüşlerdir (Wan & Dong, 2020).

Sezgisel bulanık kümeler matematiksel yapısı ve uygulama alanında avantaj sağlaması nedeni ile birçok araştırmada yer bulmuştur. Angelov, sezgisel bulanık ortamda üç ayrı limandan, dört pazara taşıma maliyetinin en aza indirecek optimizasyon modelini önermiştir. Çalışmada bulanık optimizasyon ile sezgisel bulanık optimizasyon sonuçları karşılaştırmıştır. Bulgular sezgisel bulanık optimizasyon yöntemi ile daha iyi sonuç elde edildiğini göstermiştir (Angelov, 1997, s. 306). Dey ve Roy, birbiri ile çelişen çok amaçlı bir problemi sezgisel bulanık hedef programlama tekniği ile incelemişlerdir. Çalışma yapısal tasarım problemine uygulanmış ve bulanık hedef programlama ve sezgisel bulanık hedef programlama tekniği ile çözümlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre sezgisel bulanık hedef programlama tekniği ile bulanık hedef programlama tekniğinden daha etkin sonuçlar elde edilmiştir (Dey & Roy, 2015, s. 55). Bharati ve Singh tarım alanında mahsul planlama problemini sezgisel bulanık optimizasyon tekniği ile ele almıştır. Model ürün miktarının ve kârın maksimize edilmesi ve yatırım miktarının minimize edilmesi amaçları üzerine oluşturulmuştur. Uygulama sonucunda hedeflere

ulaşılmış ve sezgisel bulanık kümelerin etkinliği ortaya konulmuştur (Bharati & Singh, 2014, s. 17).

1.4. Nötrosofi Kavramı

Nötrosofi etimolojik olarak, Fransızca "neutre" (doğal), Latince "neuter" (nötr) ve Yunanca "sophia" (bilgi, beceri, bilgelik) kelimelerinin birleşiminden oluşmaktadır. Nötrosofi, nötr (tarafsız) düşüncenin bilgisi anlamına gelmektedir (Smarandache, 2004, s. 104). Literatürde nötrosofi kavramının; nötrosofik bulanık mantık, nötrosofik bulanık olasılık, nötrosofik bulanık küme şeklinde isimlendirildiği görülmektedir (Smarandache, 1999, s. 7).

Nötrosofi, tarafsızlıkların kökenini, doğasını, kapsamını ve bunların farklı etkileşimlerini inceleyen felsefenin bir dalıdır (Smarandache, 2005, s. 16). Nötrosofi belirsizliği farklı düşünsel çeşitlilikler ile incelemektedir. Nötrosofi bir nosyon veya fikri, karşıtı veya olumsuzu ile birlikte ele almaktadır. Nötrosofi teorisi ile belirsizliği temsil eden <A> kavramı getirilmiştir. <A> kavram, nitelik, fikir, öneri, teorem, teori gibi bir öğe olsun. Bu öğenin tersi, karşıtı <Anti A>'dır. Diğer bir ifade ile <Anti A>, < A> olmayan anlamına gelmektedir. <Neut-A> ise ne <A> olan ne de <Anti A> olan fakat <A> ve <Anti A> ile ilişkili nötr bir kavramdır. Bu durumu bir oyunun sonuçları ile ifade edecek olursak,

- <A>: Oynanan bir oyunun kazanılması
- <Anti A>: Oynanan bir oyunun kaybedilmesi
- <Neut-A>: Oyunda berabere kalma durumunu göstermektedir.

Görüldüğü üzere <Neut-A> oyunun kazanma veya kaybetme sonucundan farklı olarak, oyunla ilişkili ama oyunun diğer sonuçlarından (<A> ve <Anti A>'dan) bağımsız nötr bir kavramı belirtmektedir (Smarandache, 2013, s. 12).

Böylece "Nötrosofi" Florentin Smarandache tarafından bir felsefe dalı olarak kabul edilmektedir. Smarandache İngilizce "neutrosophy" (nötrosofi) kavramından esinlenerek yerine "nötrosofik" (neutrosophic) kavramını önermiştir.

Nötrosofik bulanık mantık ve kümeler yöneylem araştırmasında kullanılırken problemlerin modellenmesi ve çözümü araştırılabilmektedir. İzleyen ikinci bölümde nötrosofik bulanık kümelerin, çok amaçlı bir doğrusal programlama probleminin modellenmesi ve çözümünde uygulanması ayrıntılı olarak anlatılmaya çalışılacaktır.

İKİNCİ BÖLÜM

2. NÖTROSOFİK BULANIK ÇOK AMAÇLI OPTİMİZASYON

Çok amaçlı programlama, yöneylem araştırmasının sürekli gelişen çok önemli alanlarından birisidir. Uygulamada çok amaçlı programlama ile karar vermek zorluklar içermektedir. Bu noktada bulanıklığın da probleme dâhil edilmesi ile çok amaçlı programlamanın uygulanması daha da zorlaşmaktadır. Bu bölümde, bulanık çok amaçlı programlama problemlerinin çözümünde yeni ve halen gelişmekte bir teknik olan nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği açıklanmaya çalışılacaktır. Önce nötrosofik bulanık mantık, nötrosofik bulanık mantığın tarihçesi, nötrosofik bulanık küme kavramları ele alınacaktır. Daha sonra karar verme teorisi ve çok kriterli karar verme tekniklerine değinilecektir. Son olarak sezgisel bulanık çok amaçlı ve nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon teknikleri anlatılacaktır.

2.1. Nötrosofik Bulanık Mantık

Nötrosofik bulanık mantık, klasik mantık, puslu mantık, tutarlılık ötesi mantık, sezgisel mantık gibi farklı mantık sistemlerinin bir araya getirilerek çalıştırılması ile ortaya çıkarılmıştır (Smarandache, 2010, s. 525). Nötrosofik bulanık mantık, Florentin Smarandache tarafından, belirsizlik içeren problemlerin modellenmesi amacıyla geliştirilmiştir. Nötrosofik bulanık mantık, bulanık ve sezgisel bulanık mantığın genellemesi olarak önerilmiştir. Bulanık ve sezgisel bulanık mantık, bilginin belirsiz olduğu, kesin ve tam olmadığı durumlarda kullanılmaktadır. Nötrosofik bulanık mantık ise bilginin karmaşık ve tutarsız olması durumunda belirsizliği modellemede ve çözümünde kullanılmaktadır.

Bulanık mantığın yetersiz kaldığı durumlarda, nötrosofik bulanık mantık belirsizliği de dikkate alarak bu eksikliği tamamlamaktadır. Nötrosofik bulanık mantık, var olan bir mantık sistemine alternatif olarak, belirsiz, muğlak, tanımsız, bilinmeyen, kesin olmayan, tutarsız ve çelişki durumlarını matematiksel bir model ile temsil etmek üzere önerilmiştir (Smarandache, 2005, s. 90). Nötrosofik bulanık mantık, daha fazla bilgi sunumu ile diğer tüm mantık sistemlerinin genellemesi olarak ifade edilmektedir (Taş & Karataş, 2021, s. 972).

Nötrosofik bulanık mantık, bir mantıksal ifadenin, üç boyutlu bir uzayda doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık alt kümeleri ile temsil edildiği mantıktır. Bir önermenin, T alt kümesinde doğruluk yüzdesi, I alt kümesinde belirsizlik yüzdesi ve F alt kümesinde

yanlışlık yüzdesine sahip olduğu ve T, I, F ile tanımlandığı mantığa nötrosofik bulanık mantık adı verilmektedir (Smarandache, 2003, s. 143). T, I, F sırası ile;

T:Doğruluk Yüzdesi

I:Belirsizlik Yüzdesi

F:Yanlışlık Yüzdesi

olup nötrosofik bulanık bileşenler olarak adlandırılmaktadır (Ashbacher, 2002, s. 53). Doğruluk yüzdesi (T), belirsizlik yüzdesi (I) ve yanlışlık yüzdesi(F) İngilizce "truth", "indeterminancy" "ve "false" kelimelerinin baş harflerini ifade etmektedir.

Nötrosofik bulanık mantık, diğer mantık yapılarının aksine, yalnızca belirli bir doğru olma derecesine sahip değildir. Aynı zamanda birbirinden bağımsız belirsiz olma ve yanlış olma derecelerine de sahiptir (Kumbasar , 2019, s. 289). Nötrosofik bulanık mantığın temel özellikleri şöyle sıralanmaktadır:

- Nötrosofik bulanık mantık, yeni felsefi tezler, ilkeler, kurallar, yöntemler, formüller ve eylemler önermektedir.
- Dünyanın belirsizlikler ile örtülü olduğunu ortaya koymaktadır.
- Yorumlanamayan durumları yorumlamaktadır.
- Kavramları, sistemleri birçok farklı açıdan ele almaktadır. Bir sistemde doğru olan bir fikrin başka bir sistemde yanlış olabileceğini veya bir sistemde yanlış olan bir fikrin başka bir sistemde doğru olabileceğini göstermektedir.
- Fikir savaşında barış yapmaya ve barışçıl fikirler ile savaşmaya çalışmaktadır.
- Kararsız sistemlerin kararlılığını ve kararlı sistemlerin kararsızlığını ölçmektedir (Smarandache, 2005, s. 16).

Nötrosofik bulanık mantıkta, bir önerme, zaman, mekân, gözlem yapan kişi gibi değişkenlerin etkisinde farklı doğruluk değeri alabilmektedir. Örneğin "yarın yağmur yağacak" biçiminde bir önermeyi ele alalım. A gözlemcisine göre, yağmur yağma olasılığı %80, yağmama olasılığı %10 ve belirsizliği de %10 olabilir. Gözlemci B'ye göre yağmur yağma olasılığı %40, yağmama olasılığı %50 ve belirsizliği de %10 olabilmektedir.

Bulanık mantığın ortaya çıkışından itibaren, belirsizlik, eksiklik, yaklaşık gibi ortamlarda, akıl yürütme eyleminin gerçekleştirilmesi için birçok sistem geliştirilmiştir. Nötrosofik bulanık mantık bu sistemlerin en genel ve güncel halidir (Kharal, 2014, s. 145). Nötrosofsik bulanık mantık klasik bulanık mantığa göre daha esnek bir yapıya sahiptir. Klasik bulanık mantık sisteminde, doğruluk ve yanlışlık derecelerinin toplamı 1

ile sınırlı olduğundan eksik, belirsiz, tutarsız bilgiyi tam anlamı ile işleyebilmesi mümkün değildir. Karar verme sürecinde bilginin tamamına erişmek çoğu zaman mümkün olamamaktadır. Böylesi durumlarda nötrosofik bulanık mantık, tutarsız ve eksik bilgiyi işleme de klasik bulanık mantığa göre daha doğru bir yaklaşımdır (Ansari, Biswas , & Aggarwal, 2011, s. 10).

Nötrosofik bulanık mantık, sezgisel bulanık mantığın uzantısıdır. Nötrosofik bulanık mantığı, sezgisel bulanık mantıktan ayıran en temel özelliği, belirsizliği tarafsız bir biçimde dikkate almasıdır. (Smarandache , 2014, s. 28). Nötrosofik bulanık mantık, doğruluğu, belirsizliği ve yanlışlığı ölçmeye çalışan resmi bir çerçevedir (Smarandache, 1999, s. 88).

2.2. Nötrosofik Bulanık Kümelerin Tarihçesi

Nötrosofik kavramı 1995 yılında Florentin Smarandache tarafından sunulmuştur. Ortaya çıkışı yakın bir tarih gibi görünse de kökeni eskidir. Milattan önce 384-322 yıllarında Aristoteles tarafından sunulan klasik mantıkta, bir önerme sıfır-bir, evet-hayır, beyaz-siyah gibi iki zıt ve uç değer olarak ifade edilmektedir. Bir olgu ya var ya da yok gibi kesin, net çizgiler ile ifade edilmektedir.

Aristoteles kurmuş olduğu mantık sisteminde önermeleri iki değerli olarak tanımlamıştır. Fakat bazı hallerde bir önermelerin iki değere ek olarak üçüncü bir değer ile de temsil edilebileceğini de ifade etmiştir. Aristoteles'in "yarın deniz savaşı olacak" şeklinde bir önermesi olmuştur. Bu önerme üzerine birçok tartışma ve kuram geliştirilmiştir. Bu önermeye göre geleceğe dair belirli olayların her yöne doğru gelişmesi mümkün olabilir. Önerme şu an için ne doğru ne de yanlıştır. Ancak önerme için üçüncü bir doğruluk düzeyi olan belirsiz olma durumu söz konusudur (Ural Ş. , 1987, s. 301), (Çiçekdağı, 2015, s. 24).

J. H. Lambert, 1764 yılında "tripartition" kavramı ile ilk olarak üç bileşenli mantık kavramını ortaya koymuştur. Tripartion, Türkçe olarak üç bölme veya üçe bölünebilirlik olarak ifade edilmektedir. Bu yaklaşıma göre düşünce doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık üzerine üç bölümden oluşmaktadır. Lambert, hukuki bir süreçte, tanık güvenilirliğini araştırırken ortaya koyduğu bu yaklaşımda, tanığın sadık ve doğru olması, yalancı olması ve dikkatsiz olması üzerine durmuştur. Bu üç durumu, doğru, yalancı ve dikkatsiz gibi üç bileşen ile ifade etmiştir. Bu üç durumun toplamlarını 1'e eşitlemiştir (Smarandache, 2003, s. 142).

1920 yılında, J. Lukasiewicz, iki değerli Aristo mantığını üç değerli mantık biçiminde ifade etmiştir. Böylece çok değerli mantık anlayışına zemin hazırlanmıştır. Üç değerli mantık sisteminde bir önerme doğru, yanlış ve belirsiz değerlerini alabilir. Lukasiewicz'in mantık sisteminde bir önermenin doğruluk değerinin bilinmiyor olması yani belirsiz olması, onun, iki değerden birisini (doğru veya yanlış) taşıyor olma imkânını ifade etmektedir[2]. Lukasiewicz' e göre bir önerme kendinin aksinden türetilebiliyorsa, doğruluk değerinin sayısı ne olursa olsun, en azından yanlış değildir. Lukasiewicz'in tanımladığı belirsiz değeri, "mümkün" olarak adlandırılmakta olup, yanlışlığı dışarıda bırakan bir değerdir (Çetinkaya, 2002, s. 30).

1930'lu yıllarda ünlü Kuantum felsefecisi Max Black, belirli sayıda nesneden oluşan kümelere çok değerli mantık uygulamıştır. İlk defa bulanık üye fonksiyonlarını tanımlamıştır. Muğlak küme ile ilgili makaleler yayınlanmıştır. Bu çalışmalar bilim dünyası tarafından ciddiye alınmamıştır (Aktaş & Çağman, 2005, s. 14).

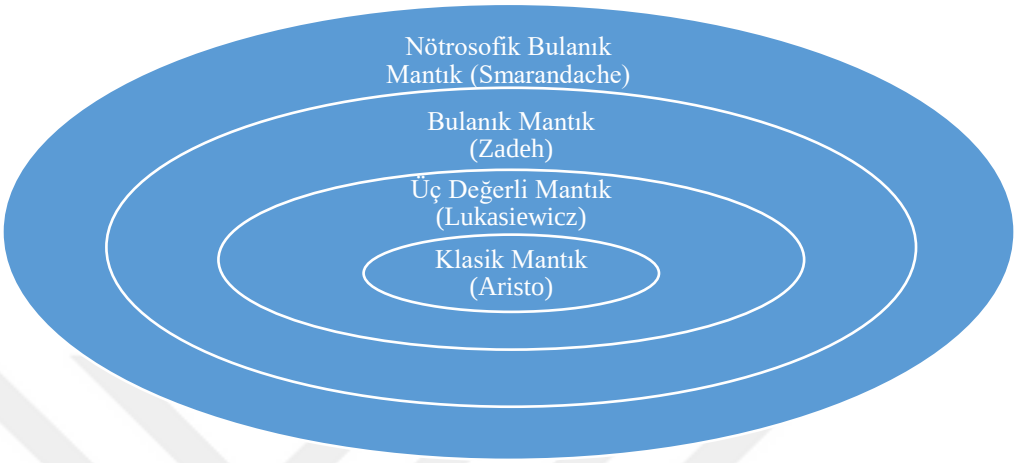
Lotfi Asker Zadeh 1965 yılında kaleme aldığı makalesinde, kesin olmayan sınırlara sahip kümelerin oluşturduğu bulanık küme teorisini ortaya koymuştur. Bulanık küme batı dünyasında şüphe ile karşılanmış ise de 1970'lerde doğuda özellikle Japonya da büyük ilgi görmüştür (Baral , 2011, s. 8). Zadeh bulanık kümelerde, Aristo mantığının aksine, siyah ve beyaza ek olarak ara renk olan, gri renk gibi bir renginde bulunduğunu ifade etmiştir (Klir & Yuan , 1995, s. 3).

1980 yılında Narinyani, Lambert'inin üç bölmesini (tripartition), belirsiz kümeler (indefinite set) olarak tanımlamıştır. Atanassov ise bu üç bölmeyi devam ettirmiştir (Smarandache & Osman, 2007, s. 52). Atanassov, 1986 yılında bulanık kümelerin problemleri çözümleme de tek başına yetersiz kalmasından yola çıkarak sezgisel bulanık kümeleri tanımlamıştır. Sezgisel bulanık küme, bulanık kümelerin genellemesi olarak sunulmuştur. Sezgisel bulanık kümelerde, bulanık kümelere ek olarak her bir eleman üyelik derecesinin yanı sıra üye olmama derecesine de sahiptir.

Smarandache ise 1995 yılında, belirsizlik derecelerini dikkate aldığı nötrosofik bulanık kümeleri sunmuştur. Smarandache, bu çalışmayı 1998 yılında yayınlamıştır. Çalışmada nötrosofik bulanık kümeler birbirinden bağımsız olan doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık biçiminde üç bileşen ile tanımlanmıştır. 2003 yılında nötrosofik bulanık sayılar, 2005 yılında aralıklı nötrosofik bulanık kümeler literatüre sunulmuştur [3].

2 http://auzefkitap.istanbul.edu.tr/kitap/kok/modernmantik.pdf Erişim Tarihi: 05.05.2021
3 http://www.c3.icvl.eu/2016/smarandache Erişim Tarihi: 06.05.2021

Belirsizlik ile başa çıkmak için bulanık mantıktan başlamak üzere birçok yöntem geliştirilmiştir. Mantık sisteminin çıkış noktası olan klasik mantıktan, belirsizliği dikkate alan nötrosofik bulanık mantığa kadar olan mantık gelişimi Şekil 2.1'de özetlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 2.1. *Nötrosofik Bulanık Kümelerin Diğer Kümeler ile İlişkisi (Ashbacher, 2002, s. 1)*

Nötrosofik bulanık mantık, belirsizlik, fazla bilgi, beklenilmeyen durum, bilinmezlik, eksiklik ve tutarsızlık gibi durumları matematiksel olarak modellemek için kullanılmaktadır (Özdemir, 2018, s. 30). Nötrosofik bulanık mantık, bulanık mantık ve sezgisel bulanık mantıkta olduğu gibi, problemleri nötrosofik bulanık kümeler aracılığıyla modellemektedir.

2.3. Nötrosofik Bulanık Küme

Nötrosofik bulanık kümeler, Florentin Smarandache tarafından, sezgisel bulanık kümelerin genelleştirilmiş hali olarak literatüre sunulmuştur (Smarandache , Basset, & Broumi, 2020, s. 1). Smarandanche, nötrosofik bulanık kümeler ile bir elemanı, doğruluk ve yanlışlık derecesinin yanında bağımsız belirsizlik derecesi ile de ele almıştır (Islam & Deb, 2019, s. 99).

X evrensel küme ve A kümesi X evrensel kümesinde nötrosofik bulanık bir alt küme olmak üzere, eşitlik (2.1)' deki gibi gösterilmektedir.

$$A = \{(x, (T_A(x), (I_A(x)), (F_A(x))) : x \in X\} \quad \textbf{(2.1)}$$

Nötrosofik bulanık A kümesi;

$T_A(x)$: Doğruluk üyelik fonksiyonu

$I_A(x)$: Belirsizlik üyelik fonksiyonu

$F_A(x)$: Yanlışlık üyelik fonksiyonu

olmak üzere üç bileşen ile temsil edilmektedir (Smarandache, 2004, s. 5). Nötrosofik bulanık kümelerin gösterimine dair standart bir simge yoktur. Çalışmanın bu kısmından itibaren nötrosofik bulanık kümeler için $A^{\tilde{N}}$, doğruluk üyelik fonksiyonu için "μ", belirsizlik üyelik fonksiyonu için "σ" ve yanlışlık üyelik fonksiyonu için "ν" sembolleri kullanılacaktır.

Aşağıda bulanık kümeler, sezgisel bulanık kümeler ve nötrosofik bulanık kümeler ile ilgili temel tanımlardan bahsedilecektir.

Tanım 1. (Bulanık Küme): X evrensel kümesinde tanımlı x elemanlarından oluşan bulanık Ã kümesi eşitlik (2.2)'deki gibi gösterilmektedir

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) : x \in X\} \quad \textbf{(2.2)}$$

$\mu_{\tilde{A}}(x)$ üyelik fonksiyonu derecesi, aynı zamanda doğruluk derecesi olarak adlandırılmaktadır. Üyelik fonksiyonu derecesi 0 ile 1 arasında değerler alır ve $\mu_{\tilde{A}}$: X→[0,1] biçiminde tanımlanmaktadır (Bhattacharyya, Roy, & Majumdar, 2018, s. 29).

Tanım 2. (Sezgisel Bulanık Küme): Bulanık kümelerin genelleştirilmesi olan sezgisel bulanık kümeler üyelik fonksiyonu ($\mu_{A^{\tilde{I}}}(x)$) ve üye olmama fonksiyonu ($v_{A^{\tilde{I}}}(x)$) olmak üzere iki alt küme ile tanımlanmaktadır. X evrensel kümesinde tanımlı sezgisel bulanık $A^{\tilde{I}}$ kümesi eşitlik (2.3)'teki gibi gösterilmektedir.

$$A^{\tilde{I}} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x), \nu_{\tilde{A}}(x)) \mid x \in X\} \quad \textbf{(2.3)}$$

$\mu_{A^{\tilde{I}}}$ üye olma derecesi ve $v_{A^{\tilde{I}}}$ üye olmama dereceleri 0 ile 1 arasında değerler almaktadır (Bhattacharyya, Roy, & Majumdar, 2018, s. 29). Eşitlik (2.4)'te üye olma ve üye olmama dereceleri gösterilmektedir.

$$\mu_{A^{\tilde{I}}} : X \to [0,1] \text{ ve } v_{A^{\tilde{I}}} : X \to [0,1] \quad \textbf{(2.4)}$$

Sezgisel bulanık kümeler, üye olma ve olmama derecelerinin yanı sıra tereddüt derecesi ile de tanımlanmaktadır. Tereddüt indeksi veya tereddüt derecesi $\pi_{A^{\tilde{I}}}$ ile gösterilmektedir. Tereddüt derecesi, üye olma ve üye olmama derecelerinin toplamının,

birden farkının alınması ile hesaplanmaktadır. Tereddüt derecesi $\pi_{A^{\tilde{I}}}$ eşitlik (2.5)'teki gibi gösterilmektedir.

$$\pi_{A^{\tilde{I}}} = 1 - \mu_{A^{\tilde{I}}}(x) - \nu_{A^{\tilde{I}}}(x) \quad \textbf{(2.5)}$$

Tereddüt derecesi $\pi_{A^{\tilde{I}}}(x) = 0$ olması durumunda sezgisel bulanık $A^{\tilde{I}}$ kümesi, bulanık küme olmaktadır (Abdel-Baset, Hezam, & Smarandache, 2016, s. 113).

Tanım 3. (Nötrosofik Bulanık Küme): X evrensel küme ve x bu kümede genel bir eleman olsun. X' de tanımlı nötrosofik bulanık A kümesi doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık üyelik fonksiyonları ile nitelendirilmektedir.

$$\mu_{A^{\tilde{N}}}(x);\ x \rightarrow]0^{-},\ 1^{+}[$$

$$\sigma_{A^{\tilde{N}}}(x) : x \rightarrow]0^{-},\ 1^{+}[$$

$$\nu_{A^{\tilde{N}}}(x) : x \rightarrow]0^{-},\ 1^{+}[$$

$\mu_{A^{\tilde{N}}}(x), \sigma_{A^{\tilde{N}}}(x), \nu_{A^{\tilde{N}}}(x)$ $]0^{-},\ 1^{+}[$ aralığında gerçek, standart ya da standart olmayan alt kümeler olmak üzere nötrosofik bulanık kümeler eşitlik (2.6)'daki gibi gösterilmektedir.

$$0^{-} \leq sup\ \mu_{A^{\tilde{N}}}(x) + sup\ \sigma_{A^{\tilde{N}}}(x) + sup\ \nu_{A^{\tilde{N}}}(x) \leq 3^{+} \quad \textbf{(2.6)}$$

Nötrosofik bulanık kümeler, standart olmayan değerlerini $]0^{-},\ 1^{+}[$ birim aralığından almaktadır. Standart olmayan sonlu sayılar $0^{-} = 0 - \delta$ ve $1^{+} = 1 + \delta$'dır. Burada 1 ve 0 standart kısımı, δ ise standart olmayan kısmı ifade etmektedir (Dalkılıç, 2021, s. 2). Nötrosofik bulanık kümeler bu aralıklarda $]0^{-},\ 1^{+}[$ standart ve standart olmayan kümeler olmasına rağmen gerçek hayatta bu değerleri kullanmak çok zordur bu nedenle çalışmalarda [0,1] aralığı alınmaktadır. Nötrosofik bulanık kümelerde doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık üyelik fonksiyonlarının toplamına dair bir sınır yoktur (Smarandache, Sunderraman, & Zhang, 2012, s. 11). Eşitlik 2.6'da belirtilen sup(…) supremum teriminin kısaltılmasıdır. Supremum, bir kümede üst sınır elemanlarının en küçüğü anlamına gelmektedir.

Tanım 4. (Tek Değerli Nötrosofik Bulanık Küme): X evrensel küme ve x bu kümenin elemanı olmak üzere, tek değerli nötrosofik bulanık küme; doğruluk üyelik fonksiyonu $\mu_{A^{\tilde{N}}}(X)$, belirsizlik üyelik fonksiyonu $\sigma_{A^{\tilde{N}}}(X)$ ve yanlışlık üyelik fonksiyonu

$\nu_{A^{\tilde{N}}}$(X) ile tanımlanmaktadır (Wang H. , Smarandache, Zhang, & Sunderraman , 2010, s. 411). Tek değerli nötrosofik bulanık kümeler eşitlik (2.7)'deki gibi gösterilmektedir.

$$0 \leq \mu_{A^{\tilde{N}}}(x) + \sigma_{A^{\tilde{N}}}(x) + \nu_{A^{\tilde{N}}}(x) \leq 3 \qquad \textbf{(2.7)}$$

Tek değerli nötrosofik bulanık kümelerin etki alanı [0,1] aralığının sınırlarını aşmaz (Caballero, Erick Gonzalez; Smarandache, Florentin ; Vazquez , Maikel Leyva;, 2019, s. 37). Diğer bir ifade ile doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık üyelik fonksiyonlarının her biri ayrı ayrı en yüksek 1 değerini alabilmektedir. Nötrosofik bulanık kümelerin, bulanık ve sezgisel bulanık kümelerden temek farkı, doğruluk, yanlışlık ve belirsizlik üyelik fonksiyonlarının derecelerinin toplamı 1'e eşit olmak zorunda değildir. Toplam 1'den büyük olabilmektedir.

Tanım 5. (Tümleyen): $A^{\tilde{N}}$ tek değerli nötrosofik bulanık kümesinin tümleyeni $A^{\tilde{N}^c}$ ile gösterilmektedir. $\forall\, x \in X$ için;

$$\mu_{A^{\tilde{N}^c}}(x) = \nu_{A^{\tilde{N}}}(x)$$

$$\sigma_{A^{\tilde{N}^c}}(x) = 1 - \sigma_{A^{\tilde{N}}}(x)$$

$$\nu_{A^{\tilde{N}^c}}(x) = \mu_{A^{\tilde{N}}}(x)$$

olmak üzere nötrosofik bulanık $A^{\tilde{N}}$ kümesinin tümleyeni eşitlik (2.8)'deki gibi gösterilmektedir.

$$A^c = \left\{x, \nu_{A^{\tilde{N}}}(x), 1 - \sigma_{A^{\tilde{N}}}(x), \mu_{A^{\tilde{N}}}(x) \mid x \in X\right\} \qquad \textbf{(2.8)}$$

Nötrosofik bulanık kümelerin; aralık değerli nötrosofik bulanık küme, tek değerli nötrosofik bulanık küme, bipolar nötrosofik bulanık küme, tek değerli kararsız nötrosofik bulanık küme gibi türleri vardır.

- Aralık değerli nötrosofik bulanık küme: X evrensel bir küme ve $A^{\tilde{N}}$evrensel küme de nötrosofik bulanık bir alt küme olmak üzere, aralık değerli nötrosofik bulanık $A^{\tilde{N}}$ kümesi eşitlik (2.9)'daki gibi gösterilmektedir.

$$A^{\tilde{N}} = \{ (x, \mu_{A^{\tilde{N}}}(x), \sigma_{A^{\tilde{N}}}(x), \nu_{A^{\tilde{N}}}(x)) \mid x \in X\} \qquad \textbf{(2.9)}$$

Burada, aralık değerli doğruluk üyelik fonksiyonu $\mu_{A^{\tilde{N}}}(x) = [\mu^L_{A^{\tilde{N}}}, \mu^U_{A^{\tilde{N}}}]$, aralık değerli belirsizlik üyelik fonksiyonu $\sigma_{A^{\tilde{N}}}(x) = [\sigma^L_{A^{\tilde{N}}}, \sigma^U_{A^{\tilde{N}}}]$ ve aralık değerli yanlışlık üyelik fonksiyonu $\nu_{A^{\tilde{N}}}(x) = [\nu^L_{A^{\tilde{N}}}, \nu^U_{A^{\tilde{N}}}]$ olmak üzere her $x \in X$ için bu üyelik fonksiyonları [0,1] arasında değerler almaktadır.

Örneğin; $X = \{x_1, x_2, x_3\}$ kümesinde, x_1 yetenek, x_2 güvenilirlik ve x_3 fiyat olmak üzere, bazı uzmanların anketlerinden elde edilen sonuçlar ile doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık dereceleri elde edilmiştir. Bu değerler ile aralık değerli nötrosofik bulanık küme, eşitlik (2.10)'daki gibi gösterilmektedir (Wang H. , Smarandache , Zhang, & Sunderraman, 2005, s. 7).

$$A^{\tilde{N}} = \begin{cases} < x_1, [0.2,0.4], [0.3,0.5], [0.3,0.5] > \\ < x_2, [0.5,0.7], [0, \ \ 0.2], [0.2,0.3] > \\ < x_3, [0.6,0.8], [0.2,0,3], [0.2,0.3] > \end{cases} \quad \textbf{(2.10)}$$

Burada, x_1 (yetenek) elemanı [0.2,0.4] aralığında doğruluk üyelik derecesi, [0.3,0.5] aralığında belirsizlik üyelik derecesine ve [0.3,0.5] aralığında yanlışlık üyelik derecesine sahipliği göstermektedir.

- Tek değerli nötrosofik bulanık küme: Nötrosofik bulanık kümelerin genel hali ile mühendislik ve bilimsel alanlarda kullanılması zordur. 2010 yılında Wang ve arkadaşları, nötrosofik bulanık küme teorisinin gerçek hayat problemlerine uygulanabilmesi amacıyla tek değerli nötrosofik bulanık kümeleri geliştirmişlerdir. Tek değerli nötrosofik bulanık kümelerde]0−, 1+[aralığı yerine [0,1] aralığı alınmaktadır (Karamaşa, 2020, s. 4). Nötrosofik bulanık kümelerin özel bir hali olan tek değerli nötrosofik bulanık kümeler eşitlik (2.11)'deki gibi gösterilmektedir.

$$A^{\tilde{N}} = \{(x, \mu_{A^{\tilde{N}}}(x), \sigma_{A^{\tilde{N}}}(x), \nu_{A^{\tilde{N}}}(x)) \mid x \in X\} \quad \textbf{(2.11)}$$

Tek değerli nötrosofik bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları için sınırlar ve toplamlarının alacağı değerler eşitlik (2.12)'deki gibi gösterilmektedir.

$$\mu_{A^{\tilde{N}}}(x): X \rightarrow [0,1]$$
$$\sigma_{A^{\tilde{N}}}(x): X \rightarrow [0,1]$$
$$\nu_{A^{\tilde{N}}}(x): X \rightarrow [0,1]$$

$$0 \leq \mu_{A^{\tilde{N}}}(x) + \sigma_{A^{\tilde{N}}}(x) + \nu_{A^{\tilde{N}}}(x) \leq 3 \ \forall x \in X \quad \textbf{(2.12)}$$

- Tek değerli kararsız nötrosofik bulanık küme; X sabit küme olmak üzere tek değerli kararsız nötrosofik bulanık küme eşitlik (2.13)'teki gibi gösterilmektedir.

$$A^{\tilde{N}}{}_h = \{(x, \ \mu_{A^{\tilde{N}}{}_h}(x), \sigma_{A^{\tilde{N}}{}_h}(x), \nu_{A^{\tilde{N}}{}_h}(x)) \mid x \in X\} \quad \textbf{(2.13)}$$

Burada $\mu_{A^{\tilde{N}}{}_h}(x), \sigma_{A^{\tilde{N}}{}_h}(x), \nu_{A^{\tilde{N}}{}_h}(x)$ fonksiyonları [0,1] arasında değer alır. Bu fonksiyonlar sırası ile kararsız doğruluk üyelik derecesi, kararsız belirsizlik üyelik derecesi, kararsız yanlışlık üyelik derecesini temsil etmektedir.

$\mu_{A^{\tilde{N}}{}_h}(x)$= {$t_1,t_2,\ldots,t_l$} ve $t_1,t_2,\ldots,t_l$ doğruluk üyelik fonksiyonunun öğeleri,

$\sigma_{A^{\tilde{N}}{}_h}(x)$ ={$y_1,y_2,\ldots,y_p$} ve $y_1,y_2,\ldots,y_p$ belirsizlik üyelik fonksiyonunun öğeleri,

$\nu_{A^{\tilde{N}}{}_h}(x)$ ={$z_1,z_2,\ldots,z_q$} ve $z_1,z_2,\ldots,z_q$ yanlışlık üyelik fonksiyonunun öğeleri olmak üzere,

Her $x \in X$ için l, p, q sırasıyla doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık ($\mu_{A^{\tilde{N}}{}_h}$, $\sigma_{A^{\tilde{N}}{}_h}$ ve $\nu_{A^{\tilde{N}}{}_h}$) üyelik fonksiyonlarındaki kararsız bulanık elemanların numaralarını temsil etmektedir.

Bir örnek ile açıklayacak olursak, X'te tanımlı bir x elemanı için

$\mu_{A^{\tilde{N}}{}_h}(x)$= {0.4,0.5,0.6},

$\sigma_{A^{\tilde{N}}{}_h}(x)$= {0.3, 0.4},

$\nu_{A^{\tilde{N}}{}_h}(x)$ = {0.1,0.3}ise bu küme eşitlik (2.14)'teki gibi gösterilir.

$$A^{\tilde{N}}{}_h = \{\langle\{0.4,0.5,0.6\},\{0.3,0.4\},\{0.1,0.3\}\rangle \mid x \in X\} \quad \textbf{(2.14)}$$

Burada l=3, p=2 ve q= 2'dir (Liu & Luo, 2019, s. 419).

2.4. Nötrosofik Bulanık Küme İşlemleri

Klasik X evrensel kümesinde, nötrosofik bulanık A kümesi; $A^{\tilde{N}}$ ve nötrosofik bulanık B kümesi; $B^{\tilde{N}}$ olmak üzere nötrosofik bulanık küme işlemleri aşağıda gösterildiği gibi tanımlanmaktadır.

Tümleme: Nötrosofik bulanık $A^{\tilde{N}}$ kümesi $A^{\tilde{N}}$ = {(x, $\mu_{A^{\tilde{N}}}$ (x), $\sigma_{A^{\tilde{N}}}$ (x), $\nu_{A^{\tilde{N}}}$ (x))$\mid x \in X$} olmak üzere Nötrosofik bulanık $A^{\tilde{N}}$ kümesinin tümleyeni eşitlik (2.15)'teki gibi gösterilmektedir.

$$A^{\tilde{N}^c} = \{x, \nu_{A^{\tilde{N}}}(x),\ 1 - \sigma_{A^{\tilde{N}}}(x), \mu_{A^{\tilde{N}}}(x) \mid x \in X\} \quad \textbf{(2.15)}$$

Kesişim: Nötrosofik bulanık $A^{\tilde{N}}$ ve Nötrosofik bulanık $B^{\tilde{N}}$kümelerinin kesişimi eşitlik (2.16)'daki gibi gösterilmektedir.

$$A^{\tilde{N}} \cap B^{\tilde{N}} = \{\mu_{A^{\tilde{N}}}(x) \wedge \mu_{B^{\tilde{N}}}(x), \sigma_{A^{\tilde{N}}}(x) \vee \sigma_{B^{\tilde{N}}}(x), \nu_{A^{\tilde{N}}}(x) \vee \nu_{B^{\tilde{N}}}(x)\ x \in X\} \quad \textbf{(2.16)}$$

Birleşim: Nötrosofik bulanık $A^{\tilde{N}}$ kümesi ve Nötrosofik bulanık $B^{\tilde{N}}$ kümelerinin birleşimi eşitlik (2.17)'deki gibi gösterilmektedir.

$$A^{\tilde{N}} \cup B^{\tilde{N}} = \{\mu_{A^{\tilde{N}}}(x) \vee \mu_{B^{\tilde{N}}}(x), \sigma_{A^{\tilde{N}}}(x) \wedge \sigma_{B^{\tilde{N}}}(x), \nu_{A^{\tilde{N}}}(x) \wedge \nu_{B^{\tilde{N}}}(x) x \in X\} \quad \textbf{(2.17)}$$

Alt Küme: $A^{\tilde{N}}$ve $B^{\tilde{N}}$ nötrosofik bulanık kümeler ve her x ∈ X için;

$$\mu_{A^{\tilde{N}}}(x) \leq \mu_{B^{\tilde{N}}}(x)$$
$$\sigma_{A^{\tilde{N}}}(x) \geq \sigma_{B^{\tilde{N}}}(x)$$
$$\nu_{A^{\tilde{N}}}(x) \geq \nu_{B^{\tilde{N}}}(x) \quad \textbf{(2.18)}$$

Eşitlik (2.18) şartını sağlıyor ise $A^{\tilde{N}}$ kümesine $B^{\tilde{N}}$ kümesinin nötrosofik bulanık alt kümesi denir ve $A^{\tilde{N}} \subset B^{\tilde{N}}$ biçiminde gösterilmektedir.

Eşitlik: $A^{\tilde{N}}$ ve $B^{\tilde{N}}$ kümeleri nötrosofik bulanık kümeler olmak üzere;

$A^{\tilde{N}} \subset B^{\tilde{N}}$ ve $B^{\tilde{N}} \subset A^{\tilde{N}}$ ise $A^{\tilde{N}}$ ve $B^{\tilde{N}}$ kümelerine nötrosofik bulanık eşit kümeler adı verilmektedir. Nötrosofik bulanık eşit kümeler eşitlik (2.19)'daki gibi gösterilmektedir.

$$A^{\tilde{N}} = B^{\tilde{N}} \quad \textbf{(2.19)}$$

Boş küme: $A^{\tilde{N}}$ kümesi nötrosofik bulanık bir küme olmak üzere, her x ∈ X için;

$$\mu_{A^{\tilde{N}}}(x)=0$$
$$\sigma_{A^{\tilde{N}}}(x)=1$$
$$\nu_{A^{\tilde{N}}}(x)=1 \quad \textbf{(2.20)}$$

eşitlik (2.20) şartını sağlıyor ise $A^{\tilde{N}}$ kümesine nötrosofik bulanık boş küme denilmektedir. Nötrosofik bulanık boş küme $\tilde{\emptyset}$ ile gösterilmektedir.

Evrensel Küme: $A^{\tilde{N}}$ nötrosofik bulanık bir küme olmak üzere, her x ∈ X için;

$$\mu_{A^{\tilde{N}}}(x)= 1$$
$$\sigma_{A^{\tilde{N}}}(x)=0$$
$$\nu_{A^{\tilde{N}}}(x)=0 \quad \textbf{(2.21)}$$

eşitlik (2.21) şartını sağlıyor ise $A^{\tilde{N}}$ kümesine nötrosofik bulanık evrensel küme denilmektedir (Karataş & Kuru , 2016, s. 90).

2.5. Bulanık Yapıların Karşılaştırılması

Buraya kadar açıklanmaya çalışılan bulanık yapılar; bulanık küme, sezgisel bulanık küme ve nötrosofik bulanık kümelerin her birinin avantajları ve dezavantajları Tablo 2.1'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir (Aboelhamd, Shamma, Saleh, & El-Khodary, 2021, s. 31).

Tablo 2.1. *Bulanık Yapıların Karşılaştırılması*

Bulanık Yapılar	Avantajlar	Dezavantajlar
Bulanık Kümeler	• Bulanıklığı inceleyen ilk algoritmadır. • Karmaşık problemleri çözümleyebilir. • Bir kaç veri girişi ile bile çıktı üretir. • Uygulanması kolaydır. • Algoritması esnektir.	• İnsan bilgi ve deneyimine bağlıdır. • Kuralları düzenli olarak güncellenmelidir. • Bazen doğru, tam girdi ile çalıştırıldığında bile güvenilir sonuçlar vermeyebilmektedir. • Bir problemi çözmek için tek ve sistematik bir yaklaşım karışıklığa sebep olabilir. • Doğru ve yanlışı temsil etmek için sadece net değerler alır.
Sezgisel Bulanık Kümeler	• Sadece üye olma derecesini değil aynı zamanda üye olmama derecesini de dikkate alır.	• Belirsizlik bileşenini dikkate almaz. • Bazen kafa karıştırıcı sonuçlar ortaya çıkarabilir. • Bazı durumlarda sezgisel mantıkla çelişebilir.
Nötrosofik Bulanık Kümeler	• Diğer bulanık kümelerin genelleştirilmiş halidir. • Esnektir. • Herhangi bir belirsizlik ve şüphe durumunda belirsizlik bileşenlerini dikkate alır. • Eksik olan ve kesin olmayan bilgiler içeren birçok karmaşık problemi çözümler. • Çok kriterli karar verme probleminin çözümünde güvenilir sonuçlar verir.	• Her bir bileşen için tek bir değer almak tamamen belirli sonuçlar almaya engel olabilmektedir.

2.6. Karar Verme Süreci

Karar, genel anlamda bir seçim işleminin sonucunda ortaya çıkan hüküm, yargı veya düşünceler bütünüdür. Gerek iş gerek günlük hayatımızda sürekli olarak karar verme eylemi ile karşı karşıya kalınır. Verilen karar hangi konuda olursa olsun bir seçimin

sonucudur. Yapılan bu seçim kimi zaman basit gibi görünse de etkileri büyük olabilmektedir. Bu nedenle karar verme sıradan bir seçimin ötesinde, bir dizi faaliyetlerin sonucudur.

Karar verme, bir karara ulaşma sürecini ifade etmektedir. Teknolojik gelişmeler ve buna bağlı olarak mesafeleri önemsenmeyecek kadar küçülten ticari ve küresel değişimler, işletmeleri daha büyük hedeflere ulaşma çabasına itmiştir. İnternet kullanımının yaygınlaşması ve iletişim olanaklarının artması ile işletmeler arası rekabet artmıştır. Özellikle de sanal rekabetin belirsizliği ile karşı karşıya kalan işletmelerin hayatta kalma ve büyüme savaşı, alınan kararların doğru, zamanında ve güvenilir olmasını çok önemli hale getirmiştir.

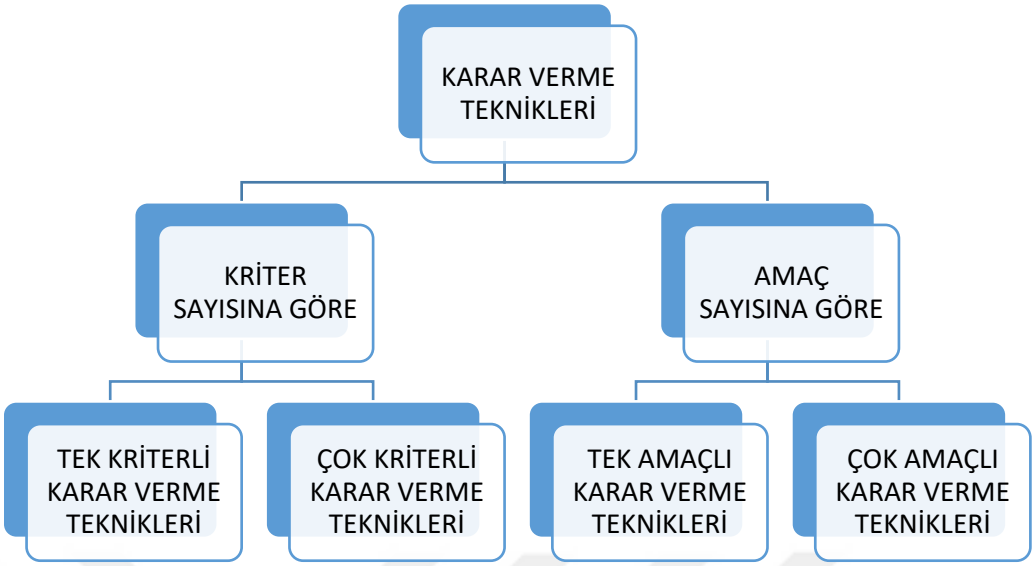
Karar verme; hedef ve amaçların gerçekleştirilmesi için, mevcut alternatifler arasından birini seçme eylemidir (Yıldırım & Önder , 2015, s. 1). Karar verme eylemi bir sürecin sonucudur ve karar verme sürecinin aşamaları;

- Ulaşılmak istenen amacı belirleme ve problemi tanımlama,
- Amaç ve sorunları irdeleme, öncelikleri belirleme,
- Alternatifleri belirleme,
- Alternatifleri değerlendirme,
- Kriterleri belirleme ve alternatifler arasından seçim yapma

olarak sıralanabilir (Koçel, 2003, s. 80).

Bir karar süreci, karar problemi, karar verici, amaç, kriterler ve alternatiflerin birleşiminden oluşmaktadır. Çözüme ulaşılmak istenen durum ile karar problemi ortaya çıkmaktadır. Karar verici, amaç için çaba gösteren ve sonuçlardan sorumlu kişi veya gruplardan oluşmaktadır. Amaç, karar vericilerin ulaşmak istedikleri sonuçtur. Kriterler alternatifleri değerlendirirken kullanılan değerlendirme ölçüleridir. Alternatifler ise çözüme ulaşmak için dikkate alınan seçeneklerin her biridir. Bir karar probleminden bahsedebilmek için alternatif sayısının en az iki olması gerekmektedir. Aksi takdirde bir seçim eyleminden söz edilemeyecektir.

Bir karar problemi ile karşılaşıldığında, karar vericilerin öncelikle problemin çözüm tekniğini belirlemesi gerekir. Problemin çözüm tekniği problemin yapısına göre farklılık gösterebilmektedir. Karar problemlerinin çözüm teknikleri kriter ve amaç yapısına göre Şekil 2.2'de görüldüğü gibi gruplandırılabilir.



Şekil 2.2. *Karar Verme Tekniklerinin Sınıflandırılması*

Gerçek dünyada kararlar çoğu zaman birden çok ve birbirleri ile çelişen amaç ve kriterler altında verilmektedir. Karar vericiler için tek kriter veya tek amaç altında karar verme nadir durumlar için söz konusu olmaktadır. Bir karar probleminin çözümünde, problemin birden çok ölçüt ile değerlendirilmesi problemi karmaşık yapıya dönüştürmektedir. Kriter ve amaç sayısının artması ile karar verme problemlerinin çözümü farklı boyutlara taşınmaktadır. Böylesi durumlarda çok kriterli karar verme teknikleri ortaya çıkmaktadır (Timor, 2011, s. 13).

Çok kriterli karar verme teknikleri, birden fazla ve eş zamanlı kriterlerin etkisinde en iyi alternatifin seçilmesine olanak sağlayan araçların meydana getirdiği bir oluşumdur (Zionts, 1979, s. 94). Çok kriterli karar verme teknikleri karar vericinin en iyi çözüme ulaşmasında rehber olmaktadır. Hedeflere en iyi şekilde ulaşmayı sağlayacak karara varmadan önce, karar verici çözüm sürecine dâhil edilmekte ve böylece tatmin edici çözümler aranmaktadır (Stewart, 1992, s. 571).

Çok kriterli karar verme teknikleri;

- Çok nitelikli karar verme teknikleri ve
- Çok amaçlı karar verme teknikleri olarak iki kategoriye ayrılmaktadır (Zimmerman , 1996, s. 303).

i. Çok Nitelikli Karar Verme Teknikleri: Kesin olarak belli olan birden çok alternatif arasından bir alternatifin seçilmesi sürecinde kullanılmaktadır. Çok nitelikli karar verme teknikleri, alternatif sayısının makul ve sınırlı sayıda olduğu

durumlarda tercih edilen tekniklerdir. Çok nitelikli karar verme tekniklerinde karar vericiler sınırlı sayıda eylem arasından, önceliklendirme veya sıralama yapmaktadır (Zavadskas, Antucheviciene, & Kar, 2019, s. 1).

Çok nitelikli karar verme teknikleri çok çeşitli olmakla beraber çoğunun alternatifler ve nitelikler (kriterler veya hedefler) gibi ortak yönleri bulunmaktadır. Nitelikler, alternatiflerin farklı boyutlarda görüntülenmesidir (Triantaphyllou E. , Shu, Sanchez , & Ray, 1998, s. 175). Alternatiflerin açıkça belirli ve sayılabilir olduğu çok nitelikli karar verme problemi, bir karar matrisi yardımı ile özetlenebilir. $(m\ x\ n)$ boyutlu bir karar matrisinde, alternatiflerle, alternatiflerin performans değerleri Tablo 2.2'de verilmiş olan tipik bir karar matrisinde görülmektedir.

Tablo 2.2. *Karar Matrisi (Triantaphyllou, Shu, & Ray, 1998)*

	Kriterler				
	K_1	K_2	K_3		K_n
A_1	a_{11}	a_{12}	a_{13}		a_{1n}
A_2	a_{21}	a_{22}	a_{23}		a_{2n}
A_3	a_{31}	a_{32}	a_{33}		a_{3n}
A_m	a_{m1}	a_{m2}	a_{m3}		a_{mn}

Matriste;

A_1: i. Alternatifi,

K_j: j. karar kriterlerini,

a_{ij}: i. alternatifin j. karar kriterine göre performansını gösteren matris elemanı ifade etmektedir.

ii. Çok Amaçlı Karar Verme Teknikleri: Karar vericiler günümüz karmaşık yönetim sistemlerinde nadiren minimum maliyet veya maksimum kâr gibi tek bir amaca ulaşmaya çalışmaktadır. Böyle durumlarda da çok amaçlı karar verme teknikleri devreye girmektedir (İmren, 2011, s. 16). Bir amaç yerine birden fazla amacın söz konusu olduğu ve bu amaçların birbirleriyle çeliştiği durumlarda, karar verme probleminin çözümü de güçleşmektedir. Bazen karar verme probleminde optimum çözüm yerine en iyi uzlaşık çözüme ulaşılabilmektedir (Zeleny, 1982, s. 167).

Çok amaçlı karar verme; alternatiflerin bir matematiksel programlama yapısı içinde dolaylı olarak tanımlandığı ve birden çok sayıda olduğu sürekli durumlarda karar vermeye dayanır (Gregory, 1998, s. 58). Hedef programlama, tam sayılı çok amaçlı programlama, dinamik programlama çok amaçlı karar verme tekniklerinden bazılarıdır.

Çok amaçlı karar verme teknikleri doğrusal programlamanın özel bir alanıdır. Doğrusal programlamadan farklı olarak çok amaçlı karar verme tekniklerinde modele aynı anda birden fazla amaç dâhil edilebilmektedir. Çok amaçlı karar verme teknikleri ile birden fazla amaç eş zamanlı olarak optimize edilmeye çalışılmaktadır. Genel olarak çok amaçlı karar verme problemi eşitlik (2.22)'deki gibi gösterilmektedir.

$$
\begin{aligned}
&min\ /\ max = \ f_i(x) && i = 1,2,\dots,m. \\
&\text{Kısıtlayıcılar} \\
&\qquad g_j(x) \leq \ 0, && j = 1,2,\dots,n. \\
&\qquad g_j(x) \geq 0, \\
&\qquad g_j(x) = \ 0, \\
&\qquad x \geq 0;
\end{aligned}
\tag{2.22}
$$

Burada, x karar değişkeni, m amaç fonksiyonu sayısı ve n kısıtlayıcı sayısını ve g_j kısıtlayıcıları ifade etmektedir (Gunantara, 2018, s. 4).

Çok amaçlı optimizasyon problemleri, parametreleri ve amaç öncelikleri belirgin değil de bulanık ise, bulanık çok amaçlı programlama söz konusudur. Sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon ve nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon teknikleri, bulanık çok amaçlı optimizasyon teknikleri arasında yer almaktadır.

2.7. Sezgisel Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği

Sezgisel bulanık kümeler sadece tek amaçlı problemlerin çözümlenmesinde değil, birden çok ve birbiri ile çelişen amaçların olduğu problemlerin optimize edilmesinde de kullanılmaktadır. Sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniğinin matematiksel modeli eşitlik (2.23)'teki gibi gösterilmektedir.

$$max = [{f_1}^I(x), {f_2}^I(x), \dots {f_{k1}}^I(x)]$$

$$min = [{f_{k1+1,}}^I(x), {f_{k1+2}}^I(x), \dots {f_k}^I(x)]$$

Kısıtlayıcılar

$g_i(x) \leq c_i$, i= 1,2,…, m_1

$g_i(x) \geq c_i$, i= $m_1 + 1, m_1 + 2, \dots, m_2$

$g_i(x) = c_i$, i= $m_2 + 1, m_2 + 2, \dots, m,$

$x \geq 0,$ **(2.23)**

Burada;

x: karar değişkenini,

${f_j}^I(x)$: Amaç fonksiyonlarını,

$g_l(x)$: Kısıtlayıcı fonksiyonlarını göstermektedir (Tsegaye & Thillaigovindan, 2021, s. 635).

Çok amaçlı bir sezgisel bulanık optimizasyon problemi çözümlenirken şu adımlar izlenmektedir (Bharati, Nishad, & Singh, 2014, s. 163).

Adım 1: Sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon problemi eşitlik (2.23)'te verildiği gibi kurulur.

Adım 2: Probleme ait amaç fonksiyonlarından herhangi biri rastgele seçilir. Seçilen amaç fonksiyonu diğer amaçlar yok sayılarak, problemin tüm kısıtlayıcıları altında tek amaçlı olarak klasik doğrusal programlama tekniği ile çözülür.

Adım 3: Adım 2, diğer tüm amaç fonksiyonları için ayrı ayrı uygulanır. Amaç fonksiyonlarının ve karar değişkenlerinin alacağı değerler bulunur. Her bir amaç fonksiyonu için elde edilen optimal çözümler ile $x_1, x_2\, x_3, \dots, x_k$ olmak üzere çözüm vektörü elde edilir.

Adım 4: Elde edilen çözüm vektörlerini kullanarak, her bir amaç fonksiyonu için amaç fonksiyonlarının değerleri aşağıda gösterilen ödünleşme matrisindeki gibi bulunur. Ödünleşme matrisi Tablo 2.3'te gösterilmektedir (Ghosh S. , Roy, Ebrahimnejad, & Verdegay, 2020, s. 1013).

Tablo 2.3. *Ödünleşme Matrisi*

	f_1		f_3		f_k
Z_1	$f_1^*(x_1)$	$f_2(x_1)$	$f_3(x_1)$		$f_k(x_1)$
Z_2	$f_1(x_2)$	$f_2^*(x_2)$	$f_3(x_2)$		$f_k(x_2)$
Z_3	$f_1(x_3)$	$f_2(x_3)$	$f_3^*(x_3)$		$f_k(x_3)$
		...	...		...
Z_n	$f_1(x_k)$	$f_2(x_k)$	$f_3(x_k)$		$f_k(x_k)^*$

Adım 5: Ödünleşme matrisinden elde edilen değerler ile üyelik fonksiyonlarının alt ve üst limitleri belirlenir. Üye olma ve üye olmama fonksiyonlarının alt ve üst limitleri farklı amaç fonksiyonları için farklı biçimde hesaplanmaktadır. Tablo 2.4'te amaç fonksiyonlarının maksimum yapıda olması durumunda üyelik fonksiyonlarının alt ve üst limitlerinin nasıl hesaplandığı gösterilmektedir (Bharati, Nishad, & Singh, 2014, s. 165; Banerjee & Roy, 2010, s. 9).

Tablo 2.4. *Maksimizasyon Yapılı Sezgisel Bulanık Üyelik Fonksiyonlarının Alt ve Üst Limitlerinin Belirlenmesi*

Amaç Fonksiyonu Yapısı	**Maksimizasyon Yapılı Amaç Fonksiyonu**	
Üyelik Fonksiyonu Türü	**Alt Limit**	**Üst Limit**
Üye Olma Fonksiyonu (μ)	$L_k^{\mu} = min\{f_k(x_k)\}$	$U_k^{\mu} = max\{f_k(x_k)\}$
Üye Olmama Fonksiyonu (ν)	$L_k^{\nu} = L_k^{\mu}$	$U_k^{\nu}=U_k^{\mu} - \lambda(U_k^{\mu} - L_k^{\mu})$

Tablo 2.5'te minimizasyon yapılı amaç fonksiyonlarının üyelik fonksiyonlarının alt ve üst limitlerinin hesaplanmasına dair formuluzasyon gösterilmektedir (Bharati, Nishad, & Singh, 2014, s. 165; Banerjee & Roy, 2010, s. 9).

Tablo 2.5. *Minimizasyon Yapılı Sezgisel Bulanık Üyelik Fonksiyonlarının Alt ve Üst Limitlerinin Belirlenmesi*

Amaç Fonksiyonu Yapısı	**Minimizasyon Yapılı Amaç Fonksiyonu**	
Üyelik Fonksiyonu Türü	**Alt Limit**	**Üst Limit**
Üye Olma Fonksiyonu (μ)	$L_k^{\mu} = min\{f_k(x_k)\}$	$U_k^{\mu} = max\{f_k(x_k)\}$
Üye Olmama Fonksiyonu (ν)	$L_k^{\nu}=L_k^{\mu}+\lambda(U_k^{\mu} - L_k^{\mu})$	$U_k^{\nu} = U_k^{\mu}$

Eşitsizliklerde gösterilen U_k ilgili amacın üst limitini diğer bir ifade ile alabileceği en yüksek değeri göstermektedir. L_k ise ilgili amacın alt limitini diğer bir ifade ile alabileceği en düşük değeri göstermektedir. U_k maksimizasyon yapılı problemlerde amaç fonksiyonunun alabileceği en iyi değer iken, minimizasyon yapılı problemlerde amaç fonksiyonunun alacağı en kötü değeri göstermektedir. Tabloda verilen λ değeri, $0 < \lambda < 1$ aralığında olmak kaydı ile karar verici tarafından belirlenmektedir (Pawar, Patel, & Mirajkar, 2020, s. 3). Çalışmamızda λ=0,3 olarak alınmıştır.

Adım 6: Adım 5'te elde edilen sınır değerler ile üye olma ve üye olmama fonksiyonlarının alt ve üst limitleri, farklı amaç yapılarına göre Tablo 2.4 ve Tablo 2.5'te gösterildiği gibi elde edilir. Amaç fonksiyonlarının yapısına göre üye olma ve üye olmama fonksiyonlarının belirlenmesi farklılık göstermektedir.

Amaç fonksiyonunun maksimizasyon yapılı olması durumunda üye olma fonksiyonu eşitlik (2.24)'teki gibi tanımlanmaktadır.

$$\mu_{k\tilde{I}}(x)=\begin{cases} 0, & f_k(x) \le L_k^{\mu} \quad ise \\ \frac{f_k(x)-L_k^{\mu}}{U_k^{\mu}-L_k^{\mu}}, & L_k^{\mu} \le f_k(x) \le U_k^{\mu} \quad ise \\ 1, & f_k(x) \ge U_k^{\mu} \quad ise \end{cases} \qquad \textbf{(2.24)}$$

Amaç fonksiyonunun maksimizasyon yapılı olması durumunda üye olmama fonksiyonu eşitlik (2.25)'teki gibi tanımlanmaktadır.

$$\nu_{k\tilde{I}}(x)=\begin{cases} 0, & f_k(x) \ge U_k^{\nu} \quad ise \\ \frac{U_k^{\nu}(x)-f_k(x)}{U_k^{\nu}-L_k^{\nu}}, & L_k^{\nu} \le f_k(x) \le U_k^{\nu} \quad ise \\ 1, & f_k(x) \le L_k^{\nu} \quad ise \end{cases} \qquad \textbf{(2.25)}$$

Burada;

L_k^{μ}: Üye olma fonksiyonu alt limiti

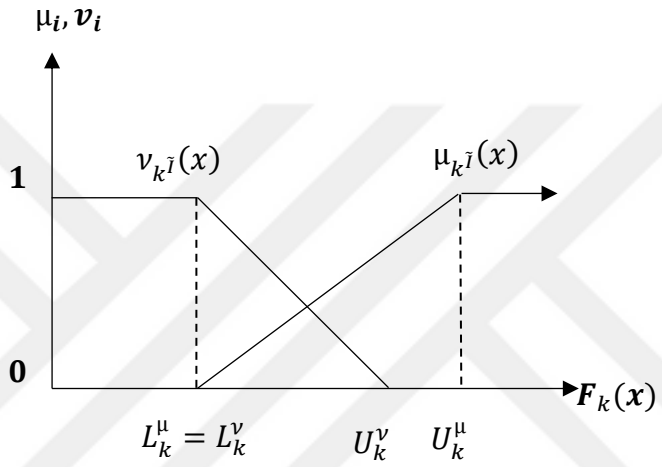
U_k^{μ}: Üye olma fonksiyonu üst limiti

L_k^{ν}: Üye olmama fonksiyonu alt limiti

U_k^{ν}: Üye olmama fonksiyonu üst limiti

$f_k(x)$: k. Fonksiyonu göstermektedir.

Şekil 2.3'te maksimizasyon yapılı sezgisel bulanık kümeler için üye olma ve üye olmama fonksiyonları gösterilmektedir (Bharati, Nishad, & Singh, 2014, s. 166).



Şekil 2.3. *Maksimizasyon Yapılı Sezgisel Bulanık Kümelerde Üyelik Fonksiyonları*

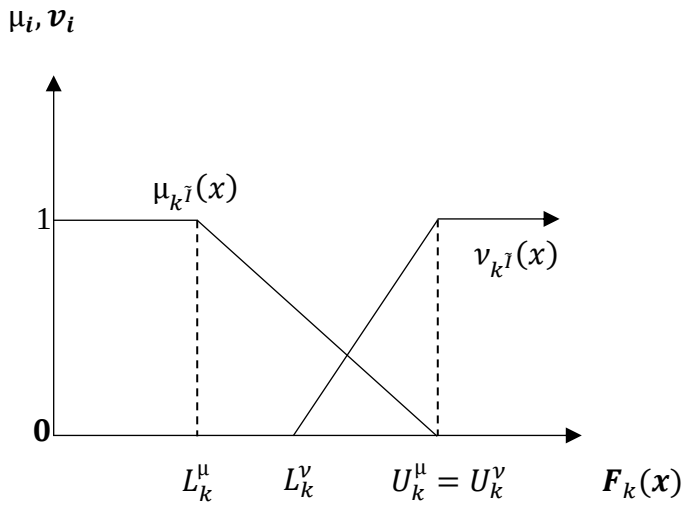
Amaç fonksiyonunun minimizasyon yapılı olması durumunda üye olma fonksiyonu eşitlik (2.26)'daki gibi tanımlanmaktadır.

$$\mu_{k^I}(x)=\begin{cases} 1, & f_k(x) \le L_k^{\mu} \quad ise \\ \frac{U_k^{\mu}-f_k(x)}{U_k^{\mu}-L_k^{\mu}}, & L_k^{\mu} \le f_k(x) \le U_k^{\mu} \quad ise \\ 0, & f_k(x) \ge U_k^{\mu} \quad ise \end{cases} \tag{2.26}$$

Amaç fonksiyonunun minimizasyon yapılı olması durumunda üye olmama fonksiyonu eşitlik (2.27)'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$\nu_{k^I}(x)=\begin{cases} 1, & f_k(x) \ge U_k^{\nu} \quad ise \\ \frac{f_k(x)-L_k^{\nu}(x)}{U_k^{\nu}-L_k^{\nu}} & L_k^{\nu} \le f_k(x) \le U_k^{\nu} \quad ise \\ 0, & f_k(x) \le L_k^{\mu} \quad ise \end{cases} \tag{2.27}$$

Şekil 2.4'te minimizasyon yapılı sezgisel bulanık kümeler için üye olma ve üye olmama fonksiyonları gösterilmektedir (Rey & Roy, 2015, s. 60).



Şekil 2.4. *Minimizasyon Yapılı Sezgisel Bulanık Kümelerde Üyelik Fonksiyonları*

Bir optimizasyon probleminde, maksimizasyon yapılı amaçların olduğu durumlarda, her bir fonksiyon kendi en yüksek değerine (U_k^{μ}) yaklaştıkça kabul seviyesi diğer bir ifade ile üye olma derecesi artar. Dolayısı ile ilgili amacın en yüksek değere ulaşması ile karar verici tam olarak tatmin olur. Bununla beraber amaçların minimizasyon yapılı olduğu durumlarda, her bir fonksiyon kendi en düşük değerine (L_k^{μ}) yaklaştıkça tatmin düzeyi artar. Eğer tüm hedefler en düşük değerlerine ulaşırsa karar verici tamamen tatmin olur.

Adım 7: Üye olma ve üye olmama fonksiyonları belirlendikten sonra, üye olma fonksiyonu maksimize ve üye olmama fonksiyonu minimize edilmek üzere, sezgisel bulanık optimizasyon modeli eşitlik (2.28)'deki gibi gösterilir.

$$
\begin{aligned}
&Maksimum\ \mu_{k^I}(f_k(x))\\
&Minimum\ \nu_{k^I}(f_k(x))\\
&Kısıtlayıcılar\\
&\mu_k^{\tilde{I}}\left(f_k(x)\right)+\nu_k^{\tilde{I}}\left(f_k(x)\right)\le 1\\
&\mu_k^{\tilde{I}}\left(f_k(x)\right)\ge \nu_k^{\tilde{I}}\left(f_k(x)\right)\\
&\nu_{k^I}(f_k(x))\ge 0\\
&g_j\ \le b_j\\
&x\ge 0\\
&k=1,2,\dots,k.\\
&j=1,2,\dots,m.
\end{aligned}
\qquad \textbf{(2.28)}
$$

Bu model daha sonra eşitlik (2.29)'da gösterildiği gibi klasik doğrusal programlama modeline dönüştürülür. Bu dönüşüm üye olma fonksiyonunun α gibi ek bir değişken ve üye olmama fonksiyonun β gibi ek bir değişken ile eşleştirilmesi ile gerçekleştirilir.

$$
\begin{aligned}
&Maksimum(\alpha-\beta)\\
&Kısıtlayıcılar\\
&\mu_k^{\tilde{I}}\left(f_k(x)\right)\ge \alpha\\
&\nu_k^{\tilde{I}}\left(f_k(x)\right)\le \beta\\
&\alpha+\beta\le 1\\
&\alpha\ge\beta\\
&\beta\ge 0\\
&g_j\ \le b_j\\
&x\ge 0\\
&k=1,2,\dots,k.\\
&j=1,2,\dots,m.
\end{aligned}
\qquad \textbf{(2.29)}
$$

α ve β değişkenleri [0,1] aralığında tanımlanmaktadır. α en küçük üye olma derecesini, β en büyük üye olmama derecesini ifade etmektedir. α en küçük üye olma derecesinin maksimize ve β en büyük üye olmama derecesini minimize edilir. Böylece elde edilen doğrusal model sayesinde problemler kolaylıkla çözülebilmektedir.

2.8. Nötrosofik Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği

Nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniğinden önce kısaca doğrusal programlama ve nötrosofik bulanık doğrusal programlama teknikleri anlatılacaktır. Genel bir doğrusal programlama modeli; amaç fonksiyonu, kısıtlayıcılar ve negatif olmama kısıtlayıcısı ile eşitlik (2.30)'daki gibi gösterilmektedir.

$$
\begin{aligned}
&Max/min\, Z = C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 \\
&Kısıtlayıcılar \\
&a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots a_{1n}x_n \leq b_1 \\
&a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots a_{2n}x_n \leq b_2 \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
&a_{m1}x_1 + a_{m}x_2 + \cdots a_{mn}x_n \leq b_m \\
&x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n \\
&x_n \geq 0
\end{aligned}
\qquad \textbf{(2.30)}
$$

Nötrosofik bulanık doğrusal programlama modeli ise eşitlik (2.31)'deki gibi gösterilmektedir (Hussian A.-N. , Mohamed, Abdel-Baset, & Smarandache, 2017, s. 17).

$$
\begin{aligned}
&Max/MinZ = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j \\
&Kısıtlayıcılar \\
&\sum_{j=1}^{n} a_{ij}^{N}\, x_j \begin{matrix} = \\ \leq \\ \geq \end{matrix} b_i \qquad 1 \leq i \leq m \\
&x_j \geq 0 \qquad\qquad 1 \leq j \leq n
\end{aligned}
\qquad \textbf{(2.31)}
$$

Nötrosofik bulanık doğrusal programlama problemlerinde, doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık üyelik fonksiyonları nötrosofik bulanık sayılar ile tanımlanır. Bu bölümden itibaren doğruluk üyelik fonksiyonu için μ, belirsizlik üyelik fonksiyonu için σ ve yanlışlık üyelik fonksiyonu için ν sembolleri kullanılacaktır. a_{ij}^{N} nötrosofik bulanık sayı olmak üzere;

Doğruluk üyelik fonksiyonu eşitlik (2.32)'deki gibi;

$$\mu a_{ij}^{N}(x)=\begin{cases}\frac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1 \le x \le a_2 \quad ise\\ \frac{a_2-x}{a_3-a_2}, & a_2 \le x \le a_3 \quad ise\\ 0 & diğer\ durumlarda \quad ise\end{cases} \tag{2.32}$$

Belirsizlik üyelik fonksiyonu eşitlik (2.33)'teki gibi;

$$\sigma a_{ij}^{N}(x)=\begin{cases}\frac{x-b_1}{b_2-b_1}, & b_1 \le x \le b_2 \quad ise\\ \frac{b_2-x}{b_3-b_2}, & b_2 \le x \le b_3 \quad ise\\ 0, & diğer\ durumlarda \quad ise\end{cases} \tag{2.33}$$

Yanlışlık üyelik fonksiyonu eşitlik (2.34)'teki gibi gösterilmektedir.

$$va_{ij}^{N}(x)=\begin{cases}\frac{x-c_1}{c_2-c_1}, & c_1 \le x \le c_2 \quad ise\\ \frac{c_2-x}{c_3-c_2}, & c_2 \le x \le c_1 \quad ise\\ 1, & diğer\ durumlarda \quad ise\end{cases} \tag{2.34}$$

Nötrosofik bulanık üyelik fonksiyonları belirlendikten sonra, doğruluk üyelik fonksiyonu maksimize ve belirsizlik ve yanlışlık üyelik fonksiyonları minimize edilmek üzere nötrosofik bulanık doğrusal programlama modeli eşitlik (2.35)'teki gibi ifade edilmektedir.

$$\begin{aligned}&Max\mu(x)\\&Min\sigma(x)\\&Minv(x)\\&Kısıtlayıcılar\\&\mu(x) \ge \sigma(x)\\&\mu(x) \ge \nu(x)\\&0 \le \mu(x)+\sigma(x)+\nu(x) \le 3\\&\mu(x),\sigma(x),\nu(x) \ge 0\end{aligned} \tag{2.35}$$

Bu model daha sonra modele α, β ve γ biçiminde üç değişkenin modele eklenmesi ile eşitlik (2.36)'daki modele dönüştürülmektedir.

$Max(\alpha - \gamma - \beta)$

$Kısıtlayıcılar$

$\mu(x) \geq \alpha$

$\sigma(x) \leq \gamma$

$\nu(x) \leq \beta$

$\alpha \geq \gamma$

$\alpha \geq \beta$

$0 \leq \alpha + \gamma + \beta \leq 3$

$\alpha, \gamma, \beta \geq 0$

$x \geq 0$ **(2.36)**

Nötrosofik bulanık çok amaçlı doğrusal programlama problemleri eşitlik (2.37)'deki gibi gösterilmektedir (Hezam, Abdel- Baset, & Smarandache, 2015, s. 42).

$max = [f_1^N(x), f_2^N(x), \dots, f_{k1}^N(x)]$

$min = [f_{k_1+1}^N(x), f_{k_1+2}^N(x), \dots, f_k^N(x)]$

$Kısıtlayıcılar$

$g_i(x) \leq c_i, \quad i = 1,2, \dots, m_1$

$g_i(x) \geq c_i, \quad i = m_1 + 1, m_1 + 2, \dots, m_2$

$g_i(x) = c_i, \quad i = m_2 + 1, m_2 + 2, \dots, m_2$

$x \geq 0$ **(2.37)**

Nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon problemi için, nötrosofik bulanık karar kümesi D^N, nötrosofik bulanık hedeflerin $({G_k}^N)$ ve nötrosofik bulanık kısıtlamaların $({C_j}^N)$ birleşimi olarak eşitlik (2.38)'deki gibi tanımlanmaktadır (Das & Roy, 2015, s. 91).

$$D^N = \left(\bigcap_{k=1}^{p} {G_k}^N\right) \cap \left(\bigcap_{k=1}^{q} {C_j}^N\right) = \{x, \mu_{D^N}(x), \sigma_{D^N}(x), \nu_{D^N}(x)\} \quad \textbf{(2.38)}$$

$\forall\, x \in X$ için nötrosofik bulanık karar kümesinin üyelik fonksiyonları eşitlik (2.39)'da gösterildiği gibi tanımlanmaktadır.

$$\mu_{D^{\tilde{N}}}(x) = min({\mu_{G1}}^N(x), {\mu_{G2}}^N(x), \dots, {\mu_{Gp}}^N(x);\ {\mu_{C1}}^N(x), {\mu_{C2}}^N(x), \dots, {\mu_{Cq}}^N(x))$$

$$\sigma_{D^{\tilde{N}}}(x) = min({\sigma_{G1}}^N(x), {\sigma_{G2}}^N(x), \dots, {\sigma_{Gq}}^N(x);\ {\sigma_{C1}}^N(x), {\sigma_{C2}}^N(x), \dots, {\sigma_{Cq}}^N(x))$$

$$\nu_{D^{\tilde{N}}}(x) = max({\nu_{G1}}^N(x), {\nu_{G2}}^N(x), \dots, {\nu_{Gp}}^N(x);\ {\nu_{C1}}^N(x), {\nu_{C2}}^N(x), \dots, {\nu_{Cq}}^N(x)) \quad \textbf{(2.39)}$$

Burada;

$\mu_{D^{\tilde{N}}}(x)$: Karar kümesinin doğruluk üyelik fonksiyonunu,

$\sigma_{D^{\tilde{N}}}(x)$: Karar kümesinin belirsizlik üyelik fonksiyonunu,

$\nu_{D^{\tilde{N}}}(x)$: Karar kümesinin yanlışlık üyelik fonksiyonunu,

$\mu_{Gp}{}^{\tilde{N}}(x)$:Hedef kümesinin doğruluk üyelik fonksiyonunu,

$\sigma_{Gp}{}^{\tilde{N}}(x)$:Hedef kümesinin belirsizlik üyelik fonksiyonunu,

$\nu_{Gp}{}^{\tilde{N}}(x)$:Hedef kümesinin yanlışlık üyelik fonksiyonunu,

$\mu_{Cj}{}^{\tilde{N}}(x)$:Kısıtlayıcı kümesinin doğruluk üyelik fonksiyonunu,

$\sigma_{Cj}{}^{\tilde{N}}(x)$:Kısıtlayıcı kümesinin belirsizlik üyelik fonksiyonunu,

$\nu_{Cj}{}^{\tilde{N}}(x)$:Kısıtlayıcı kümesinin yanlışlık üyelik fonksiyonunu belirtmektedir.

Eşitlik (2.37)'de verilen nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon problemleri, amaç ve kısıtlayıcıların üyelik fonksiyonları belirlendikten sonra modele α, γ, β gibi değişkenlerin eklenmesi ile eşitlik (2.40)'ta belirtilen modele dönüştürülür.

$$
\begin{aligned}
&Max\ \alpha \\
&Max\ \gamma \\
&Min\ \beta \\
&Kısıtlayıcılar \\
&\mu_{Gk^N}(x) \geq \alpha \\
&\mu_{Ck^N}(x) \geq \alpha \\
&\sigma_{Gk^N}(x) \geq \gamma \\
&\sigma_{Ck^N}(x) \geq \gamma \\
&\nu_{Gk^N}(x) \leq \beta \\
&\nu_{Ck^N}(x) \leq \beta \\
&k = 1,2,\dots,p. \\
&\alpha + \gamma + \beta \leq 3 \\
&\alpha \geq \beta \\
&\alpha \geq \gamma \\
&\alpha, \gamma, \beta \in [0,1]
\end{aligned}
\qquad \textbf{(2.40)}
$$

Modele eklenen α, γ, β değişkenleri, amaç fonksiyonlarına ilişkin üyelik fonksiyonlarının tatmin düzeyi olarak tanımlanabilir. Bu değişkenler sayesinde

nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon modeli tek amaçlı optimizasyon modeline dönüştürülür. Bu yapı nötrosofik bulanık çok amaçlı programlama problemlerini doğrusal programlama tekniği ile kolaylıkla çözümleyebilme imkânı sağlar (Roy & Das, 2015, s. 85).

Çok amaçlı nötrosofik bulanık optimizasyon problemi çözümlenirken şu adımlar izlenmektedir (Khan, Haq, Ahmed, & Ali, 2021, s. 37470; Roy & Das, 2015, s. 86).

Adım 1: Nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon problemi eşitlik (2.37)'deki gibi formüle edilir.

Adım 2: Probleme ait amaç fonksiyonlarından herhangi biri seçilir ve bu amaç fonksiyonu, diğer amaçlar yok sayılarak, problemin tüm kısıtlayıcıları altında tek amaçlı olarak klasik doğrusal programlama tekniği ile çözülür. Böylece ideal çözümler elde edilmiş olur.

Adım 3: Adım 2'deki işlemler tüm amaç fonksiyonları için ayrı ayrı uygulanır ve amaç fonksiyonlarının ve karar değişkenlerinin alacağı değerler belirlenir.

Adım 4: Üyelik fonksiyonlarını oluşturmak için öncelikle hedefler ve toleranslar belirlenmelidir. Bunun için Adım 2'de elde edilen ideal çözümler kullanılarak ödünleşme matrisi (pay-off table) elde edilir (Roy & Das, 2015, s. 86).

$$\begin{vmatrix} f_1(x^1)^* & f_2(x^1) & \dots & \dots & \dots & f_p(x^1) \\ f_1(x^2) & f_2(x^2)^* & \dots & \dots & \dots & f_p(x^2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_1(x^p) & f_2(x^p) & \dots & \dots & \dots & f_p(x^p)^* \end{vmatrix}$$

Yukarıda verilen ödünleşme matrisinin köşegen değerleri her bir amacın alabileceği en iyi değeri göstermektedir. Çok amaçlı optimizasyon problemlerinde bir amacın alabileceği en iyi değeri bulmak kolaydır. Aksine bir amacın, en kötü çözüm değerini bulmak kolay olmamaktadır. Her bir amacın ayrı ayrı optimize edilmesi ile elde edilen ödünleşme matrisi, bir amacın alabileceği en kötü değeri de kolayca bulmayı sağlamaktadır. Bu sayede amaç fonksiyonlarının bulunduğu aralıklar kolaylıkla hesaplanabilmektedir.

Adım 5: Ödünleşme matrisinden her bir amaç fonksiyonunun alabileceği en iyi ve en kötü değerler elde edilir. Elde edilen bu değerler ile üyelik fonksiyonlarının alacağı alt ve üst limitleri belirlenir.

Doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık fonksiyonlarının alt ve üst limitleri amaç fonksiyonunun yapısına göre farklılık göstermektedir. Tablo 2.6'da amaç

fonksiyonlarının maksimum yapıda olmasına göre üyelik fonksiyonlarının alt ve üst sınır değerlerinin hesaplanmasına ilişkin formüller verilmiştir.

Tablo 2.6. *Maksimizasyon Amaçlı Nötrosofik Bulanık Üyelik Fonksiyonu Alt ve Üst Değerlerinin Belirlenmesi*

Amaç Fonksiyonu Yapısı	**Maksimizasyon Yapılı Amaç Fonksiyonu**	
Üyelik Fonksiyonu	**Alt Limit**	**Üst Limit**
Doğruluk Üyelik Fonksiyonu (μ)	L_k^{μ}= min$\{f_k(x_r^*)\}$	U_k^{μ}=max$\{f_k(x_r^*)\}$
Belirsizlik Üyelik Fonksiyonu (σ)	$L_k^{\sigma}=L_k^{\mu}+\lambda_1(U_k^{\mu}-L_k^{\mu})$	$U_k^{\sigma}=U_k^{\mu}$
Yanlışlık Üyelik Fonksiyonu (ν)	$L_k^{\nu}=L_k^{\mu}$	$U_k^{\nu}=L_k^{\mu}+\lambda_2(U_k^{\mu}-L_k^{\mu})$

Tablo 2.7'de amaç fonksiyonunun minimum yapılı olması durumunda üyelik fonksiyonlarının alt ve üst sınır değerlerinin hesaplanmasına ilişkin formüller verilmiştir.

Tablo 2.7. *Minimizasyon Amaçlı Nötrosofik Bulanık Üyelik Fonksiyonu Alt ve Üst Değerlerinin Belirlenmesi*

Amaç Yapısı	**Minimizasyon Yapılı Amaç Fonksiyonu**	
Üyelik Fonksiyonu	**Alt Limit**	**Üst Limit**
Doğruluk Üyelik Fonksiyonu (μ)	L_k^{μ}= min$\{f_k(x_r^*)\}$	U_k^{μ} = max$\{f_k(x_r^*)\}$
Belirsizlik Üyelik Fonksiyonu (σ)	$L_k^{\sigma}=L_k^{\mu}$	$U_k^{\sigma}=L_k^{\mu}+\lambda_1(U_k^{\mu}-L_k^{\mu})$"
Yanlışlık Üyelik Fonksiyonu (ν)	$L_k^{\nu}=L_k^{\mu}+\lambda_2(U_k^{\mu}-L_k^{\mu})$	$U_k^{\nu}=U_k^{\mu}$

Eşitliklerdeki L_k ve U_k her bir amacın alt ve üst sınırlarını göstermektedir. U_k (upper), maksimizasyon problemleri için en iyi değeri, L_k (lower) ise minimizasyon problemleri için en iyi değeri göstermektedir. Amaç fonksiyonunun maksimizasyon veya minimizasyon yapısında olmasına bakılmaksızın, her bir amaç değeri eşitlik (2.41)'de gösterildiği gibi, alt sınır ile üst sınır arasında değer almaktadır (Paksoy , Yapıcı Pehlivan, & Özceylan, 2013, s. 176).

$$L_k \leq f_k(x) \leq U_k \qquad \textbf{(2.41)}$$

Tablo 2.6 ve Tablo 2.7'de verilen eşitsizliklerde yer alan λ_1 ve λ_2 değerleri sırasıyla, belirsizlik ve yanlışlık üyelik fonksiyonlarını belirlemek için karar verici tarafından seçilen tolerans değişkenleridir (Khan, Haq, Ahmed, & Ali, 2021, s. 37470). Bu değerler [0,1] aralığında olup bu çalışmada λ_1= 0,5ve λ_2=0,3 olarak alınmıştır.

Adım 6: Tablo 2.6 ve tablo 2.7'ye göre elde edilen alt ve üst sınırlar ile doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık fonksiyonları oluşturulur. Farklı amaç yapılarına göre üyelik fonksiyonları aşağıdaki eşitliklerde gösterildiği gibi belirlenmektedir (Roy & Das, 2015, s. 87).

Amaç fonksiyonunun maksimizasyon yapılı olması durumunda doğruluk üyelik fonksiyonu eşitlik (2.42)'de gösterildiği gibi tanımlanmaktadır.

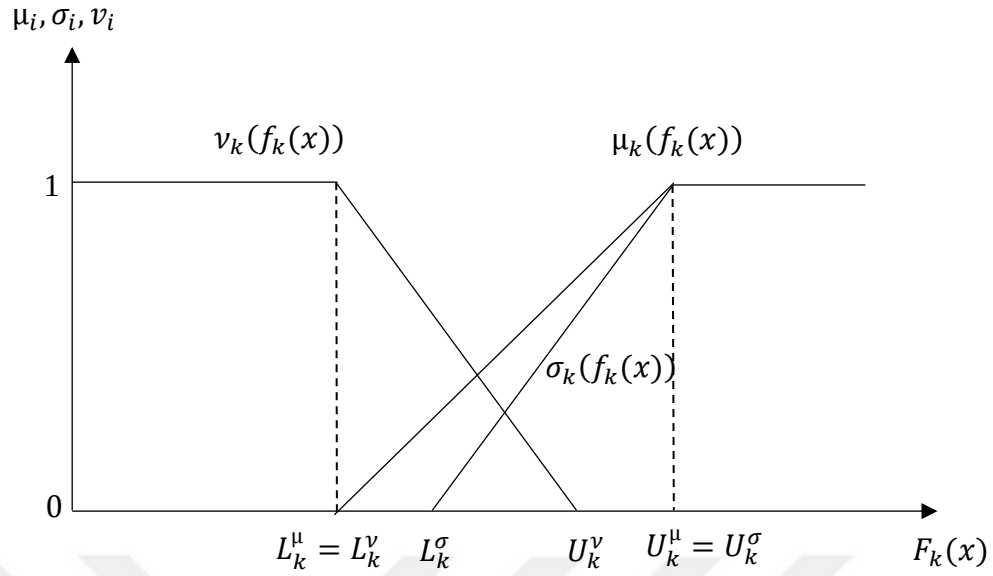
$$\mu_k\left(f_k(x)\right) = \begin{cases} 0 & , \quad f_k(x) \leq L_k^{\mu} \quad ise \\ \dfrac{f_k(x) - L_k^{\mu}}{U_k^{\mu} - L_k^{\mu}} & , \quad L_k^{\mu} \leq f_k(x) \leq U_k^{\mu} \quad ise \\ 1 & , \quad f_k(x) \geq U_k^{\mu} \quad ise \end{cases} \qquad \textbf{(2.42)}$$

Amaç fonksiyonunun maksimizasyon yapılı olması durumunda belirsizlik üyelik fonksiyonu eşitlik (2.43)'te gösterildiği gibi tanımlanmaktadır.

$$\sigma_k\left(f_k(x)\right) = \begin{cases} 0 & , \quad f_k(x) \leq L_k^{\sigma} \quad ise \\ \dfrac{f_k(x) - L_k^{\sigma}}{U_k^{\sigma} - L_k^{\sigma}} & , \quad L_k^{\sigma} \leq f_k(x) \leq U_k^{\sigma} \quad ise \\ 1 & , \quad f_k(x) \geq U_k^{\sigma} \quad ise \end{cases} \qquad \textbf{(2.43)}$$

Amaç fonksiyonunun maksimizasyon yapılı olması durumunda yanlışlık üyelik fonksiyonu eşitlik (2.44)'te gösterildiği gibi tanımlanmaktadır.

$$\nu_k\left(f_k(x)\right) = \begin{cases} 1 & , \quad f_k(x) \leq L_k^{\nu} \quad ise \\ \dfrac{U_k^{\nu} - f_k(x)}{U_k^{\nu} - L_k^{\nu}} & , \quad L_k^{\nu} \leq f_k(x) \leq U_k^{\nu} \quad ise \\ 0 & , \quad f_k(x) \geq U_k^{\nu} \quad ise \end{cases} \qquad \textbf{(2.44)}$$



Şekil 2.5. *Maksimizasyon Yapılı Nötrosofik Bulanık Kümelerde Üyelik Fonksiyonları*

Şekil 2.5'te maksimizasyon yapılı nötrosofik bulanık kümeler için doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık üyelik fonksiyonları gösterilmektedir (Islam & Kundu, 2017, s. 20).

Amaç fonksiyonunun minimizasyon yapılı olması durumunda üyelik fonksiyonları aşağıdaki eşitliklerde gösterildiği gibi tanımlanmaktadır (Khan, Haq, Ahmed, & Ali, 2021, s. 37471).

Amaç fonksiyonunun minimizasyon yapılı olması durumunda doğruluk üyelik fonksiyonu eşitlik (2.45)'te gösterildiği gibi tanımlanmaktadır.

$$\mu_k\big(f_k(x)\big) = \begin{cases} 1 & , \quad f_k(x) \le L_k^{\mu} \quad ise \\ \dfrac{U_k^{\mu} - f_k(x)}{U_k^{\mu} - L_k^{\mu}} & , \quad L_k^{\mu} \le f_k(x) \le U_k^{\mu} \quad ise \\ 0 & , \quad f_k(x) \ge U_k^{\mu} \quad ise \end{cases} \tag{2.45}$$

Amaç fonksiyonunun minimizasyon yapılı olması durumunda belirsizlik üyelik fonksiyonu eşitlik (2.46)'da gösterildiği gibi tanımlanmaktadır.

$$\sigma_k\big(f_k(x)\big) = \begin{cases} 1 & , \quad f_k(x) \le L_k^{\sigma} \quad ise \\ \dfrac{U_k^{\sigma} - f_k(x)}{U_k^{\sigma} - L_k^{\sigma}} & , \quad L_k^{\sigma} \le f_k(x) \le U_k^{\sigma} \quad ise \\ 0 & , \quad f_k(x) \ge U_k^{\sigma} \quad ise \end{cases} \tag{2.46}$$

Amaç fonksiyonunun minimizasyon yapılı olması durumunda yanlışlık üyelik fonksiyonu eşitlik (2.47)'de gösterildiği gibi tanımlanmaktadır.

$$v_k(f_k(x)) = \begin{cases} 0 & , \quad f_k(x) \le L_k^v \quad ise \\ \dfrac{f_k(x) - L_k^v}{U_k^v - L_k^v} & , \quad L_k^v \le f_k(x) \le U_k^v \quad ise \\ 1 & , \quad f_k(x) \ge U_k^v \quad ise \end{cases} \qquad \textbf{(2.47)}$$

Burada;

L_k^{μ}: Doğruluk üyelik fonksiyonu alt limiti

U_k^{μ}: Doğruluk üyelik fonksiyonu üst limiti

L_k^{σ}: Belirsizlik üyelik fonksiyonu alt limiti

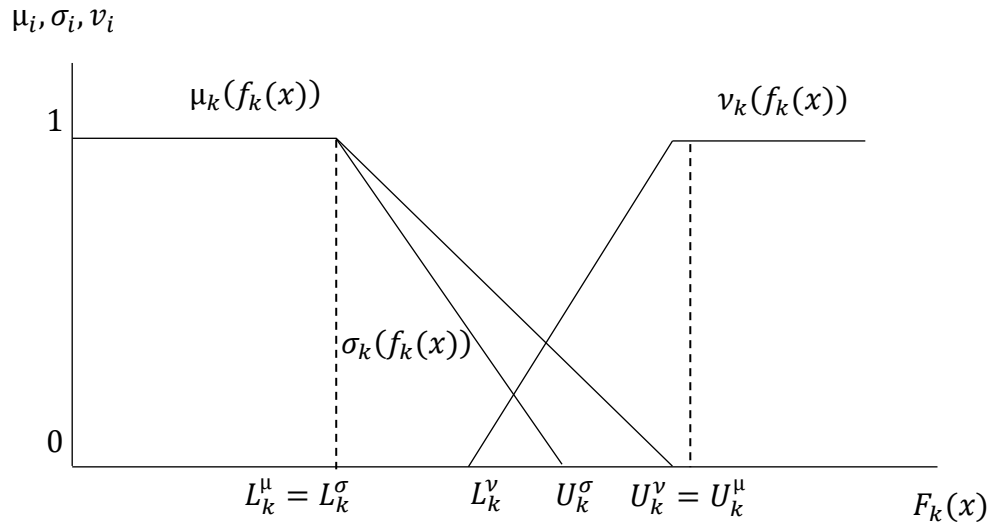
U_k^{σ}: Belirsizlik üyelik fonksiyonu üst limiti

L_k^{v}: Yanlışlık üyelik fonksiyonu alt limiti

U_k^{v}: Yanlışlık üyelik fonksiyonu üst limiti

$f_k(x)$: k. Fonksiyonu göstermektedir.

Şekil 2.6'da minimizasyon yapılı nötrosofik bulanık kümeler için doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık üyelik fonksiyonları gösterilmektedir (Mondal , Kar, Garai, & Roy, 2018, s. 15).



Şekil 2.6. *Minimizasyon Yapılı Nötrosofik Bulanık Kümelerde Üyelik Fonksiyonları*

Adım 7: Nötrosofik bulanık üyelik fonksiyonları belirlendikten sonra nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon modeli tek amaçlı doğrusal optimizasyon modeline

dönüştürülür. Bu dönüşüm modele α, γ, β değişkenlerinin eklenmesi ile gerçekleştirilmektedir.

Nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniğinde, üyelik fonksiyonları farklı biçimlerde optimize edilebilmektedir. Çalışmamızda Model I, Model II ve Model III olmak üzere üç ayrı model kullanılmıştır. Bu modeller sırasıyla aşağıda açıklanmaktadır.

Model I

Eşitlik (2.48)'de yer alan Model I yaklaşımına göre nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon problemleri çözümlenirken, doğruluk üyelik fonksiyonu ve belirsizlik üyelik fonksiyonu maksimize ve yanlışlık üyelik fonksiyonu ise minimize edilmektedir (Sarkar, Roy, & Smarandache, 2018, s. 28).

$$
\begin{aligned}
&Max\ (\alpha + \gamma - \beta) \\
&Kısıtlayıcılar \\
&\mu_k(f_k(x)) \geq \alpha \\
&\sigma_k(f_k(x)) \geq \gamma \\
&\nu_k(f_k(x)) \leq \beta \\
&0 \leq \sigma + \gamma + \beta \leq 3 \\
&\alpha \geq \gamma \\
&\alpha \geq \beta \\
&\alpha, \beta, \gamma \in [0,1] \\
&x \geq 0
\end{aligned}
\qquad \textbf{(2.48)}
$$

Model II

Eşitlik (2.49)'da yer alan MODEL II yaklaşımına göre nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon problemleri çözümlenirken, doğruluk üyelik fonksiyonu maksimize, belirsizlik üyelik fonksiyonu ve yanlışlık üyelik fonksiyonu ise minimize edilmektedir (Sarkar, Roy, & Smarandache, 2018, s. 29).

$$Max\ (\alpha - \gamma - \beta)$$
$$Kısıtlayıcılar$$
$$\mu_k(f_k(x)) \geq \alpha$$
$$\sigma_k(f_k(x)) \leq \gamma$$
$$\nu_k(f_k(x)) \leq \beta$$
$$0 \leq \alpha + \gamma + \beta \leq 3$$
$$\alpha \geq \gamma$$
$$\alpha \geq \beta$$
$$\alpha, \gamma, \beta \in [0,1]$$
$$Ax \leq b$$
$$x \geq 0 \qquad \textbf{(2.49)}$$

Model III

Eşitlik (2.50)'de yer alan Model III yaklaşımına göre nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon problemleri çözümlenirken, doğruluk üyelik fonksiyonu, belirsizlik üyelik fonksiyonu ve yanlışlık üyelik fonksiyonu maksimize edilmektedir (Roy & Das, 2015, s. 87).

$$Max\ (\alpha + \gamma + \beta)$$
$$Kısıtlayıcılar$$
$$\mu_k(f_k(x)) \geq \alpha$$
$$\sigma_k(f_k(x)) \geq \gamma$$
$$\nu_k(f_k(x)) \leq \beta$$
$$0 \leq \alpha + \gamma + \beta \leq 3$$
$$\alpha \geq \gamma$$
$$\alpha \geq \beta$$
$$\alpha, \gamma, \beta \in [0,1]$$
$$Ax \leq b$$
$$x \geq 0 \qquad \textbf{(2.50)}$$

2.9. Literatür Taraması

1960'lı yıllardan itibaren bulanık kavramının literatüre girmesi ile birlikte matematiksel programlama ve problem çözümü sürekli gelişmekte ve yenilenmektedir.

Zamanla klasik teorilerin, problemleri ve karmaşık süreçleri tatmin edici çözümler üretememesi ile birlikte yeni teknikler ortaya konulmuş ve geçmiş algoritmalara nazaran başarılı çözümler vermiştir.

Zadeh ile gelişen bulanık süreç, belirsizliğin tanımlamaya dâhil edilmesi ile birlikte karar verme ve uygulama alanlarını genişletmektedir. Karar vericilere üretim, pazarlama, taşımacılık vb. birçok alanda destek olmaktadır**.** Bulanık teorinin zaman içinde gelişimi ile birlikte ortaya çıkan sezgisel bulanık ve nötrosofik bulanık kümeler giderek artan önemde birçok disiplinde çalışma alanı bulmaktadır.

Smarandache ile başlayan nötrosofik bulanık süreç günümüz bilim dünyasında birçok alanda karşımıza çıkmaktadır. Çok sayıdaki araştırmacı nötrosofik bulanık kümelerin gelişimine katkı sağlamıştır. Smarandache nötrosofik bulanık teoriyi belirsizliği bilinir bir hale getirmek için bir araç olarak sunmuştur. Wang vd. (Wang H. , Smarandache, Zhang, & Sunderraman , 2010) tarafından gerçek dünya problemlerinin çözümünde uygulanabilmesi amacıyla tek değerli nötrosofik bulanık küme teorisi tanıtılmıştır. Çalışmada tek değerli nötrosofik bulanık kümeler; klasik küme, bulanık küme, aralık değerli bulanık küme, sezgisel bulanık kümenin bir genellemesi olarak tanıtılmıştır.

Hussian vd. (Hussian A.-N. , Mohamed, Abdel-Baset, & Smarandache, 2017), "nötrosofik bulanık doğrusal programlama problemleri" isimli çalışmasında nötrosofik bulanık parametreler ile nötrosofik bulanık doğrusal programlama problemini, kesin programlama modeline dönüştürmüştür. Çalışmada, doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık üyelik fonksiyonları aynı anda göz önünde bulundurularak nötrosofik bulanık ortama dayalı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Söz konusu çalışmada, nötrosofik bulanık doğrusal programlama yönteminin işleyişi ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Önerilen modelde doğruluk derecesi maksimize edilirken, belirsizlik ve yanlışlık dereceleri minimize edilmektedir. Ayrıca sayısal örnek problem ile nötrosofik bulanık doğrusal programlama etkinliği ortaya konulmuştur.

Hussian vd. (Hussian A. N., Mohamed, Baset, Zhou & Smarandache, 2018), amaç fonksiyonu, kaynak ve teknik katsayıların, üçgensel nötrosofik bulanık sayılar olduğu nötrosofik bulanık kesirli doğrusal programlama modelini önermişlerdir. Önerilen yöntemde, çok amaçlı kesirli doğrusal programlama modeli tek amaçlı doğrusal probleme dönüştürülerek çözüm elde edilmiştir.

Baset vd. (Baset, Mohamed & Hessian, 2017), "Neutrosophic Integer Programming Problems" isimli çalışmalarında üçgensel nötrosofik bulanık sayılar ve nötrosofik bulanık yapıların üç bileşenini (doğruluk-belirsizlik-yanlışlık) aynı anda dikkate alarak tam sayılı programlama modelini tanıtmışlardır. Yöntemin verimliliğini göstermek amacıyla sayısal örnek çözülmüştür.

Hezam, Baset ve Smarandache (Baset, Hezam & Smarandache, 2016) nötrosofik bulanık hedef programlama problemini çözmek amacıyla iki ayrı model önermiştir. Problem, birinci modelde sapmaların minimize edilmesi ile ikinci model de ise doğruluk ve belirsizlik derecelerinin maksimize, yanlışlık derecesinin ise minimize edilmesi ile çözümlenmiştir. Çalışmada daha önce Ghosh ve Roy tarafından (2013), sezgisel bulanık geometrik hedef programlama ile çözümlenen problem ele alınmıştır. Önerilen iki modelin ve sezgisel bulanık hedef programlama modelinin sonuçları karşılaştırılmış ve sapmaların minimize edilmesi biçiminde önerilen birinci nötrosofik bulanık modelin daha iyi sonuçlandığı ortaya konulmuştur.

Hezam ve Baset Smarandache (Hezam, Abdel- Baset & Smarandache, 2015), "Taylor Series Approximation to Solve Neutrosophic Multiobjective Programming Problem" isimli çalışmada, birinci dereceden Taylor polinom serisini kullanarak çok amaçlı tedarikçi seçim problemini, nötrosofik bulanık ortamda çözümlemişlerdir. Model ile elde edilen sonuç, çok amaçlı programlama modeli ile elde edilen sonuçlara çok yakın bulunmuştur. Çalışma ile modelin diğer yöntemlere göre daha doğru bir çözüm sunduğu ortaya konulmuştur.

Das ve Roy (Das & Roy, 2017), sezgisel bulanık geometrik programlama ve nötrosofik bulanık geometrik programlama tekniklerini karşılaştırdıkları çalışmada doğrusal olmayan bir programlama probleminde nötrosofik bulanık geometrik programlama tekniğinin daha iyi sonuçlandığı ortaya konulmuştur. Önerilen modelde ödünleşme matrisinden yararlanılarak doğrusal olmayan üyelik fonksiyonları belirlenmiş ve doğruluk ve belirsizlik üyelik fonksiyonları maksimize ve yanlışlık üyelik fonksiyonu minimize edilerek çözüm algoritması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada benzer sonuçlar elde edilmiş olmakla birlikte nötrosofik bulanık geometrik programlama tekniğinin, sezgisel bulanık geometrik programlama tekniğine göre daha iyi sonuçlar ortaya koyduğu gözlemlenmiştir.

İslam ve Ray (Islam & Ray, 2018), çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan Entropi ve nötrosofik bulanık optimizasyon yöntemleri ile bütünleşik bir çalışma

yapmışlardır. Çalışmada Entropi ile nesnel bir fonksiyon sunulmuştur. İki tür modelin çözümlendiği çalışmada model A ile belirsizlik maksimize, model B de ise minimize edilmiştir. B modelinde belirsizlik derecesi, 0 (sıfır) olarak elde edilmiştir. Diğer bir ifade ile çalışma sonucunda belirsizliğin minimize edildiği B modelinin nötrosofik bulanık bir küme olmadığı, sezgisel bulanık bir küme olduğu ortaya konulmuştur.

Baset vd. (Baset, Atef & Smarandache, 2018) nötrosofik bulanık küme teorisi ile proje seçim problemini ele almıştır. Çalışmada proje seçiminde önemli olan kriterleri doğru bir biçimde tanımlamak ve en iyi alternatifi seçmek için TOPSIS ve DEMATEL çok kriterli karar verme teknikleri ile bir model önerilmiştir.

Islam ve Kundu (Islam & Kundu, 2018), çok amaçlı güvenilirlik optimizasyon tekniğini nötrosofik bulanık ortamda ele almıştır. Çalışmanın amacı, sistem güvenilirliğini maksimize ve sistem maliyetini minimize etmektir. Bu amaç çerçevesinde sezgisel bulanık optimizasyon, nötrosofik bulanık doğrusal ve nötrosofik bulanık doğrusal olmayan modeller ile problem çözümlenmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, sezgisel bulanık optimizasyon modeli ile doğrusal optimizasyon modeline göre daha iyi sonuç elde edilmiştir. Nötrosofik bulanık doğrusal olmayan optimizasyon modeli ile en iyi sonuca ulaşılmıştır.

Sarkar vd. (Sarkar, Dey & Roy, 2017), nötrosofik bulanık optimizasyon yöntemi ile, çok amaçlı doğrusal olmayan programlama probleminin çözüm algoritmasını ortaya koymuştur. Modelde iki amaç minimize edilerek, sezgisel bulanık optimizasyon ve nötrosofik bulanık optimizasyon yöntemi ile çözümlenmiştir. Çözüm sonuçlarına göre nötrosofik bulanık optimizasyon yönteminin daha etkin olduğu ortaya konulmuştur.

Das ve Roy (Das & Roy, 2015) yılında yaptıkları çalışmada, çok amaçlı doğrusal olmayan programlama problemini nötrosofik bulanık optimizasyon yöntemi ile incelemiştir. Ele alınan model de iki amaç sezgisel bulanık ve nötrosofik bulanık optimizasyon yöntemleri ile minimize edilmiştir. Modelin sonuçları, nötrosofik bulanık optimizasyon yönteminin sezgisel bulanık optimizasyon yöntemine göre daha üstün olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca modelde amaç fonksiyonlarının değerlerinin toplamı alınmış ve optimal sonuçların karşılaştırılması bu toplam üzerinden yapılmıştır.

Ahmad ve Adhami (Ahmad & Adhami, 2019) , çok amaçlı taşımacılık problemini nötrosofik bulanık doğrusal olmayan programlama ile modellemiştir. 16 karar değişkeni ile 3 amacın minimize edildiği çalışmada bulanık, sezgisel bulanık ve nötrosofik bulanık optimizasyon yöntemlerinin sonuçlarını karşılaştırmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre,

bulanık ve sezgisel bulanık analizleri ile aynı sonuçlar elde edilmiştir. Nötrosofik bulanık optimizasyon yöntemiyle üç amaç içinde en etkin sonuç elde edilmiştir.

Roy ve Das (Roy & Das, 2015) çok amaçlı üretim planlama problemini nötrosofik bulanık doğrusal programlama ile incelemiştir. Sezgisel bulanık optimizasyon ve nötrosofik bulanık optimizasyon teknikleri karşılaştırmalı analiz yapılmıştır. Çalışmada üç ürünün üretiminde, kar, kalite ve çalışan memnuniyeti amaçlarının maksimize edilmesi amaçlanmıştır. Veriler sezgisel, nötrosofik bulanık doğrusal ve nötrosofik bulanık doğrusal olmayan optimizasyon teknikleri ile çözümlenmiştir. Üç amaç fonksiyonu için sonuç değerlerinin toplamı alınmıştır. Nötrosofik bulanık doğrusal olmayan optimizasyon modelinin en iyi sonucu ortaya çıkardığı görülmüştür.

Khan vd. (Khan, Haq, Ahmed & Ali, 2021), bir donanım işletmesinde çok amaçlı, üretim planlama problemini nötrosofik bulanık kümeler ile incelemiştir. Planlama problemi, net kârın maksimize, üretim ve stok bulundurma maliyetlerinin minimize edilmesi üzerine üç amaçlı olarak modellenmiştir. Problem nötrosofik ve sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon teknikleri ile çözümlenmiş karşılaştırmaları yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda, nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniğinin daha iyi çözüm sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.

Nötrosofik bulanık kümeler belirsizliği bağımsız bir parametre olarak aldığı için tıp, pazarlama, görüntü işleme, stratejik planlama, tedarik zinciri ve daha birçok farklı disiplinde kendine yer bulmuştur. Nötrosofik bulanık kümeler, sadece çok amaçlı problemlerin optimizasyonunda değil aynı zamanda çok kriterli karar problemlerinin çözümünde de etkili bir problem çözme aracı olarak gelişimini sürdürmektedir. Bu çalışmada nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniğinin, üretim planlama probleminde uygulanabilirliği gösterilmeye çalışılacaktır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3.ÜRETİM PLANLAMASINDA NÖTROSOFİK BULANIK ÇOK AMAÇLI OPTİMİZASYON TEKNİĞİ VE UYGULAMA DENEMESİ

Çalışmada Eskişehir Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyet gösteren bir üretim işletmesi uygulama alanı olarak belirlenmiştir. Çalışmanın bu bölümünde, öncelikle uygulama yapılan üretim işletmesinin yapısı ve üretim süreci hakkında bilgilere yer verilmiştir. İşletmeden alınan veriler kapsamında, işletme için oluşturulan üretim modelinin, nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniğinin farklı yaklaşımları ile çözümü elde edilmiştir. Elde edilen çözümün kıyaslaması amacıyla aynı üretim modeli sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ile de çözülmüştür. Üretim modelinin çözümünde LINGO 19.0 paket programı kullanılmıştır.

Çalışmanın amacı, bir üretim işletmesinde, üretim planlamasında nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniğinin uygulanabilirliğini göstermektir. Bu amaç kapsamında, beyaz eşya yan sanayi alanında faaliyette bulunan bir işletmenin, bir aylık üretim planlama problemi, nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ile çözülmüştür.

3.1. Uygulama Yapılan Üretim İşletmesinin Yapısı ve Tanıtımı

Uygulama için seçilen işletme, 1994'te kurulmuş olup Eskişehir'de beyaz eşya yan sanayi alanında faaliyet gösteren üretim işletmesidir. İşletmenin temel hammadde kaynağını plastik malzeme oluşturmaktadır. İşletme üretimde kullandığı 62 farklı plastik parçacıktan oluşan hammaddeyi, tedarikçilerden sağlamaktadır. Plastik parçacıklar, talep edilen ürün türüne göre işlenmek üzere enjeksiyon makinesine girmektedir. İşletmede plastik parçacıkları beyaz eşya parçası haline getirmek için 53 adet enjeksiyon makinesi bulunmaktadır.

İşletme, kapasitesinin yaklaşık %80'lik kısmını beyaz eşya (buzdolabı, bulaşık makinesi ve çamaşır makinesi) plastik aksamlarının üretiminde kullanmaktadır. Ayrıca işletme sipariş durumuna göre, çamaşır kurutma makineleri için plastik yan sanayi ürünlerinin üretimini de gerçekleştirmektedir. İşletme toplam üretiminin yaklaşık %95'ini yurt içi pazar için gerçekleştirmektedir.

Üretimini, beyaz eşya üretimi yapan işletmelerden gelen talepler üzerine planlayan işletmenin müşterileri, diğer üretim işletmeleridir. İşletme, müşteri taleplerini, istenilen

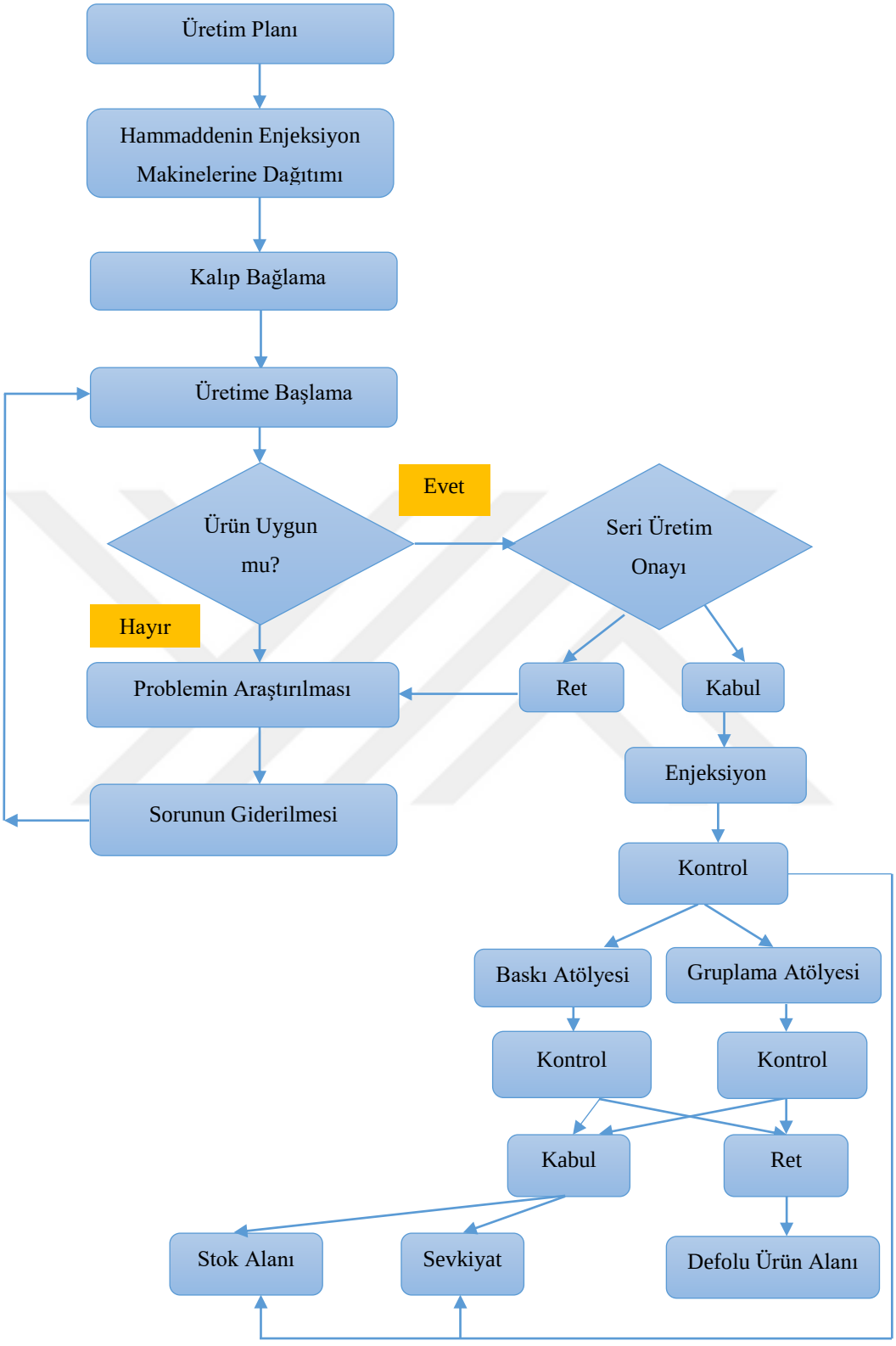
şartlara uygun olarak gerçekleştirmeyi misyon olarak benimseyerek bu misyonu yerine getirirken sahip olduğu sınırlı kaynakları maksimum verim ile kullanmak istemektedir.

İşletmede üretim süreci, enjeksiyon, baskı ve gruplama olarak adlandırılan üç ayrı bölümde gerçekleştirmektedir. Üretime başlamadan önce üretim planının yapılması gerekmektedir. Üretim;

- Ürün talebi,
- Kullanılacak hammadde ve malzeme çeşidi,
- Makine ve kalıplarının hazırlanması doğrultusunda planlanmaktadır.

Üretim sürecinin ilk adımı, üretim için gerekli olan hammaddelerin ve ürün kalıplarının üretim birimine getirilmesidir. Kalıpların enjeksiyon makinelerine bağlanması ve hammaddenin eklenmesi ile seri üretime başlanmaktadır. Üretilen ürünlerden birkaç numune alıp kontrol edilmektedir. Eğer ürün uygunluk onayı alır ise seri üretime geçilmektedir. Ürünlerin standartlara uygun olmaması durumunda ise problem araştırılarak çözüm aranmaktadır.

Üretim sürecinde enjeksiyon makinelerinden çıkan ürünlerin bir kısmı nihai ürün olarak kabul edilirken, diğer bir kısmı baskı ve gruplama atölyelerine aktarılmaktadır. Beyaz eşya plastik ürünleri üretim işletmesinde iş akış diyagramı Şekil 3.1'deki gibi özetlenebilir.



Şekil 3.1. *Beyaz Eşya Plastik Ürünleri Üretim İşletmesinde İş Akış Diyagramı*

Baskı ve gruplama atölyelerinde işlem gören ürünlerin daha sonra kalite kontrolü yapılır. Uygun bulunan ürünler stok departmanına veya müşterilere teslim edilmek üzere sevkiyat departmanına teslim edilir. Uygun bulunmayan ürünler ise defolu ürün olarak ayrılır.

3.2. Karar Probleminin Tanımlanması

Uygulamaya konu olan işletme, üretimini birer aylık dönemler halinde beş temel amaca ulaşacak şekilde planlamak istemektedir. Bu beş amaç sırasıyla üretim maliyetinin minimize edilmesi, kârın maksimize edilmesi, çevrim süresinin minimize edilmesi, defolu ürün oranının minimize edilmesi ve malzeme fire miktarının minimize edilmesi şeklindedir. Bu amaçlar işletmenin mevcut kaynakları ile belirli kısıtlayıcılar altında gerçekleştirilebilir. Ancak amaçlara ulaşma bazı zorluklar içermektedir. Amaçlar için hedef belirleyebilmek kolay değildir. Hedeflere ulaşma konusunda birçok belirsizlik durumu söz konusudur. İşletme bu belirsiz koşullar altında üretim planlama problemiyle ile karşı karşıyadır. Bu durumda işletme için temel problem, belirsizliğin olduğu üretim maliyeti, kâr, ürün çevrim süresi, defolu ürün oranı, malzeme fire miktarı amaçları ile üretim planını nasıl yapacağı sorusuna cevap aramaktır.

3.3. Çok Amaçlı Üretim Modelinin Kurulumu ve Çözümü

İşletme problemi için öncelikle matematiksel üretim modeli kurulur. Böylece üretim problemi, üretim modeli olarak ifade edilir. Problemde birden çok amaç söz konusu olduğundan model çok amaçlı üretim modeli olarak adlandırılmaktadır. Modelde beş amaç fonksiyonunun yanında kısıtlayıcı fonksiyonlarda yer almaktadır. Üretim işletmesinde Mayıs ayı için 121 çeşit beyaz eşya yan sanayi ürünü üretilecektir.

Üretim modeli işletmeden alınan bilgiler çerçevesinde şu varsayımlara dayanmaktadır:

- Model bir aylık tek bir zaman dilimini kapsamaktadır.
- Ürünleri üretmek için gerekli hammaddeler yeterli düzeyde mevcuttur.
- Sipariş miktarı, üretim süresince sabittir ve değişmemektedir.
- Birim maliyetler planlama süresi boyunca belirli ve sabittir.
- Hammaddeler ihtiyaç duyulduğu her zaman kolaylıkla erişilebilecek şekilde stoklanmıştır.

- Hammadde ve ürünlerin depolama alanları yeterince mevcuttur.
- Ürün ve hammaddelerin taşıma süresi dikkate alınmamıştır.
- Her bir ürünün üretimi için gerekli olan makine ve kalıplar hazır ve aktif durumdadır.
- Ürün kalıplarının makinelere bağlanma süresi dikkate alınmamıştır.

Matematiksel üretim modeli kurulmadan önce, modelde kullanılan karar değişkenleri, indisler, parametreler amaç fonksiyonları ve kısıtlayıcılar aşağıda verilen sembollerle açıklanmıştır.

Karar Değişkenleri

Üretim modeline ait karar değişkenleri işletmenin üretimini gerçekleştireceği ürünlerin üretim miktarı (adet cinsinden) olup x_j sembolü ile ifade edilmektedir.

x_j = j. üründen üretilecek ürün miktarı

$j = 1,2, \dots ,121.$

İndisler

j : Ürün tipi ($j = 1,2, \dots ,121$)

i : Hammadde indisi ($i = 1,2, \dots ,62$)

r: Makine indisi($r = 1,2, \dots ,53$)

Parametreler

k_j = Bir birim x_j ürünün birim kârı (para birimi)

c_j = Bir birim x_j ürününün birim üretim maliyeti (para birimi)

s_j = Bir birim x_j ürününün üretimi için gerekli süre (saniye)

d_j = Defolu ürün oranı

f_j = Bir birim x_j ürününün üretiminde malzeme fire miktarı (gram)

T_j = j. ürünün talebi

N_i =i. Hammadde miktarı (gram)

h_{ij} = Bir birim j. ürün için gerekli olan N_i hammadde miktarı (gram)

g_j = Bir birim x_j ürününün gruplama işlemi için gerekli süre (saniye)

b_j = Bir birim x_j ürününün baskı işlemi için gerekli süre (saniye)

M_r= r. Makine üretim kapasitesi (adet)

G = Gruplama atölyesi toplam işçilik süresi

B= Baskı atölyesi toplam işçilik süresi

Amaç Fonksiyonları:

Üretim işletmesinde yapılacak üretim planlaması için birden çok amaç esas alınmıştır. Bu amaçlar aşağıda sırasıyla açıklanmaktadır.

1. Üretim Maliyeti Minimizasyonu (Z_1): İşletme yönetimi, üretimini toplam üretim maliyetini en küçük kılacak şekilde gerçekleştirmek istemektedir. Z_1 amaç fonksiyonunun genel gösterimi (3.1)'deki gibidir.

$$MinZ_1 = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j \tag{3.1}$$

2. Kar Maksimizasyonu (Z_2): İşletme yönetimi üretimini, ürettiği ürünlerin satışından elde edeceği toplam karı en büyük kılacak şekilde gerçekleştirmek istemektedir. Z_2 amaç fonksiyonunun genel gösterimi eşitlik (3.2)'deki gibidir.

$$MaxZ_2 = \sum_{j=1}^{n} k_j x_j \tag{3.2}$$

3. Çevrim Süresi Minimizasyonu (Z_3): Çevrim süresi en yalın hali ile bir ürünün ortaya çıkma süresidir. Çalışmamızda çevrim süresi bir ürünün enjeksiyon makinesinde üretilip ürün olarak çıkma süresini ifade etmektedir. İşletme yönetimi, ürünlerin toplam çevrim süresini en küçükleyecek şekilde gerçekleştirmek istemektedir. Z_3 amaç fonksiyonu genel gösterimi eşitlik (3.3)'teki gibidir.

$$MinZ_3 = \sum_{j=1}^{n} s_j x_j \tag{3.3}$$

4. Defolu Ürün Oranı Minimizasyonu (Z_4): Üretim sürecinde makine teçhizatın bozulması, hammadde miktar ve kalitesinin değişimi, personelin yeterlilik ve yetkinliğinde yaşanan eksiklikler gibi nedenler ürünlerin istenilen kalitede üretimine engel olabilmektedir. Bu noktada ürünler defolu olarak ortaya çıkabilmektedir. İşletme yönetimi, üretilen ürünlerin defolu olarak ortaya çıkma oranını minimum kılmak istemektedir. Z_4 amaç fonksiyonu genel gösterimi eşitlik (3.4)'teki gibidir.

$$MinZ_4 = \sum_{j=1}^{n} d_j x_j \quad \textbf{(3.4)}$$

5. Malzeme Fire Miktarı Minimizasyonu (Z_5): Uygulama yapılan işletmenin yönetimi, üretim sürecinde yaşanan malzeme kaybının mümkün olan en alt seviyede olmasını istemektedir. Z_5 amaç fonksiyonu malzeme fire miktarı olmak üzere eşitlik (3.5)'te gösterildiği gibidir.

$$MinZ_5 = \sum_{j=1}^{n} f_j x_j \quad \textbf{(3.5)}$$

Kısıtlayıcılar:

İşletme üretim modeli 5 grupta ve 237 kısıtlayıcıdan oluşmaktadır. Bu kısıtlayıcılar sırası ile aşağıda açıklanmıştır.

1. Talep Kısıtları: Talep kısıtları genel olarak eşitlik (3.6)'da gösterildiği gibidir.

$$x_j \geq T_j \quad \textbf{(3.6)}$$

2. Hammadde Kısıtları: Hammadde kısıtları genel olarak eşitlik (3.7)'de gösterildiği gibidir.

$$h_{ij} x_j \leq N_i \quad \textbf{(3.7)}$$

3. Makine Kısıtları: Makine kapasite kısıtları genel olarak eşitlik (3.8)'de gösterildiği gibidir.

$$x_j \leq M_r \quad \textbf{(3.8)}$$

4. Gruplama atölyesi işçilik süre kısıtı: Gruplama atölyesi işçilik süre kısıtı genel olarak eşitlik (3.9)'da gösterildiği gibidir.

$$g_j x_j \leq G \quad \textbf{(3.9)}$$

5. Baskı atölyesi işçilik süre kısıtı: Baskı işlemleri için işçilik süre kısıtı eşitlik (3.10)'da gösterildiği gibidir.

$$b_j x_j \leq B \quad \textbf{(3.10)}$$

Bu açıklamalardan sonra işletme için çok amaçlı doğrusal üretim modeli teorik olarak eşitlik (3.11)'de gösterildiği gibi kurulur.

$$MinZ_1 = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j$$

$$MinZ_2 = \sum_{j=1}^{n} k_j x_j$$

$$MinZ_3 = \sum_{j=1}^{n} s_j x_j$$

$$MinZ_4 = \sum_{j=1}^{n} d_j x_j$$

$$MinZ_5 = \sum_{j=1}^{n} f_j x_j$$

$$Kısıtlayıcılar$$

$$x_j \geq T_j$$

$$h_{ij} x_j \leq N_i$$

$$m_j x_j \leq M_r$$

$$g_j x_j \leq G$$

$$b_j x_j \leq B$$

ve $x_j \geq 0$ ve x_j tamsayı j=1,2,…,121. **(3.11)**

Model için gerekli parametre bilgileri işletmeden temin edilmiştir. Bu parametrik bilgiler kullanılarak çok amaçlı üretim modeli eşitlik (3.12)'de gösterildiği gibi kurulmuştur.

MinZ₁=0.018X_1+0.101X_2+0.101X_3+0.714X_4+0.048X_5+0.027X_6+0.765X_7+0.059X_8+9.818X_9+4.494X_{10}+0.156X_{11}+0.389X_{12}+0.048X_{13}+2.562X_{14}+2.533X_{15}+1.326X_{16}+2.771X_{17}+7.469X_{18}+4.248X_{19}+10.882X_{20}+0.22X_{21}+2.591X_{22}+0.343X_{23}+0.207X_{24}+7.6X_{25}+5.852X_{26}+6.851X_{27}+7.35X_{28}+7.252X_{29}+9.904X_{30}+1.833X_{31}+5.337X_{32}+0.668X_{33}+8.324X_{34}+8.689X_{35}+1.334X_{36}+2.787X_{37}+7.334X_{38}+3.434X_{39}+0.05X_{40}+2.271X_{41}+0.024X_{42}+7.604X_{43}+1.637X_{44}+9.794X_{45}+0.477X_{46}+0.179X_{47}+0.049X_{48}+1.78X_{49}+11.038X_{50}+2.063X_{51}+1.859X_{52}+7.33X_{53}+2.169X_{54}+3.102X_{55}+16.01X_{56}+10.612X_{57}+9.83X_{58}+10.964X_{59}+3.716X_{60}+8.742X_{61}+9.176X_{62}+4.416X_{63}+0.0671X_{64}+6.114X_{65}+2.251X_{66}+1.42X_{67}+2.902X_{68}+3.577X_{69}+3.581X_{70}+9.302X_{71}+1.412X_{72}+0.078X_{73}+16.014X_{74}+2.578X_{75}+1.912X_{76}+4.359X_{77}+1.555X_{78}+11.042X_{79}+6.925X_{80}+1.776X_{81}+2.177X_{82}+0.026X_{83}+0.832X_{84}+19.632X_{85}+0.107X_{86}+29.373X_{87}+4.612X_{88}+8.169X_{89}+6.425X_{90}+3.462X_{91}+6.745X_{92}+0.122X_{93}+2.067X_{94}+6.745X_{95}+24.433X_{96}+32.106X_{97}+13.01X_{98}+2.194X_{99}+19.632X_{100}+3.7X_{101}+2.521X_{102}+3.577X_{103}+3.368X_{104}+11.038X_{105}+1.817X_{106}+8.013X_{107}+0.406X_{108}+3.372X_{109}+9.835X_{110}+110.083X_{111}+8.308X_{112}+2.222X_{113}+2.046X_{114}+9.83X_{115}+11.087X_{116}+10.849X_{117}+3.168X_{118}+4.453X_{119}+8.586X_{120}+11.05X_{121}

MaxZ$_2$=0.006X_1+0.854X_2+2.775X_3+3.273X_4+0.02X_5+1.498X_6+0.009X_7+0.844X_8+0.052X_9+0.13X_{10}+2.49X_{11}+0.864X_{12}+0.034X_{13}+3.301X_{14}+3.627X_{15}+1.416X_{16}+0.069X_{17}+0.073X_{18}+2.896X_{19}+0.114X_{20}+0.757X_{21}+2.45X_{22}+0.034X_{23}+0.159X_{24}+0.929X_{25}+2.533X_{26}+0.611X_{27}+2.417X_{28}+2.284X_{29}+0.223X_{30}+1.951X_{31}+0.924X_{32}+0.546X_{33}+4.145X_{34}+2.535X_{35}+0.017X_{36}+2.445X_{37}+0.238X_{38}+0.016X_{39}+1.779X_{40}+0.008X_{41}+0.442X_{42}+3.265X_{43}+0.016X_{44}+0.255X_{45}+0.445X_{46}+0.06X_{47}+0.016X_{48}+0.593X_{49}+3.679X_{50}+0.688X_{51}+0.62X_{52}+2.443X_{53}+0.723X_{54}+1.034X_{55}+5.337X_{56}+3.537X_{57}+3.277X_{58}+3.655X_{59}+1.239X_{60}+2.914X_{61}+3.059X_{62}+1.472X_{63}+0.224X_{64}+2.038X_{65}+0.75X_{66}+0.473X_{67}+0.967X_{68}+1.192X_{69}+1.194X_{70}+3.101X_{71}+0.471X_{72}+0.026X_{73}+5.338X_{74}+0.859X_{75}+0.637X_{76}+1.453X_{77}+0.518X_{78}+3.681X_{79}+2.308X_{80}+0.592X_{81}+0.726X_{82}+0.009X_{83}+0.277X_{84}+6.544X_{85}+0.036X_{86}+9.791X_{87}+1.537X_{88}+2.723X_{89}+2.142X_{90}+1.154X_{91}+2.248X_{92}+0.041X_{93}+0.689X_{94}+2.248X_{95}+8.144X_{96}+10.702X_{97}+4.337X_{98}+0.731X_{99}+6.544X_{100}+1.233X_{101}+0.84X_{102}+1.192X_{103}+1.123X_{104}+3.679X_{105}+0.606X_{106}+2.671X_{107}+0.135X_{108}+1.124X_{109}+3.278X_{110}+36.694X_{111}+2.769X_{112}+0.741X_{113}+0.682X_{114}+3.277X_{115}+3.696X_{116}+3.616X_{117}+1.056X_{118}+1.484X_{119}+2.862X_{120}+3.683X_{121}

MinZ$_3$=2.4975X_1+7.005X_2+7.005X_3+6.255X_4+6.255X_5+29.01X_6+37.02X_7+14.49X_8+14.49X_9+6.255X_{10}+23.49X_{11}+26.49X_{12}+3.1275X_{13}+49.98X_{14}+43.02X_{15}+22.5X_{16}+22.5X_{17}+45X_{18}+43.02X_{19}+3.75X_{20}+3.75X_{21}+39X_{22}+45X_{23}+17.49X_{24}+37.98X_{25}+49.98X_{26}+26.49X_{27}+49.98X_{28}+49.98X_{29}+49.98X_{30}+19.998X_{31}+45X_{32}+49.98X_{33}+42X_{34}+49.98X_{35}+45X_{36}+26.01X_{37}+6.255X_{38}+52.02X_{39}+15X_{40}+43.98X_{41}+45X_{42}+45X_{43}+2.4975X_{44}+45X_{45}+45X_{46}+45X_{47}+52.02X_{48}+45X_{49}+49.98X_{50}+6.255X_{51}+6.255X_{52}+48X_{53}+45X_{54}+49.98X_{55}+45X_{56}+55.02X_{57}+23.49X_{58}+45X_{59}+45X_{60}+58.02X_{61}+45X_{62}+45X_{63}+25.98X_{64}+15X_{65}+45X_{66}+25.98X_{67}+21X_{68}+45X_{69}+45X_{70}+45X_{71}+45X_{72}+45X_{73}+45X_{74}+45X_{75}+26.01X_{76}+45X_{77}+45X_{78}+45X_{79}+26.01X_{80}+45X_{81}+45X_{82}+45X_{83}+45X_{84}+45X_{85}+45X_{86}+26.01X_{87}+45X_{88}+45X_{89}+45X_{90}+45X_{91}+26.01X_{92}+45X_{93}+26.01X_{94}+45X_{95}+45X_{96}+48X_{97}+45X_{98}+45X_{99}+45X_{100}+45X_{101}+45X_{102}+45X_{103}+45X_{104}+45X_{105}+45X_{106}+45X_{107}+49.98X_{108}+45X_{109}+45X_{110}+45X_{111}+49.98X_{112}+45X_{113}+45X_{114}+25.98X_{115}+49.98X_{116}+25X_{117}+49.98X_{118}+45X_{119}+45X_{120}+49.98X_{121}

MinZ$_4$=0.081X_1+0.09X_2+0.083X_3+0.012X_4+0.035X_5+0.067X_6+0.042X_7+0.014X_8+0.051X_9+0.025X_{10}+0.02X_{11}+0.013X_{12}+0.049X_{13}+0.055X_{14}+0.077X_{15}+0.08X_{16}+0.081X_{17}+0.015X_{18}+0.087X_{19}+0.027X_{20}+0.075X_{21}+0.075X_{22}+0.065X_{23}+0.098X_{24}+0.093X_{25}+0.02X_{26}+0.094X_{27}+0.059X_{28}+0.045X_{29}+0.039X_{30}+0.062X_{31}+0.013X_{32}+0.011X_{33}+0.025X_{34}+0.027X_{35}+0.025X_{36}+0.011X_{37}+0.002X_{38}+0.016X_{39}+0.046X_{40}+0.047X_{41}+0.081X_{42}+0.

$08X_{43}+0.045X_{44}+0.009X_{45}+0.057X_{46}+0.014X_{47}+0.077X_{48}+0.088X_{49}+0.095X_{50}+0.031X_{51}+0.079X_{52}+0.081X_{53}+0.071X_{54}+0.097X_{55}+0.015X_{56}+0.069X_{57}+0.091X_{58}+0.075X_{59}+0.068X_{60}+0.081X_{61}+0.023X_{62}+0.038X_{63}+0.027X_{64}+0.002X_{65}+0.004X_{66}+0.052X_{67}+0.094X_{68}+0.075X_{69}+0.072X_{70}+0.089X_{71}+0.034X_{72}+0.072X_{73}+0.042X_{74}+0.042X_{75}+0.001X_{76}+0.085X_{77}+0.065X_{78}+0.04X_{79}+0.056X_{80}+0.061X_{81}+0.022X_{82}+0.038X_{83}+0.09X_{84}+0.003X_{85}+0.044X_{86}+0.064X_{87}+0.098X_{88}+0.068X_{89}+0.003X_{90}+0.05X_{91}+0.03X_{92}+0.088X_{93}+0.029X_{94}+0.09X_{95}+0.087X_{96}+0.036X_{97}+0.074X_{98}+0.027X_{99}+0.023X_{100}+0.049X_{101}+0.014X_{102}+0.053X_{103}+0.034X_{104}+0.048X_{105}+0.079X_{106}+0.082X_{107}+0.055X_{108}+0.057X_{109}+0.057X_{110}+0.03X_{111}+0.061X_{112}+0.094X_{113}+0.057X_{114}+0.087X_{115}+0.02X_{116}+0.003X_{117}+0.03X_{118}+0.07X_{119}+0.086X_{120}+0.079X_{121}$

MinZ_5 $=0.002X_1+0.0035X_2+0.0056X_3+0.0035X_4+0.005X_5+0.005X_6+0.004X_7+0.0031X_8+0.0049X_9+0.0064X_{10}+0.0067X_{11}+0.0010X_{12}+0.0045X_{13}+0.0038X_{14}+0.0021X_{15}+0.0019X_{16}+0.0096X_{17}+0.0036X_{18}+0.0035X_{19}+0.0032X_{20}+0.0016X_{21}+0.0021X_{22}+0.0066X_{23}+0.0016X_{24}+0.0068X_{25}+0.0053X_{26}+0.0047X_{27}+0.0052X_{28}+0.0051X_{29}+0.0071X_{30}+0.0013X_{31}+0.0011X_{32}+0.0043X_{33}+0.0041X_{34}+0.0081X_{35}+0.0019X_{36}+0.0039X_{37}+0.0064X_{38}+0.0040X_{39}+0.0035X_{40}+0.003X_{41}+0.0046X_{42}+0.0072X_{43}+0.0022X_{44}+0.007X_{45}+0.0012X_{46}+0.0015X_{47}+0.0035X_{48}+0.0018X_{49}+0.0076X_{50}+0.0031X_{51}+0.0013X_{52}+0.0064X_{53}+0.0022X_{54}+0.0022X_{55}+0.0024X_{56}+0.0022X_{57}+0.0022X_{58}+0.002X_{59}+0.002X_{60}+0.0022X_{61}+0.0022X_{62}+0.0012X_{63}+0.0012X_{64}+0.0012X_{65}+0.0012X_{66}+0.0012X_{67}+0.0012X_{68}+0.0012X_{69}+0.0012X_{70}+0.001X_{71}+0.002X_{72}+0.0020X_{73}+0.002X_{74}+0.0022X_{75}+0.0022X_{76}+0.0032X_{77}+0.002X_{78}+0.002X_{79}+0.002X_{80}+0.003X_{81}+0.0032X_{82}+0.0018X_{83}+0.0032X_{84}+0.0012X_{85}+0.0024X_{86}+0.002X_{87}+0.0014X_{88}+0.002X_{89}+0.0012X_{90}+0.003X_{91}+0.003X_{92}+0.002X_{93}+0.002X_{94}+0.002X_{95}+0.0014X_{96}+0.0012X_{97}+0.0023X_{98}+0.0013X_{99}+0.007X_{100}+0.0039X_{101}+0.0032X_{102}+0.0037X_{103}+0.0031X_{104}+0.007X_{105}+0.0033X_{106}+0.0074X_{107}+0.0012X_{108}+0.0031X_{109}+0.007X_{110}+0.001X_{111}+0.0022X_{112}+0.0022X_{113}+0.002X_{114}+0.0016X_{115}+0.0076X_{116}+0.0076X_{117}+0.0024X_{118}+0.0047X_{119}+0.0022X_{120}+0.0016X_{121}$

Kısıtlayıcılar

Talep Kısıtı

$X_1 \geq 379133$
$X_2 \geq 184043$
$X_3 \geq 166322$
$X_4 \geq 19054$
$X_5 \geq 83243$

$X_6 \geq 23076$
$X_7 \geq 19206$
$X_8 \geq 56533$
$X_9 \geq 37185$
$X_{10} \geq 21773$
$X_{11} \geq 31454$
$X_{12} \geq 34766$
$X_{13} \geq 31191$
$X_{14} \geq 44102$
$X_{15} \geq 21728$
$X_{16} \geq 30777$
$X_{17} \geq 28220$
$X_{18} \geq 18501$
$X_{19} \geq 17337$
$X_{20} \geq 7070$
$X_{21} \geq 17741$
$X_{22} \geq 18032$
$X_{23} \geq 13293$
$X_{24} \geq 17741$
$X_{25} \geq 5821$
$X_{26} \geq 515$
$X_{27} \geq 14667$
$X_{28} \geq 4191$
$X_{29} \geq 9817$
$X_{30} \geq 3032$
$X_{31} \geq 4526$
$X_{32} \geq 12025$
$X_{33} \geq 7031$
$X_{34} \geq 9379$
$X_{35} \geq 2559$
$X_{36} \geq 2308$
$X_{37} \geq 10835$
$X_{38} \geq 6921$
$X_{39} \geq 11876$
$X_{40} \geq 2633$
$X_{41} \geq 1218$
$X_{42} \geq 3492$
$X_{43} \geq 4369$
$X_{44} \geq 3883$
$X_{45} \geq 1106$
$X_{46} \geq 4367$
$X_{47} \geq 4488$
$X_{48} \geq 2660$
$X_{49} \geq 2137$
$X_{50} \geq 2756$
$X_{51} \geq 875$
$X_{52} \geq 1844$

$X_{53} \geq 2417$
$X_{54} \geq 2962$
$X_{55} \geq 781$
$X_{56} \geq 1026$
$X_{57} \geq 1188$
$X_{58} \geq 1065$
$X_{59} \geq 1723$
$X_{60} \geq 1058$
$X_{61} \geq 44$
$X_{62} \geq 2386$
$X_{63} \geq 908$
$X_{64} \geq 217$
$X_{65} \geq 892$
$X_{66} \geq 1830$
$X_{67} \geq 7031$
$X_{68} \geq 4088$
$X_{69} \geq 1105$
$X_{70} \geq 1602$
$X_{71} \geq 2139$
$X_{72} \geq 3293$
$X_{73} \geq 719$
$X_{74} \geq 1078$
$X_{75} \geq 1990$
$X_{76} \geq 1353$
$X_{77} \geq 2259$
$X_{78} \geq 477$
$X_{79} \geq 419$
$X_{80} \geq 562$
$X_{81} \geq 1418$
$X_{82} \geq 696$
$X_{83} \geq 48$
$X_{84} \geq 94$
$X_{85} \geq 721$
$X_{86} \geq 1479$
$X_{87} \geq 232$
$X_{88} \geq 399$
$X_{89} \geq 2531$
$X_{90} \geq 398$
$X_{91} \geq 1610$
$X_{92} \geq 4900$
$X_{93} \geq 544$
$X_{94} \geq 714$
$X_{95} \geq 2256$
$X_{96} \geq 184$
$X_{97} \geq 150$
$X_{98} \geq 150$
$X_{99} \geq 17$

$X_{100} \geq 7$
$X_{101} \geq 2960$
$X_{102} \geq 2834$
$X_{103} \geq 1952$
$X_{104} \geq 1081$
$X_{105} \geq 37$
$X_{106} \geq 6424$
$X_{107} \geq 2206$
$X_{108} \geq 2112$
$X_{109} \geq 582$
$X_{110} \geq 302$
$X_{111} \geq 11$
$X_{112} \geq 2190$
$X_{113} \geq 380$
$X_{114} \geq 701$
$X_{115} \geq 387$
$X_{116} \geq 172$
$X_{117} \geq 24$
$X_{118} \geq 44$
$X_{119} \geq 36$
$X_{120} \geq 2350$
$X_{121} \geq 64$

Hammadde Kısıtı

270 $X_{49} \leq 600000$ (1 numaralı hammadde kısıtı)
593,57 $X_{101} \leq 1800000$ (2 numaralı hammadde kısıtı)
485,65 $X_{102} \leq 1400000$ (3 numaralı hammadde kısıtı)

302,7 $X_{15} \leq 6577070$(4 numaralı hammadde kısıtı)

302,7 $X_{22} \leq 6577064$ (5 numaralı hammadde kısıtı)
1115 $X_{107} \leq 2800000$ (6 numaralı hammadde kısıtı)
200 $X_{31} \leq 1000000$ (7 numaralı hammadde kısıtı)
53 $X_{4} \leq 1070000$ (8 numaralı hammadde kısıtı)
63 $X_{7} \leq 1215000$ (9 numaralı hammadde kısıtı)
486,5 $X_{20} \leq 3700000$ (10 numaralı hammadde kısıtı)
171,32 $X_{32} \leq 2200000$ (11 numaralı hammadde kısıtı)
774,43 $X_{29} \leq 8000000$ (12 numaralı hammadde kısıtı)
1026 $X_{10} \leq 22340000$ (13 numaralı hammadde kısıtı)
1030 $X_{25} \leq 6850000$ (14 numaralı hammadde kısıtı)
1081 $X_{43} \leq 5250000$ (15 numaralı hammadde kısıtı)
200 $X_{52} \leq 420000$ (16 numaralı hammadde kısıtı)
25 $X_{21} \leq 510000$ (17 numaralı hammadde kısıtı)
25 $X_{24} \leq 510000$ (18 numaralı hammadde kısıtı)
50 $X_{106} \leq 350000$ (19 numaralı hammadde kısıtı)
4,7 $X_{8} \leq 265810$ (20 numaralı hammadde kısıtı)
10,1 X_{11}+10,1 x23≤452150 (21 numaralı hammadde kısıtı)

1075 X_{30}+1075 X_{45}+1075 X_{110}+1075 X_{115}≤5289025 (22 numaralı hammadde kısıtı)
782 X_{28}≤3650000 (23 numaralı hammadde kısıtı)
796 X_{26}≤410000 (24 numaralı hammadde kısıtı)
0,3 X_{1}≤131000 (25 numaralı hammadde kısıtı)
333X_{54}+333X_{55}+333X_{56}+333X_{57}+333X_{58}+333X_{59}+333X_{60}+333X_{61}+333X_{62}+333X_{63}+3
33X_{64}+333X_{65}+333X_{66}+333X_{67}+333X_{68}+333X_{69}+333X_{70}+333X_{71}+333X_{72}+333X_{73}+33
3X_{74}+333X_{75}+333X_{76}+333X_{77}+333X_{78}+333X_{79}+333X_{80}+333X_{81}+333X_{82}+333X_{83}+333
X_{84}+333X_{85}+333X_{86}+333X_{87}+333X_{88}+333X_{89}+333X_{90}+333X_{91}+333X_{92}+333X_{93}+333X
$_{94}$+333X_{95}+333X_{96}+333X_{97}+333X_{98}+333X_{99}≤23680000 (26 numaralı hammadde kısıtı)
333 X_{44}+333 X_{111}+333 X_{112}+333 X_{113}≤2252500 (27 numaralı hammadde kısıtı)
571 X_{103}≤1250000 (28 numaralı hammadde kısıtı)
571 X_{41}≤810000 (29 numaralı hammadde kısıtı)
474 X_{114}≤378000 (30 numaralı hammadde kısıtı)
474 X_{104}≤576000 (31 numaralı hammadde kısıtı)
474 X_{51}+474 X_{109}≤690750 (32 numaralı hammadde kısıtı)
745,2 X_{9}≤27712000 (33 numaralı hammadde kısıtı)
15,5 X_{12}≤595000 (34 numaralı hammadde kısıtı)
19 X_{46}+19 X_{108}≤124100 (35 numaralı hammadde kısıtı)
1140 X_{50}+1140 X_{105}+1140 X_{116}+1140 X_{121}≤3553000 (36 numaralı hammadde kısıtı)
1140 X_{117}≤28500 (37 numaralı hammadde kısıtı)
1140 X_{100}≤9470 (38 numaralı hammadde kısıtı)
363,5 X_{118}≤16000 (39 numaralı hammadde kısıtı)
0,6 X_{42}≤3200 (40 numaralı hammadde kısıtı)
1220 X_{35}≤3350000 (41 numaralı hammadde kısıtı)
594 X_{17}+594 X_{37}≤23200650 (42 numaralı hammadde kısıtı)
611 X_{39}≤7855000 (43 numaralı hammadde kısıtı)
0,8 X_{6}≤18600 (44 numaralı hammadde kısıtı)
968 X_{38}+968 X_{53}≤32450000 (45 numaralı hammadde kısıtı)
64,9 X_{33}≤519000 (46 numaralı hammadde kısıtı)
552,6 X_{18}≤10855000 (47 numaralı hammadde kısıtı)
529,6 X_{19}≤9840550 (48 numaralı hammadde kısıtı)
581 X_{14}≤26140000 (49 numaralı hammadde kısıtı)
286 X_{16}≤9450000 (50 numaralı hammadde kısıtı)
286 X_{36}≤712000 (51 numaralı hammadde kısıtı)
8,35 X_{2}≤1715000 (52 numaralı hammadde kısıtı)
8,35 X_{3}≤1685000 (53 numaralı hammadde kısıtı)
629 X_{34}≤6294500 (54 numaralı hammadde kısıtı)
340 X_{120}≤889550 (55 numaralı hammadde kısıtı)
0,8 X_{5}≤66700 (56 numaralı hammadde kısıtı)
0,8 X_{13}≤28400 (57 numaralı hammadde kısıtı)
0,8 X_{47}≤3970 (58 numaralı hammadde kısıtı)
0,8 X_{40}≤2420 (59 numaralı hammadde kısıtı)
0,8 X_{48}≤2450 (60 numaralı hammadde kısıtı)
717,3 X_{27}≤11545000 (61 numaralı hammadde kısıtı)
714,7 X_{119}≤26070 (62 numaralı hammadde kısıtı)

Makine Kısıtı

$X_{49} \leq 130740$ (M424347 numaralı makine kısıtı)

$X_{101} \leq 98010$ (M424895 numaralı makine kısıtı)

$X_{15}+X22 \leq 113400$ (M424997 numaralı makine kısıtı)

$X_{107} \leq 29310$ (M480187 numaralı makine kısıtı)

$X_{31} \leq 75600$ (M480716 numaralı makine kısıtı)

$X_{4} \leq 20000$ (M481228 numaralı makine kısıtı)

$X_{7} \leq 28040$ (M481229 numaralı makine kısıtı)

$X_{20} \leq 75600$ (M481978 numaralı makine kısıtı)

$X_{32} \leq 89520$ (M481982 numaralı makine kısıtı)

$X_{29} \leq 34020$ (M485421 numaralı makine kısıtı)

$X_{10} \leq 34020$ (M485720 numaralı makine kısıtı)

$X_{25} \leq 8268$ (M486408 numaralı makine kısıtı)

$X_{43} \leq 42480$ (M486599 numaralı makine kısıtı)

$X_{52} \leq 81000$ (M486917 numaralı makine kısıtı)

$X_{21}+X_{24} \leq 453600$ (M486918 numaralı makine kısıtı)

$X_{106} \leq 6810$ (M487460 numaralı makine kısıtı)

$X_{8} \leq 271920$ (M488637 numaralı makine kısıtı)

$X_{11}+X_{23} \leq 97230$ (M489135 numaralı makine kısıtı)

$X_{30}+x45+X_{110}+X_{11}5 \leq 84990$ (M570088 numaralı makine kısıtı)

$X_{28} \leq 38670$ (M570089 numaralı makine kısıtı)

$X_{26} \leq 35430$ (M570092 numaralı makine kısıtı)

$X_{1} \leq 382120$ (M570591 numaralı makine kısıtı)

$X_{44}+X_{111}+X_{112}+X_{113} \leq 147420$ (M571172 numaralı makine kısıtı)

$X_{54}+X_{55}+X_{56}+X_{57}+X_{58}+X_{59}+X_{60}+X_{61}+X_{62}+X_{63}+X_{64}+X_{65}+X_{66}+X_{67}+X_{68}+X_{69}+X_{70}+X_{71}+$
$X_{72}+X_{73}+X_{74}+X_{75}+X_{76}+X_{77}+X_{78}+X_{79}+X_{80}+X_{81}+X_{82}+X_{83}+X_{84}+X_{85}+X_{86}+X_{87}+X_{88}+X_{89}+$
$X_{90}+X_{91}+X_{92}+X_{93}+X_{94}+X_{95} \leq 4243200$ (M571178 numaralı makine kısıtı)

$X_{41}+X_{103} \leq 65460$ (M571463 numaralı makine kısıtı)

$X_{119} \leq 38400$ (M571464 numaralı makine kısıtı)

$X_{51}+X_{104}+X_{109}+X_{114} \leq 65370$ (M571465 numaralı makine kısıtı)

$X_{9} \leq 37800$ (M571500 numaralı makine kısıtı)

$X_{12} \leq 234780$ (M572362 numaralı makine kısıtı)

$X_{46}+X_{108} \leq 113400$ (M572363 numaralı makine kısıtı)

$X_{50}+X_{100}+X_{105}+X_{116}+X_{117}+X_{121}\leq 84990$ (M572555 numaralı makine kısıtı)

$X_{118}\leq 65460$ (M572988 numaralı makine kısıtı)

$X_{42}\leq 851340$ (M573135 numaralı makine kısıtı)

$X_{35}\leq 37800$ (M573296 numaralı makine kısıtı)

$X_{17}+X_{37}\leq 128400$ (M573323 numaralı makine kısıtı)

$X_{39}\leq 34020$ (M573367 numaralı makine kısıtı)

$X_{6}\leq 1087740$ (M573811 numaralı makine kısıtı)

$X_{38}+X_{53}\leq 84990$ (M573974 numaralı makine kısıtı)

$X_{33}\leq 296070$ (M574555 numaralı makine kısıtı)

$X_{18}\leq 34020$ (M575354 numaralı makine kısıtı)

$X_{19}\leq 35430$ (M575690 numaralı makine kısıtı)

$X_{14}\leq 58620$ (M576101 numaralı makine kısıtı)

$X_{16}+X_{36}\leq 72390$ (M576102 numaralı makine kısıtı)

$X_{2}+X_{3}\leq 350410$ (M577626 numaralı makine kısıtı)

$X_{34}\leq 106350$ (M578415 numaralı makine kısıtı)

$X_{102}\leq 34020$ (M424933numaralı makine kısıtı)

$X_{5}+X_{13}+X_{40}+X_{47}+X_{48}\leq 271920$ (M579775 numaralı makine kısıtı)

$X_{27}\leq 37800$ (M581400 numaralı makine kısıtı)

$X_{96}\leq 29310$ (M571173 numaralı makine kısıtı)

$X_{97}\leq 29310$ (M571174 numaralı makine kısıtı)

$X_{98}\leq 40500$ (M571175 numaralı makine kısıtı)

$X_{99}\leq 37800$ (M571176 numaralı makine kısıtı)

$Z_{120}\leq 34020$ (M579379 numaralı makine kısıtı)

Gruplama Atölyesi İşçilik Süre Kısıtı

$61.68X_{9}+40.68X_{17}+24.22X_{18}+47.82X_{19}+49.64X_{20}+36X_{22}+121.02X_{25}+50.76X_{26}+47.12X_{27}+71.4X_{28}+79.92X_{29}+102.78X_{30}+28.86X_{31}+94.2X_{32}+35.76X_{33}+58.6X_{34}+168.12X_{35}+142.5X_{38}+21.84X_{39}+47.82X_{43}+102.78X_{45}+103.92X_{50}+142.5X_{53}+33.48X_{54}+19.2X_{55}+207.12X_{56}+103.92X_{57}+102.78X_{58}+149.64X_{59}+19.2X_{60}+125.46X_{61}+64.908X_{62}+19.2X_{63}+35.76X_{64}+76.08X_{65}+40.68X_{68}+19.2X_{69}+19.2X_{70}+47.068X_{71}+207.12X_{74}+19.2X_{77}+103.92X_{79}+71.4X_{80}+9X_{81}+33.48X_{82}+54.24X_{84}+884.64X_{85}+242.91X_{87}+167.46X_{88}+147.12X_{89}+130.8X_{90}+41.16X_{91}+56.12X_{92}+9X_{94}+156.12X_{95}+280.284X_{96}+371.274X_{97}+86.58X_{98}+18$

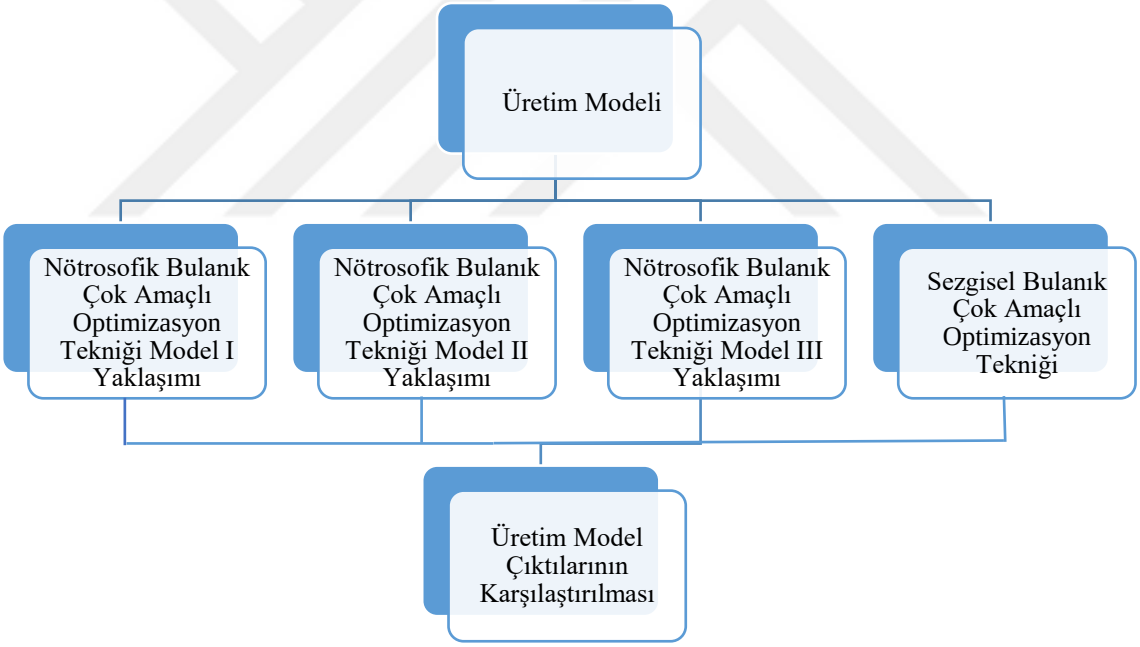
$X_{99}+116.16X_{100}+19.2X_{103}+19.2X_{104}+43.92X_{105}+50.76X_{107}+19.2X_{109}+22.78X_{110}+67.46$
$X_{111}+50.76X_{112}+47.4X_{113}\leq 20736000$

Baskı Atölyesi İşçilik Süre Kısıtı

$18X_{13}+15X_{23}+36X_{83}+14X_{93}+45X_{101}++30.25X_{102}+18.60X_{114}+12.65X_{115}+16.8X_{116}+22X_{118}+20.55X_{119}+40.55X_{121}\leq 1152000$

$X_j \geq 0$ ve X_j tamsayı $j=1,2,\ldots 121$ **(3.12)**

Beyaz eşya yan sanayi alanında faaliyette bulunan üretim işletmesi için önerilen üretim modelli, belirsiz amaçlar ve belirli kısıtlar altında, çok amaçlı olarak optimize edilmiştir. Üretim modeli, bulanık yapıların uzantısı nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniğinin Model I, Model II ve Model III yaklaşımları analiz edilmiştir. Üretim işletmesinin belirsiz üretim amaçlarının modellenmesi, çözümü ve çözüm çıktıların karşılaştırılması Şekil 3.2'de gösterilen teknikler ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.2. *Üretim Modeli Çözüm Teknikleri*

Belirsizliğin söz konusu olduğu çok amaçlı optimizasyon modelinin çözümünün, nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ile gerçekleştirilebilmesi için modelin nötrosofik bulanık yapıya dönüştürülmesi gerekir. İzleyen kısımda üretim modelinin nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ile kurulumu ve çözümü gerçekleştirilmiştir.

3.3.1. Üretim modelinin nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ile kurulumu ve çözümü

Çok amaçlı üretim modelinin, nötrosofik bulanık kümeler ile kurulumu ve çözümü yedi adımda gerçekleştirilmiştir.

Adım 1: Üretim işletmesinin üretim planlama problemi, nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ile eşitlik (2.37)'de belirtilen biçimde modellenmiştir. Amaç fonksiyonlarının belirsiz olduğu nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon modeli teorik olarak eşitlik (3.13)'te verilmiştir.

$$
\begin{aligned}
&MinZ_1{}^N = \textstyle\sum_{j=1}^{n} c_j x_j \\
&MaxZ_2{}^N = \textstyle\sum_{j=1}^{n} k_j x_j \\
&MinZ_3{}^N = \textstyle\sum_{j=1}^{n} s_j x_j \\
&MinZ_4{}^N = \textstyle\sum_{j=1}^{n} d_j x_j \\
&MinZ_5{}^N = \textstyle\sum_{j=1}^{n} f_j x_j \\
&Kısıtlayıcılar \\
&x_j \geq T_j \\
&h_{ij} x_j \leq N_i \\
&m_j x_j \leq M_r \\
&g_j x_j \leq G \\
&b_j x_j \leq B \\
&\text{ve } x_j \geq 0 \text{ ve } x_j \text{ tamsayı j=1,2,…,121.}
\end{aligned}
\qquad \textbf{(3.13)}
$$

Adım 2: Üretim modelinde yer alan amaçlardan birincisi (herhangi birinden başlanabilir) üretim maliyeti minimizasyonu amacı (Z_1), diğer amaçlar çözüme dâhil edilmeden doğrusal üretim modelinin tüm kısıtlayıcıları altında LINGO 19.0 paket program ile çözülmüş ve amaç fonksiyonunun değeri;

$MinZ_1 = 2.329.133$ olarak bulunmuştur.

Adım 3: Adım 2'de yapılan işlem, tüm amaçlar için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Her seferinde tek bir amaç için çözüme gidilmiş ve diğer amaçlar dikkate alınmamıştır. Üretim modelinin diğer amaçlarının, LINGO 19.0 paket programı ile doğrusal olarak tek amaçlı çözümlerinden elde edilen değerler sırasıyla;

Kar maksimizasyonu amacı için; $MaxZ_2 = 1.760.236$

Çevrim süresi minimizasyonu amacı; $MinZ_3 = 25.501.660$

Defolu ürün oranı minimizasyonu amacı; $MinZ_4 = 99.861{,}89$

Malzeme fire minimizasyonu amacı; $MinZ_5 = 5.574{,}678$ şeklinde bulunmuştur.

Adım 4: Üretim modelindeki her bir amacın, diğer amaçlardan bağımsız olarak çözülmesinden sonra Tablo 3.1'de verilen ödünleşme matrisi elde edilmiştir.

Tablo 3.1. *Üretim Planı Ödünleşme Matrisi*

	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
Min Z_1	2.329.133	1.599.267	25.501.660	99.861,89	5.574,678
Max Z_2	2.742.388	1.760.236	27.526.357	104.081,90	5.790.102
Min Z_3	2.329.133	1.599.267	25.501.660	99.861,89	5.574,678
Min Z_4	2.329.133	1.599.267	25.501.660	99.861,89	5.574,678
Min Z_5	2.329.133	1.599.267	25.501.660	99.861,89	5.574,678

Ödünleşme matrisinin köşegen değerleri her bir amacın bağımsız çözümünden elde edilen amaç fonksiyonu değerini göstermektedir. Matrisin diğer değerleri ise, bağımsız çözümlerden elde edilen karar değişkeni değerlerinin, diğer amaç fonksiyonlarında yerine konulması ile hesaplanmıştır. Tablo 3.1'de yer alan ödünleşme matrisine göre Z_1 sütununda yer alan değerlerin açıklaması şu şekildedir:

Z_{11}: 2.329.133 değeri modelin üretim maliyeti minimizasyonu Z_1 amaç fonksiyonunun bağımsız olarak çözülmesi ile elde edilmiştir. Z_{21} : 2.742.388 değeri ise kâr maksimizasyonu Z_2 amaç fonksiyonunun bağımsız olarak çözümünden elde edilen karar değişkeni değerlerinin Z_1 amaç fonksiyonunda yerlerine konulması ile bulunmuştur. Z_{31} : 2.329.133 değeri Z_3 çevrim süresi amacının bağımsız çözümünden elde edilen karar değişkenlerinin Z_1 amaç fonksiyonunda yerine konulması ile elde edilmiştir. Z_{11} ve Z_{31} değerlerinin aynı olmasında hatalı bir durum söz konusu değildir. Üretim maliyetinin minimize edildiği Z_1 amaç fonksiyonu en düşük değerine, talebi karşılayan en az üretim miktarı ile ulaşmaktadır. Yine Z_3 amaç fonksiyonu en optimal değerine, talebi doyuran üretim miktarları ile eriştiğinden, karar değişkenleri aynı değeri almaktadır. Bu durum minimizasyon yapılı Z_4 ve Z_5 amaçları içinde geçerli olmaktadır. Bu nedenle ödünleşme matrisinde Z_1 üretim maliyeti amacının bulunduğu birinci sütunda Z_{31}, Z_{41}, Z_{51} değerleri eşit olarak bulunmuştur. Ödünleşme matrisinin diğer değerleri de benzer şekilde okunur.

Adım 5: Tablo 3.1'de yer alan ödünleşme matrisinden elde edilen değerler kullanılarak, nötrosofik bulanık doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık üyelik fonksiyonlarının alt ve üst sınır değerleri belirlenir. Ödünleşme matrisi aynı zamanda bir amacın hangi aralıkta değer alabileceğini göstermektedir. Üretim maliyetinin minimize edildiği Z_1 amaç fonksiyonu $2.329.133 \leq Z_1 \leq 2.742.388$ arasında bir değer alır. Z_1 amaç fonksiyonunun alt limiti 2.329.133 ve üst limiti 2.742.388 olmak üzere; doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık üyelik fonksiyonlarını belirlemek için gerekli sınır değerleri Tablo 2.7'de gösterilen formüller aracılığı ile hesaplanmıştır. Üretim maliyeti minimizasyonu amacı için doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık üyelik fonksiyonu sınır değerleri sırası ile eşitlik (3.14), eşitlik (3.15) ve (3.16)'da gösterildiği gibi elde edilmiştir.

- Üretim maliyeti minimizasyonu doğruluk üyelik fonksiyonu sınır değerleri:

$$L_{Z_1}^{\mu} = min\{f_1(x_1^*)\} = 2.329.133$$
$$U_{Z_1}^{\mu} = max\{f_1(x_1^*)\} = 2.742.388 \quad \textbf{(3.14)}$$

- Üretim maliyeti minimizasyonu belirsizlik üyelik fonksiyonu sınır değerleri

$$L_{Z_1}^{\sigma} = min\{f_1(x_1^*)\} = 2.329.133$$
$$U_{Z_1}^{\sigma} = L_1^{\mu} + \lambda_1\left(U_1^{\mu} - L_1^{\mu}\right)$$
$$U_{Z_1}^{\sigma} = 2.329.133 + 0{,}5(2.742.388 - 2.329.133) = 2.535.760{,}5 \quad \textbf{(3.15)}$$

- Üretim maliyeti minimizasyonu yanlışlık üyelik fonksiyonu sınır değerleri

$$L_1^{\nu} = L_1^{\mu} + \lambda_2(U_1^{\mu} - L_1^{\mu})$$
$$L_{Z_1}^{\nu} = 2.329.133 + 0{,}3(2.742.388 - 2.329.133) = 2.453.109{,}5$$
$$U_{Z_1}^{\nu} = 2.742.388 \quad \textbf{(3.16)}$$

Maksimize edilmek istenen Z_2 amacı için doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık üyelik fonksiyonları ikinci bölümde yer alan Tablo 2.6'da verilen formüller ile oluşturulmuştur. Benzer şekilde minimize edilmek istenen Z_3, Z_4 ve Z_5 amaçları için doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık üyelik fonksiyonları Z_1 amacında olduğu gibi ikinci bölümde yer alan Tablo 2.7'de verilen formüller ile hesaplanmıştır.

Adım 6: Amaç fonksiyonunun yapısına göre elde edilen alt ve üst sınırlar ile her bir amaç fonksiyonu için doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık üyelik fonksiyonları elde

edilmiştir. Bu fonksiyonlar eşitlik (2.42), (2.43), (2.44), (2.45), (2.46) ve (2.47)'de verilen formülasyon uygulanarak maliyet minimizasyonu amacı Z_1 için

- Doğruluk üyelik fonksiyonu eşitlik (2.45)' te yer alan,

$$\mu_k(f_k(x)) = \begin{cases} 1 & , \quad f_k(x) \leq L_k^{\mu} \quad ise \\ \dfrac{U_k^{\mu} - f_k(x)}{U_k^{\mu} - L_k^{\mu}} & , \quad L_k^{\mu} \leq f_k(x) \leq U_k^{\mu} \quad ise \\ 0 & , \quad f_k(x) \geq U_k^{\mu} \quad ise \end{cases}$$

formülünden yararlanarak, eşitlik (3.17)'de belirtilen biçimde

$$\mu_1(Z_1(x)) = \begin{cases} 1 & , \quad Z_1(x) \leq 2.329.133 \quad ise \\ \dfrac{2.742.388 - Z_1(x)}{413.255}, & 2.329.133 \leq Z_1(x) \leq 2.742.388 \quad ise \\ 0 & , \quad Z_1(x) \geq 2.742.388 \quad ise \end{cases} \quad \textbf{(3.17)}$$

- Belirsizlik üyelik fonksiyonu eşitlik (2.46)'da yer alan,

$$\sigma_k(f_k(x)) = \begin{cases} 1 & , \quad f_k(x) \leq L_k^{\sigma} \quad ise \\ \dfrac{U_k^{\sigma} - f_k(x)}{U_k^{\sigma} - L_k^{\sigma}} & , \quad L_k^{\sigma} \leq f_k(x) \leq U_k^{\sigma} \quad ise \\ 0 & , \quad f_k(x) \geq U_k^{\sigma} \quad ise \end{cases}$$

formülünden yararlanarak, eşitlik (3.18)'de belirtilen biçimde

$$\sigma_1(Z_1(x)) = \begin{cases} 1, & Z_1(x) \leq 2.329.133 \; ise \\ \dfrac{2.535.760{,}5 - Z_1(x)}{206.627.5}, & 2.329.133 \leq Z_1(x) \leq 2.535.760{,}5 \; ise \\ 0, & Z_1(x) \geq 2.535.760{,}5 \quad ise \end{cases} \quad \textbf{(3.18)}$$

- Yanlışlık üyelik fonksiyonu eşitlik (2.47)'de yer alan,

$$\nu_k(f_k(x)) = \begin{cases} 0 & , \quad f_k(x) \leq L_k^{\nu} \quad ise \\ \dfrac{f_k(x) - L_k^{\nu}}{U_k^{\nu} - L_k^{\nu}} & , \quad L_k^{\nu} \leq f_k(x) \leq U_k^{\nu} \quad ise \\ 1 & , \quad f_k(x) \geq U_k^{\nu} \quad ise \end{cases}$$

formülünden yararlanarak, eşitlik (3.19)'da belirtilen biçimde

$$v_k(f_k(x)) = \begin{cases} 0 & , \quad Z_1(x) \leq 2.453.109.5 \quad ise \\ \dfrac{Z_1(x) - 2.453.109.5}{330.604} & , \quad 2.453.109.5 \leq Z_1(x) \leq 2.742.388 \quad ise \\ 1 & , \quad Z_1(x) \geq 2.742.388 \quad ise \end{cases} \quad \textbf{(3.19)}$$

elde edilir. Z_1 amaç fonksiyonu için yapılan adımlar izlenerek üretim modelinin diğer amaçları için üyelik fonksiyonları belirlenir.

Adım 7: Oluşturulan üyelik fonksiyonları ile nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon modeli, klasik doğrusal programlama modeline dönüştürülmüştür. Nötrosofik bulanık üyelik fonksiyonları belirlendikten sonra nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon problemi ikinci bölümde yer verilen Model I, Model II ve Model III yaklaşımları ile ayrı ayrı çözülmüştür. Nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniğinin çözüm yaklaşımları (Model I-II-III) tekniğin modelleme ve çözümünü içeren yedi adımı için aynı süreci kapsamaktadır. Modeller üyelik fonksiyonlarının derecelerinin maksimize ve minimize edilmesi olarak farklılık göstermektedir. Çalışma kapsamında üretim işletmesi için önerilen modeli farklı yaklaşımlar ile çözümleri izleyen alt başlıkta sunulmuştur.

3.3.1.1. *Üretim modelinin nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği model I yaklaşımı ile kurulumu ve çözümü*

Nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği Model I yaklaşımına göre, doğruluk üyelik ve belirsizlik üyelik fonksiyonları maksimize, yanlışlık üyelik fonksiyonu ise minimize edilmek üzere eşitlik (3.20)'de belirtilen biçimde oluşturulmuştur. Modelin açık yazılımı Ek 1'de gösterilmiştir.

$$\boldsymbol{Max}\ (\boldsymbol{\alpha}+\boldsymbol{\gamma}-\boldsymbol{\beta})$$

$Kısıtlayıcılar$

$\mu_1(Z_1(x)) \geq \alpha$

$\sigma_1(Z_1(x)) \geq \gamma$

$\nu_1(Z_1(x)) \leq \beta$

$\mu_2(Z_2(x)) \geq \alpha$

$\sigma_2(Z_2(x)) \geq \gamma$

$\nu_2(Z_2(x)) \leq \beta$

$\mu_3(Z_3(x)) \geq \alpha$

$\sigma_3(Z_3(x)) \geq \gamma$

$\nu_3(Z_3(x)) \leq \beta$

$\mu_4(Z_4(x)) \geq \alpha$

$\sigma_4(Z_4(x)) \geq \gamma$

$\nu_4(Z_4(x)) \leq \beta$

$\mu_5(Z_5(x)) \geq \alpha$

$\sigma_5(Z_5(x)) \geq \gamma$

$\nu_5(Z_5(x)) \leq \beta$

$x_j \geq T_j$

$h_{ij}x_j \leq N_i$

$m_j x_j \leq M_r$

$g_j x_j \leq G$

$b_j x_j \leq B$

$0 \leq \sigma+\gamma+\beta \leq 3$

$\alpha \geq \gamma$

$\alpha \geq \beta$

$\alpha, \beta, \gamma \in [0,1]$

ve $x_j \geq 0$ ve x_j tamsayı j=1,2,…,121 **(3.20)**

Üretim modelinin, nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği Model I yaklaşımına göre çözümü LINGO 19.0 paket programda gerçekleştirilmiş ve Tablo 3.2'de verilen çözüm değerleri elde edilmiştir.

Tablo 3.2. *Üretim Modeli Nötrosofik Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği Model I Yaklaşımı Çözüm Kümesi*

Karar Değişkenleri	**Nötrosofik Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği MODEL I Yaklaşımı Çözüm Kümesi**
α	0,54
γ	0,087
β	0,22
X_1	379.133
X_2	184.043
X_3	166.367
X_4	20000
X_5	83243
X_6	23250
X_7	19206
X_8	56555
X_9	37185
X_{10}	21773
X_{11}	31474
X_{12}	38387
X_{13}	34157
X_{14}	44991
X_{15}	21728
X_{16}	33041
X_{17}	28220
X_{18}	18501
X_{19}	18581
X_{20}	7070
X_{21}	20400
X_{22}	21727
X_{23}	13293
X_{24}	20400
X_{25}	5821
X_{26}	515
X_{27}	14667
X_{28}	4191
X_{29}	9817
X_{30}	3032
X_{31}	5000
X_{32}	12025
X_{33}	7996
X_{34}	10007
X_{35}	2559
X_{36}	2308
X_{37}	10838
X_{38}	6921
X_{39}	11876
X_{40}	3025
X_{41}	1218
X_{42}	5333
X_{43}	4856
X_{44}	3883
X_{45}	1106
X_{46}	4419
X_{47}	4488

Tablo 3.2. (Devam) *Üretim Modeli Nötrosofik Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği Model I Yaklaşımı Çözüm Kümesi*

X_{48}	2660
X_{49}	2137
X_{50}	2756
X_{51}	875
X_{52}	1844
X_{53}	2417
X_{54}	2962
X_{55}	781
X_{56}	1026
X_{57}	1188
X_{58}	1065
X_{59}	1723
X_{60}	1058
X_{61}	44
X_{62}	2386
X_{63}	908
X_{64}	4625
X_{65}	892
X_{66}	1830
X_{67}	7031
X_{68}	4088
X_{69}	1105
X_{70}	1602
X_{71}	2139
X_{72}	3293
X_{73}	719
X_{74}	1078
X_{75}	1990
X_{76}	1353
X_{77}	2259
X_{78}	477
X_{79}	419
X_{80}	562
X_{81}	1418
X_{82}	696
X_{83}	48
X_{84}	94
X_{85}	721
X_{86}	1479
X_{87}	3221
X_{88}	399
X_{89}	2531
X_{90}	398
X_{91}	1610
X_{92}	4900
X_{93}	544
X_{94}	714
X_{95}	2256
X_{96}	184
X_{97}	1128
X_{98}	150
X_{99}	17
X_{100}	8

Tablo 3.2. (Devam) *Üretim Modeli Nötrosofik Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği Model I Yaklaşımı Çözüm Kümesi*

X_{101}	2960
X_{102}	2834
X_{103}	1952
X_{104}	1081
X_{105}	42
X_{106}	6424
X_{107}	2206
X_{108}	2112
X_{109}	582
X_{110}	302
X_{111}	311
X_{112}	2190
X_{113}	380
X_{114}	701
X_{115}	480
X_{116}	253
X_{117}	25
X_{118}	44
X_{119}	36
X_{120}	2350
X_{121}	64

Tablo 3.2'de önerilen nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği Model I yaklaşımına göre karar değişkenlerinin aldığı değerler ile birlikte üyelik fonksiyonları dereceleri yer almaktadır. Nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği Model I yaklaşımı ile gerçekleştirilen çözüme göre, üretim işletmesi için 121 karar değişkeni tam sayılı olarak elde edilmiştir. Model I yaklaşımına göre doğruluk derecesi α=0,54 olarak bulunmuştur.

3.3.1.2. *Üretim modelinin nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği model II yaklaşımı ile kurulumu ve çözümü*

Üretim modelinin, nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği Model II yaklaşımına göre çözümünde üretim modelinin, üyelik fonksiyonları kısıtlayıcıları değişmemektedir. Sadece üyelik fonksiyonlarının derecelerinin nasıl optimize edildiği değişmektedir. Doğruluk üyelik fonksiyonunun maksimize, belirsizlik ve yanlışlık üyelik fonksiyonlarının ise minimize edilmesi amacına uygun olarak eşitlik (3.21)'de belirtilen biçimde oluşturulmuştur. Modelin açık yazılımı Ek 1'de gösterilmiştir.

$$\boldsymbol{Max}\ (\boldsymbol{\alpha - \gamma - \beta})$$

$Kısıtlayıcılar$

$\mu_1(Z_1(x)) \geq \alpha$

$\sigma_1(Z_1(x)) \leq \gamma$

$\nu_1(Z_1(x)) \leq \beta$

$\mu_2(Z_2(x)) \geq \alpha$

$\sigma_2(Z_2(x)) \leq \gamma$

$\nu_2(Z_2(x)) \leq \beta$

$\mu_3(Z_3(x)) \geq \alpha$

$\sigma_3(Z_3(x)) \leq \gamma$

$\nu_3(Z_3(x)) \leq \beta$

$\mu_4(Z_4(x)) \geq \alpha$

$\sigma_4(Z_4(x)) \leq \gamma$

$\nu_4(Z_4(x)) \leq \beta$

$\mu_5(Z_5(x)) \geq \alpha$

$\sigma_5(Z_5(x)) \leq \gamma$

$\nu_5(Z_5(x)) \leq \beta$

$x_j \geq T_j$

$h_{ij}x_j \leq N_i$

$m_j x_j \leq M_r$

$g_j x_j \leq G$

$b_j x_j \leq B$

$0 \leq \sigma + \gamma + \beta \leq 3$

$\alpha \geq \gamma$

$\alpha \geq \beta$

$\alpha, \beta, \gamma \in [0,1]$

ve $x_j \geq 0$ ve x_j tamsayı j=1,2,…,121 **(3.21)**

Üretim modelinin nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği Model II yaklaşımına göre çözümü LINGO 19.0 paket programda gerçekleştirilmiş ve Tablo 3.3'te verilen çözüm değerleri elde edilmiştir.

Tablo 3.3. *Üretim Modeli Nötrosofik Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği Model II Yaklaşımı Çözüm Kümesi*

Karar Değişkenleri	Nötrosofik Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği MODEL II Yaklaşımı Çözüm Kümesi
α	0,54
γ	0,08
β	0,22
X_1	380036
X_2	184043
X_3	166367
X_4	20000
X_5	83375
X_6	23250
X_7	19206
X_8	56555
X_9	37185
X_{10}	21773
X_{11}	31474
X_{12}	38387
X_{13}	35500
X_{14}	44991
X_{15}	21728
X_{16}	33041
X_{17}	28220
X_{18}	18501
X_{19}	18581
X_{20}	7070
X_{21}	20400
X_{22}	21727
X_{23}	13293
X_{24}	17741
X_{25}	5821
X_{26}	515
X_{27}	14667
X_{28}	4191
X_{29}	9817
X_{30}	3032
X_{31}	5000
X_{32}	12025
X_{33}	7996
X_{34}	10007
X_{35}	2559
X_{36}	2308
X_{37}	10838
X_{38}	6921
X_{39}	11876
X_{40}	3025
X_{41}	1218
X_{42}	5333
X_{43}	4856
X_{44}	3883
X_{45}	1106
X_{46}	4367
X_{47}	4488

Tablo 3.3. (Devam) *Üretim Modeli Nötrosofik Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği Model II Yaklaşımı Çözüm Kümesi*

X_{48}	2660
X_{49}	2137
X_{50}	2756
X_{51}	875
X_{52}	1844
X_{53}	3453
X_{54}	2962
X_{55}	781
X_{56}	1026
X_{57}	1188
X_{58}	1065
X_{59}	1723
X_{60}	1058
X_{61}	44
X_{62}	2386
X_{63}	908
X_{64}	4679
X_{65}	904
X_{66}	1830
X_{67}	7031
X_{68}	4088
X_{69}	1105
X_{70}	1602
X_{71}	2139
X_{72}	3293
X_{73}	719
X_{74}	1078
X_{75}	1990
X_{76}	1354
X_{77}	2259
X_{78}	477
X_{79}	419
X_{80}	562
X_{81}	1418
X_{82}	696
X_{83}	48
X_{84}	94
X_{85}	721
X_{86}	1479
X_{87}	3931
X_{88}	399
X_{89}	2531
X_{90}	398
X_{91}	1610
X_{92}	5079
X_{93}	544
X_{94}	714
X_{95}	2256
X_{96}	184
X_{97}	150
X_{98}	150
X_{99}	17
X_{100}	8

Tablo 3.3. (Devam) *Üretim Modeli Nötrosofik Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği Model II Yaklaşımı Çözüm Kümesi*

X_{101}	2960
X_{102}	2834
X_{103}	1952
X_{104}	1081
X_{105}	37
X_{106}	6424
X_{107}	2511
X_{108}	2112
X_{109}	582
X_{110}	395
X_{111}	311
X_{112}	2190
X_{113}	380
X_{114}	701
X_{115}	387
X_{116}	259
X_{117}	25
X_{118}	44
X_{119}	36
X_{120}	2350
X_{121}	64

Tablo 3.3'te önerilen nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği Model II yaklaşımına göre karar değişkenlerinin aldığı değerler ile birlikte üyelik fonksiyonları dereceleri yer almaktadır. Nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği Model II yaklaşımı ile gerçekleştirilen çözüme göre, üretim işletmesi için 121 karar değişkeni tam sayılı olarak elde edilmiştir. Model II yaklaşımına göre doğruluk derecesi α=0,54 olarak bulunmuştur.

3.3.1.3. *Üretim modelinin nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği model III yaklaşımı ile kurulumu ve çözümü*

Nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği Model III yaklaşımına göre, doğruluk üyelik, belirsizlik üyelik ve yanlışlık üyelik fonksiyonları maksimize edilmesi amacına uygun olarak eşitlik (3.22)'de belirtilen biçimde oluşturulmuştur. Modelin açık yazılımı Ek 1'de gösterilmiştir.

$$\boldsymbol{Max}\ (\boldsymbol{\alpha}+\boldsymbol{\gamma}+\boldsymbol{\beta})$$

$$Kısıtlayıcılar$$

$$\mu_1(Z_1(x)) \geq \alpha$$

$$\sigma_1(Z_1(x)) \geq \gamma$$

$$\nu_1(Z_1(x)) \leq \beta$$

$$\mu_2(Z_2(x)) \geq \alpha$$

$$\sigma_2(Z_2(x)) \geq \gamma$$

$$\nu_2(Z_2(x)) \leq \beta$$

$$\mu_3(Z_3(x)) \geq \alpha$$

$$\sigma_3(Z_3(x)) \geq \gamma$$

$$\nu_3(Z_3(x)) \leq \beta$$

$$\mu_4(Z_4(x)) \geq \alpha$$

$$\sigma_4(Z_4(x)) \geq \gamma$$

$$\nu_4(Z_4(x)) \leq \beta$$

$$\mu_5(Z_5(x)) \geq \alpha$$

$$\sigma_5(Z_5(x)) \geq \gamma$$

$$\nu_5(Z_5(x)) \leq \beta$$

$$x_j \geq T_j$$

$$h_{ij}x_j \leq N_i$$

$$m_j x_j \leq M_r$$

$$g_j x_j \leq G$$

$$b_j x_j \leq B$$

$$0 \leq \sigma+\gamma+\beta \leq 3$$

$$\alpha \geq \gamma$$

$$\alpha \geq \beta$$

$$\alpha,\beta,\gamma\ \in [0,1]$$

ve $x_j\ \geq 0$ ve x_j tamsayı j=1,2,…,121 **(3.22)**

Üretim modelinin, nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği Model III yaklaşımına göre çözümü LINGO 19.0 paket programda gerçekleştirilmiş ve Tablo 3.4'te verilen çözüm değerleri elde edilmiştir.

Tablo 3.4. *Üretim Modeli Nötrosofik Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği Model III Yaklaşımı Çözüm Kümesi*

Karar Değişkenleri	Nötrosofik Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği MODEL III Yaklaşımı Çözüm Kümesi
α	0,54
γ	0,08
β	0,54
X_1	379133
X_2	184043
X_3	166367
X_4	20000
X_5	83243
X_6	23250
X_7	19206
X_8	56555
X_9	37185
X_{10}	21773
X_{11}	31474
X_{12}	38387
X_{13}	34156
X_{14}	44991
X_{15}	21728
X_{16}	33041
X_{17}	28220
X_{18}	18501
X_{19}	18581
X_{20}	7070
X_{21}	20400
X_{22}	21727
X_{23}	13293
X_{24}	20400
X_{25}	5821
X_{26}	515
X_{27}	14667
X_{28}	4191
X_{29}	9817
X_{30}	3032
X_{31}	5000
X_{32}	12025
X_{33}	7996
X_{34}	10007
X_{35}	2559
X_{36}	2308
X_{37}	10838
X_{38}	6921
X_{39}	11876
X_{40}	3025
X_{41}	1218
X_{42}	5333
X_{43}	4856
X_{44}	3883
X_{45}	1106
X_{46}	4419
X_{47}	4488

Tablo 3.4. (Devam) *Üretim Modeli Nötrosofik Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği Model III Yaklaşımı Çözüm Kümesi*

X_{48}	2660
X_{49}	2137
X_{50}	2756
X_{51}	875
X_{52}	1844
X_{53}	2417
X_{54}	2962
X_{55}	781
X_{56}	1026
X_{57}	1188
X_{58}	1065
X_{59}	1723
X_{60}	1058
X_{61}	44
X_{62}	2386
X_{63}	908
X_{64}	4625
X_{65}	892
X_{66}	1830
X_{67}	7031
X_{68}	4088
X_{69}	1105
X_{70}	1602
X_{71}	2139
X_{72}	3293
X_{73}	719
X_{74}	1078
X_{75}	1990
X_{76}	1353
X_{77}	2259
X_{78}	477
X_{79}	419
X_{80}	562
X_{81}	1418
X_{82}	696
X_{83}	48
X_{84}	94
X_{85}	721
X_{86}	1479
X_{87}	3221
X_{88}	399
X_{89}	2531
X_{90}	398
X_{91}	1610
X_{92}	4900
X_{93}	544
X_{94}	714
X_{95}	2256
X_{96}	184
X_{97}	1128
X_{98}	150
X_{99}	17
X_{100}	8

Tablo 3.4. (Devam) *Üretim Modeli Nötrosofik Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği Model III Yaklaşımı Çözüm Kümesi*

X_{101}	2960
X_{102}	2834
X_{103}	1952
X_{104}	1081
X_{105}	41
X_{106}	6424
X_{107}	2206
X_{108}	2112
X_{109}	582
X_{110}	302
X_{111}	311
X_{112}	2190
X_{113}	380
X_{114}	701
X_{115}	480
X_{116}	254
X_{117}	25
X_{118}	44
X_{119}	36
X_{120}	2350
X_{121}	64

Tablo 3.4'te önerilen nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği Model III yaklaşımına göre karar değişkenlerinin aldığı değerler ile birlikte üyelik fonksiyonları dereceleri yer almaktadır. Nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği Model I yaklaşımı ile gerçekleştirilen çözüme göre, üretim işletmesi için 121 karar değişkeni tam sayılı olarak elde edilmiştir. Model I yaklaşımına göre doğruluk derecesi α=0,54 olarak bulunmuştur.

Üretim modelinin nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniğinin Model I, Model II ve Model III farklı yaklaşımlarına göre çözüm sonuçlarını incelediğimizde üç yaklaşım içinde α doğruluk üyelik derecesinin 0,54 gibi yüksek bir değer aldığı görülmektedir. Bu yaklaşımlar ile belirsiz üretim amaçları belirli kısıtlayıcılar altında 0,54 doğruluk düzeyinde eşanlı olarak doyurulmuştur. Model I, Model II ve Model III yaklaşımları ile aynı doğruluk düzeyinde farklı amaç fonksiyonları ve farklı çözüm setine ulaşılmıştır. Sonuç olarak karar vericiler için alternatif çözümler sunulmuştur.

3.3.2. Üretim modelinin sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ile kurulumu ve çözümü

Sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği, nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniğinde olduğu gibi bir problemi yedi adımda incelemektedir.

Adım 1: Üretim problemi, sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon modeli eşitlik (2.23)'te gösterildiği gibi formüle edilmiştir. Amaç fonksiyonlarının belirsiz olduğu sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon modeli eşitlik (3.23)'te gösterildiği gibidir.

$$Min{Z_1}^I = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j$$
$$Max{Z_2}^I = \sum_{j=1}^{n} k_j x_j$$
$$Min{Z_3}^I = \sum_{j=1}^{n} s_j x_j$$
$$Min{Z_4}^I = \sum_{j=1}^{n} d_j x_j$$
$$Min{Z_5}^I = \sum_{j=1}^{n} f_j x_j$$
$$Kısıtlayıcılar$$
$$x_j \geq T_j$$
$$h_{ij} x_j \leq N_i$$
$$m_j x_j \leq M_r$$
$$g_j x_j \leq G$$
$$b_j x_j \leq B$$
ve $x_j \geq 0$ ve x_j tamsayı j=1,2,…,121. **(3.23)**

Adım 2: İşletmeden alınan veriler ile oluşturulan modelde yer alan amaç fonksiyonlarından herhangi biri bağımsız olarak optimize edilir. Optimizasyonda herhangi bir öncelik olmayıp, rastgele bir amaç fonksiyonundan başlanabilir. Üretim maliyet minimizasyonu amacı (Z_1), diğer amaçlar çözüme dâhil edilmeden tüm kısıtlayıcılar altında LINGO 19.0 paket programı ile çözülmüş ve amaç fonksiyonunun değeri;

$Min Z_1 = 2.329.133$ olarak bulunmuştur.

Adım 3: Adım 2'de yapılan işlem, üretim modelinin diğer amaçları için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Her seferinde tek bir amaç için çözüme gidilerek ve diğer amaçlar dikkate alınmamıştır. Üretim modelinin diğer amaçları için doğrusal programlama modeli ile elde edilen amaç fonksiyonu değerleri sırası ile;

Kar maksimizasyonu amacı için; $Max Z_2 = 1.760.236$

Çevrim süresi minimizasyonu amacı; $Min Z_3 = 25.501.660$

Defolu ürün oranı minimizasyonu amacı; $Min Z_4 = 99.861{,}89$

Malzeme fire minimizasyonu amacı; $Min Z_5 = 5.574{,}678$ olarak bulunmuştur.

Adım 4: Üretim modelini oluşturan her bir amacın, diğer amaçlardan bağımsız olarak çözülmesinden sonra ödünleşme matrisi elde edilir. Ödünleşme matrisinin köşegen değerleri her bir amacın bağımsız çözümünden elde edilen amaç fonksiyonu değerini gösterir. Matrisin diğer değerleri ise, bağımsız çözümlerden elde edilen karar değişkeni değerlerinin, diğer amaç fonksiyonlarında yerine konulması ile elde edilir.

Tablo 3.1'de yer alan ödünleşme matrisine göre Z_1 sütununda yer alan değerlerin açıklaması şu şekildedir:

Z_{11}: 2.329.133 değeri modelin $MinZ_1$ amaç fonksiyonunun bağımsız olarak çözülmesi ile elde edilir. Z_{21}: 2.742.388 değeri ise Z_2 amaç fonksiyonunun bağımsız olarak çözümünden elde edilen karar değişkeni değerlerinin Z_1 amaç fonksiyonunda yerlerine konulması ile bulunur. Ödünleşme matrisindeki diğer değerlerde benzer şekilde okunur. Çalışmamıza ait ödünleşme matrisi Tablo 3.1.'de gösterilmektedir.

Adım 5: Tablo 3.1'de verilen ödünleşme matrisinde yer alan değerler ile sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon modelinin üye olma ve üye olmama fonksiyonları hesaplanır. Her bir sütunda yer alan en düşük değer ilgili amaç fonksiyonunun alt sınırını ve en yüksek değer ise üst sınırını göstermektedir. Buna göre Z_1 amaç fonksiyonu 2.329.133 ile 2.742.388 arasında bir değer alır.

Minimizasyon amaçları; Z_1 (üretim maliyeti), Z_3 (çevrim süresi), Z_4 (defolu ürün oranı) ve Z_5 (malzeme fire miktarı) için üye olma ve üye olmama fonksiyonları alt ve üst limitleri Tablo 2.5'te verilen formülasyon ile oluşturulmuştur. Maksimizasyon amacı Z_2 (kâr) için üye olma ve üye olmama fonksiyonları Tablo 2.4'te verilen formülasyon ile elde edilmiştir.

Adım 6: Üye olma ve üye olmama fonksiyonlarının alt ve üst limitleri hesaplandıktan sonra bu limitler ile üye olmama ve üye olmama fonksiyonları oluşturulmuştur. Maksimizasyon yapılı Z_2 amacı için üye olma ve olmama fonksiyonları eşitlik 2.24 ve eşitlik 2.25'te, minimizasyon yapılı amaçlar Z_1, Z_3, Z_4, Z_5 için üye olma ve olmama fonksiyonları eşitlik 2.26 ve eşitlik 2.27'de verilen formülasyon ile oluşturulur. Z_1 maliyet minimizasyonu için üye olma ve üye olmama fonksiyonları sırası ile eşitlik 3.24 ve eşitlik 3.25'te verilmiştir.

$$\mu_{\mathbf{1}}(Z_1(x)) = \begin{cases} 1, & Z_1(x) \le 2.329.133 \quad ise \\ \dfrac{2.742.388 - Z_1(x)}{413.255}, & 2.329.133 \le Z_1(x) \le 2.742.388 \quad ise \\ 0, & Z_1(x) \ge 2.742.388 \quad ise \end{cases} \tag{3.24}$$

$$v_1(Z_1(x)) = \begin{cases} 0, & Z_1(x) \le 2.453.109.5 \quad ise \\ \dfrac{Z_1(x) - 2.453.109.5}{330.604}, & 2.453.109.5 \le Z_1(x) \le 2.742.388 \quad ise \\ 1 & Z_1(x) \ge 2.742.388 \quad ise \end{cases} \tag{3.25}$$

Adım 7: Üye olma ve üye olmama fonksiyonları belirlendikten sonra, üye olma fonksiyonu maksimize ve üye olmama fonksiyonu minimize edilmek üzere, sezgisel bulanık optimizasyon modeli eşitlik (3.26)'daki gibi gösterilir. Modelin açık yazılımı Ek 2'de gösterilmiştir.

$$\boldsymbol{Max}\ (\boldsymbol{\alpha - \beta})$$

$$Kısıtlayıcılar$$

$$\mu_1(Z_1(x)) \ge \alpha$$

$$v_1(Z_1(x)) \le \beta$$

$$\mu_2(Z_2(x)) \ge \alpha$$

$$v_2(Z_2(x)) \le \beta$$

$$\mu_3(Z_3(x)) \ge \alpha$$

$$v_3(Z_3(x)) \le \beta$$

$$\mu_4(Z_4(x)) \ge \alpha$$

$$v_4(Z_4(x)) \le \beta$$

$$\mu_5(Z_5(x)) \ge \alpha$$

$$v_5(Z_5(x)) \le \beta$$

$$x_j \ge T_j$$

$$h_{ij}x_j \le N_i$$

$$m_j x_j \le M_r$$

$$g_j x_j \le G$$

$$b_j x_j \le B$$

$$0 \le \sigma + \beta \le 1$$

$$\alpha \ge \beta$$

ve $x_j \ge 0$ ve x_j tamsayı j=1,2,…,121 **(3.26)**

Üretim modeli sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği LINGO 19.0 paket programı yardımı ile çözümü ile elde edilen çözüm kümesi Tablo 3.5'te gösterilmiştir.

Tablo 3.5. *Üretim Modeli Sezgisel Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği Çözüm Kümesi*

Karar Değişkenleri	**Sezgisel Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği Çözüm Kümesi**
α	0,47
γ	-
β	0,32
X_1	379133
X_2	184043
X_3	166367
X_4	20000
X_5	83243
X_6	23250
X_7	19206
X_8	56555
X_9	37185
X_{10}	21773
X_{11}	31474
X_{12}	38387
X_{13}	35500
X_{14}	44991
X_{15}	21728
X_{16}	33041
X_{17}	28220
X_{18}	18501
X_{19}	18581
X_{20}	7070
X_{21}	20400
X_{22}	21727
X_{23}	13293
X_{24}	20400
X_{25}	5821
X_{26}	515
X_{27}	14667
X_{28}	4191
X_{29}	9817
X_{30}	3032
X_{31}	5000
X_{32}	12025
X_{33}	7996
X_{34}	10007
X_{35}	2559
X_{36}	2308
X_{37}	10838
X_{38}	6921
X_{39}	11876
X_{40}	3025
X_{41}	1218
X_{42}	5333

Tablo 3.5. (Devam) *Üretim Modeli Sezgisel Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği Çözüm Kümesi*

X_{43}	4856
X_{44}	3883
X_{45}	1106
X_{46}	4419
X_{47}	4488
X_{48}	2660
X_{49}	2137
X_{50}	2756
X_{51}	875
X_{52}	2100
X_{53}	4451
X_{54}	2962
X_{55}	781
X_{56}	1026
X_{57}	1188
X_{58}	1065
X_{59}	1723
X_{60}	1058
X_{61}	44
X_{62}	2386
X_{63}	908
X_{64}	4382
X_{65}	892
X_{66}	1830
X_{67}	7031
X_{68}	4088
X_{69}	1105
X_{70}	1602
X_{71}	2139
X_{72}	3293
X_{73}	719
X_{74}	1078
X_{75}	1990
X_{76}	1353
X_{77}	2259
X_{78}	477
X_{79}	419
X_{80}	562
X_{81}	1418
X_{82}	696
X_{83}	48
X_{84}	94
X_{85}	721
X_{86}	1479
X_{87}	2939
X_{88}	399
X_{89}	2531
X_{90}	398
X_{91}	1610
X_{92}	4900
X_{93}	544
X_{94}	714
X_{95}	2256

Tablo 3.5. (Devam) *Üretim Modeli Sezgisel Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği Çözüm Kümesi*

X_{96}	184
X_{97}	1653
X_{98}	150
X_{99}	17
X_{100}	8
X_{101}	2960
X_{102}	2834
X_{103}	1952
X_{104}	1081
X_{105}	40
X_{106}	6424
X_{107}	2511
X_{108}	2112
X_{109}	582
X_{110}	302
X_{111}	311
X_{112}	2190
X_{113}	380
X_{114}	701
X_{115}	480
X_{116}	256
X_{117}	25
X_{118}	44
X_{119}	36
X_{120}	2616
X_{121}	64

Üretim modelinin sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ile çözüm kümesini incelediğinde, α üye olma derecesinin 0,47 değeri aldığı görülmektedir. Sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ile belirsiz üretim amaçları, belirli kısıtlayıcılar ile 0,47 üye olma derecesinde eşanlı olarak doyurulmuştur. Nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniğinin Model I-II-III yaklaşımları ile amaçların eşanlı olarak doyurulma doğruluk derecesinin (α=0,54), sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ile elde edile üye olma derecesinin doğruluk derecesinden (α=0,47) daha yüksek olduğu görülmektedir. Ulaşılan bu değerler, nötrosofik kümeler ile oluşturulan çok amaçlı üretim modelinin, sezgisel bulanık kümeler ile oluşturulan çok amaçlı üretim modelinden daha etkin sonuçlar ortaya koyduğunu göstermektedir.

3.4. Nötrosofik Bulanık ve Sezgisel Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniklerinin Çözümlerinin Karşılaştırılması

Çok amaçlı, üretim modelinin çözümü için üzerine önerilen nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniğinin Model I, Model II ve Model III yaklaşımları ve sezgisel

bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ile elde edilen amaç fonksiyonları değerleri Tablo 3.6'da gösterilmektedir.

Tablo 3.6. *Amaç Fonksiyonlarının Çözüm Tekniklerine Göre Karşılaştırmalı Sonuçları*

Çözüm Teknikleri / **Amaç Fonksiyonları**	**Nötrosofik Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği Model I Yaklaşımı**	**Nötrosofik Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği Model II Yaklaşımı**	**Nötrosofik Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği Model III Yaklaşımı**	**Sezgisel Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği**
Z_1	2.517.602	2.517.905	2.517.602	2.546.347
Z_2	1.686.825	1.686.707	1.686.825	1.696.381
Z_3	26.425.010	26.426.520	26.425.010	26.565.750
Z_4	101.786,4	101.789,6	101.786,4	102.079,4
Z_5	5.658,624	5.673,082	5.658.620	5.680,644

Z_1 üretim maliyet minimizasyonu amacının, nötrosofik bulanık optimizasyon tekniğinin farklı çözüm yaklaşımları olan Model I, Model II, Model III ve sezgisel bulanık optimizasyon tekniği ile aldığı değerleri incelediğimizde, nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği yaklaşımları ile oluşturulan üretim planının daha düşük maliyet ile gerçekleştirileceği görülmektedir. Üretim maliyet minimizasyonu (Z_1) nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği Model I yaklaşımına göre 2.517.602 para birimi değerini almaktadır. Model II yaklaşımına göre üretim maliyeti 2.517.905 para birimi olarak elde edilmiştir. Model I yaklaşımına göre daha düşük bir üretim maliyeti elde edilmiştir. Model III yaklaşımında ise Model I yaklaşımı ile aynı sonuca (Z_1 =2.517.602) ulaşılmıştır. Üretim planı, sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ile gerçekleştirildiğinde ise üretim maliyetinin 2.546.347 para birimi olacağı görülmektedir. Çok amaçlı üretim modelinin sezgisel kümeler ile gerçekleştirilmesi ile daha yüksek maliyete katlanılması gerekmektedir. Z_1 üretim maliyet minimizasyon amacı için en iyi sonucu, nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği Model I ve Model III yaklaşımı vermektedir.

Kâr maksimizasyonu amacı (Z_2), nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği Model I ve Model III yaklaşımları ile 1.686.825 para birimi olarak elde edilmiştir. Model II yaklaşımına göre ise kâr amacı 1.686.707 para birimi olarak sonuçlanmıştır. Belirsizliğin maksimize edildiği nötrosofik bulanık Model I ve Model III yaklaşımlarının

üretim planını, Model II yaklaşımına göre daha yüksek kar ile gerçekleştirdiği görülmektedir. Üretim planı, sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ile gerçekleştirildiğinde ise kâr amacının 1.696.381 para birimi olacağı anlaşılmaktadır. Çok amaçlı üretim modelinin sezgisel kümeler ile gerçekleştirilmesi ile elde edilecek kârın daha yüksek olacağı görülmektedir. Kâr maksimizasyonu Z_2 amacı için en iyi sonucu sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği vermekle beraber, nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği Model I ve Model III yaklaşımları ile elde edilen değere çok yakındır.

Üretim modelinin bir diğer amacı çevrim süresinin minimizasyonu (Z_3), nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği Model I ve Model III yaklaşımına göre 26.415.010 değerini almaktadır. Belirsizliğin minimize edildiği Model II yaklaşımına göre ise 26.426.520 değerini almaktadır. Çevrim süreci amacı içinde belirsizliğin maksimizasyonuna dayalı nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği daha etkin sonuç vermektedir. Üretim planı, sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ile gerçekleştirildiğinde ise çevrim süresinin 26.565.750 olacağı görülmektedir. Çok amaçlı üretim modelinin sezgisel kümeler ile gerçekleştirilmesi ile üretimin daha yüksek süre ile çevrim gerçekleştirileceği görülmektedir. Z_3 çevrim süresinin minimizasyonu amacı için en iyi sonucu Model I ve Model III yaklaşımı vermektedir.

İşletme yönetiminin azaltmak istediği bir diğer üretim amacı defolu ürün oranıdır. Belirsizlik ve yanlışlık üyelik derecelerinin minimize edilmesine dayalı nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği Model II yaklaşımına göre Z_4 defolu ürün oranı amacı 101.789,6 değerini elde etmektedir. Model I ve Model III yaklaşımlarına göre ise 101.786,4 sonucuna ulaşılmıştır. Amaç fonksiyonlarının farklı modellere göre alacağı değerler bir birine çok yakın olarak elde edilmiş olsa da, belirsizliğin maksimum düzeyde alındığı Model I ve Model III yaklaşımlarının, Model II yaklaşımına göre daha etkin olduğu görülmektedir. Üretim planı, sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ile gerçekleştirildiğinde ise defolu ürün oranı amacının 102.079,4 değeri alacağı görülmektedir. Defolu ürün oranı amacının nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği farklı yaklaşımları ile sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniğine göre daha etkin sonuçlandığı görülmektedir. Z_4 defolu ürün oranı amacı için en iyi sonucu Model I ve Model III yaklaşımı vermektedir.

Üretim modelinin malzeme fire miktarının minimize edilmesine yönelik olan Z_5 amacı, nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği Model I ve Model III

yaklaşımlarına göre çok yakın değerler olmak üzere sırasıyla 5.658,624 ve 5.658,620 olarak elde edilmiştir. Model II yaklaşımına göre Z_5 malzeme miktarının minimizasyonu amacı 5.673,082 değerini almıştır. Sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ile yapılan analiz ile Z_5 amacı 5.680,644 olarak hesaplanmıştır. Üretimin sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ile gerçekleştirilmesi durumunda, malzeme fire miktarı minimizasyon amacının nötrosofik çok amaçlı optimizasyon tekniğine göre daha fazla olacağı görülmektedir. Z_5 malzeme fire miktarı amacı için en iyi sonucu Model I yaklaşımı vermektedir.

Yapılan analizlerde nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği Model I yaklaşımında doğruluk ve belirsizlik üyelik fonksiyonları maksimize, yanlışlık üyelik fonksiyonu ise minimize edilmektedir. Model II yaklaşımında ise Model I yaklaşımından farklı olarak belirsizlik amaç fonksiyonu minimize edilmektedir. Analiz sonuçlarına göre belirsizlik üyelik fonksiyonunun maksimize edildiği nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği Model I ve Model III yaklaşımlarının, belirsizlik üyelik fonksiyonunun minimize Model II yaklaşımına göre daha etkin olduğunu göstermektedir.

Birden çok belirsiz amacın olduğu üretim modelinin, nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon ve sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon teknikleri ile çözümleri karşılaştırıldığında, nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ile elde edilen çözümlerin dört amaç için daha etkin olduğu görülmektedir. Minimize edilmek istenen; üretim maliyeti, çevrim süresi, defolu ürün oranı ve malzeme fire miktarı amaçlarında nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniğinin, sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniğine göre daha düşük değerler ile gerçekleştiği tespit edilmiştir. Kâr maksimizasyonunun söz konusu olduğu Z_2 amaç fonksiyonunda ise sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniğinin azda olsa daha yüksek kâr değeri ile gerçekleştiği görülmektedir.

SONUÇ

Yaşamın her anında karar vermeyi gerektiren durumlar ya da sorunlarla karşılaşmak mümkündür. Bu durum bireyler kadar işletmeler, kurumlar, devletler veya sivil toplum kuruluşları için de geçerlidir. Günümüz işletmeleri, küçülen dünya ve büyüyen tüketici beklentilerinin arasında sıkışıp kalmıştır. Artan rekabet ortamı, işletmeleri hızlı karar vermeye zorlarken, kararların da doğru ve zamanında alınmasını gerektirmektedir.

İşletmeler çoğu zaman kararlarını birden çok amaca ulaşabilecek biçimde almak zorunda kalmaktadır. İşletmeler bir taraftan talepleri zamanında yetiştirmeye çalışırken, diğer taraftan da kıt kaynaklarını en iyi düzeyde kullanmak, maliyetleri en alt düzeyde tutmak ve ürün kalitesini bozmadan üretim yapmak zorunluluğu ile karşı karşıyadır. Bunun gibi birden çok amacın, çoğunlukla eş zamanlı olarak gerçekleştirilmek zorunda olduğu durumlarda, çok amaçlı optimizasyon tekniklerinden yararlanılabilir. Çok amaçlı optimizasyon teknikleri, birbiri ile çelişen ve birden çok amacın olduğu durumlarda karar problemlerinin çözümünde etkin olarak kullanılmaktadır. Ancak günümüz sürekli gelişen iş dünyasında, işletmeler sadece birden çok amacın altında değil, aynı zamanda belirsizlik altında da karar vermek durumundadır.

Birden çok amacın olduğu ve buna ek olarak, bilginin eksik ve tutarsız olduğu durumlarda bulanık yapılar ortaya çıkmaktadır. Artan belirsizliği daha bilinir hale getirmek amacı ile bulanık yapılar altında çok amaçlı optimizasyon teknikleri geliştirilmiştir. Tez çalışmamızın konusunu oluşturan nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği bu tekniklerden biri olarak çeşitli optimizasyon uygulamalarına konu olmakta ve olmaya da devam etmektedir.

Uygulamaya konu olan işletme, beyaz eşya yan sanayi alanında faaliyette bulunmaktadır. İşletme temel hammadde olarak kullandığı plastik parçacıkları tedarikçilerinden satın almaktadır. Üretilen plastik ürünler beyaz eşya üretici firmalarına ara malı olarak satılmaktadır. İşletmenin Mayıs ayı için 121 çeşit ürün üretimini gerçekleştirmesi gerekmektedir. Üretim planını oluşturmadan önce Eskişehir Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyette bulunan işletmede üretim süreci yerinde incelenmiştir.

Üretim modelinin karar değişkenleri, işletmenin ilgili dönem için üreteceği beyaz eşya plastik ürünlerinden oluşmaktadır. Üretim modeli, doğrusal olarak, üretim maliyetinin minimizasyonu, kârın maksimizasyonu, çevrim süresi minimizasyonu, defolu ürün oranı minimizasyonu ve malzeme fire miktarı minimizasyonu olmak üzere beş amaç

ve talep, hammadde, makine, gruplama atölyesi işçilik süresi, baskı atölyesi işçilik süresi olmak üzere 237 kısıtlayıcı altında kurulmuştur. Karar değişkenleri adet cinsinden ölçülmektedir. Bu nedenle üretim modeli bütünüyle tam sayılı olarak kurulmuştur. Üretim modeli nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniğinin Model I, Model II, Model III olmak üzere üç farklı yaklaşımı ve kıyaslama için sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ile çözülmüştür. Üretim modelinin çözümünde LINGO 19.0 yazılımı kullanılmıştır.

Çalışmada nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği Model I yaklaşımı uygulanma tekniklerinden biridir. Nötrosofik bulanık doğruluk ve nötrosofik bulanık belirsizlik üyelik fonksiyonlarının maksimize ve nötrosofik bulanık yanlışlık üyelik fonksiyonunun minimize edildiği uygulama, 5 amaç, 121 karar değişkeni ve nötrosofik kısıtların da eklenmesi ile birlikte 266 kısıt ile gerçekleştirilmiştir. Üretim modeli, Model II yaklaşımı ile aynı amaç, değişken ve kısıtlar altında gerçekleştirilmiştir. Model II yaklaşımı, Model I yaklaşımından farklı olarak belirsizliği minimize eden bir çözüm yaklaşımıdır. Uygulamanın gerçekleştirildiği bir diğer yaklaşımı olan Model III'te ise nötrosofik bulanık üyelik fonksiyonlarının tümü (doğruluk-belirsizlik-yanlışlık) maksimize edilmiştir. Model III yaklaşımı da diğer modellerde olduğu gibi aynı amaç ve kısıtlar altında gerçekleştirilmiştir.

Nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniğinin farklı yaklaşımları olan Model I-II ve III birbirlerinden üyelik derecelerinin maksimize veya minimize edilmesine yönelik olarak farklılaşmaktadır. Analiz sonuçlarına göre belirsizlik üyelik derecesinin maksimum düzeyde modellendiği Model I ve Model III yaklaşımlarının, belirsizlik üyelik derecesinin minimum düzeyde modellendiği Model II yaklaşımına göre daha etkin sonuçlar ortaya koyduğu görülmüştür. Üretim maliyet minimizasyon amacı Z_1, kâr maksimizasyon amacı Z_2, çevrim süresi minimizasyon amacı Z_3, defolu ürün oranı minimizasyon amacı Z_4 nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği Model I ve Model III yaklaşımları ile çözümlerinde eşit değerler ile sonuçlanmıştır. Malzeme fire miktarı minimizasyon amacı Z_5 için Model I ve Model III yaklaşımları ile çözümünde çok yakın değerler elde edilmiştir. Kâr maksimizasyonu Z_2 amacı ise belirsizliğin minimize edildiği Model II yaklaşımına göre Model I ve Model III yaklaşımlarından daha düşük bir değer almaktadır.

Nötrosofik bulanık kümeler sezgisel bulanık kümelerin genellemesidir. Üretim modeli nötrosofik bulanık kümelerin daha etkin olup olmadığını incelemek üzere sezgisel

bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ile de analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, üretimin, üretim maliyeti, çevrim süresi, defolu ürün oranı, malzeme fire miktarı minimizasyon amaçları nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniğinin Model I-II-III yaklaşımları ile sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniğine göre daha etkin sonuçlar vermiştir. Kâr maksimizasyon amacı ise sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ile daha iyi bir değer ile sonuçlanmıştır. Bu sonuçlar nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniğini etkin bir teknik olarak öne çıkarmaktadır.

Bulanık yapıların genellemesi nötrosofik ve sezgisel bulanık kümeler ile yapılan farklı analizler, belirsizliğin bağımsız olarak modellendiği nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniğinin, sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniğine göre etkin bir teknik olduğunu göstermektedir. Çalışmada elde edilen analiz sonuçlarının literatürü desteklediği ortaya konulmuştur.

Literatürde, nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ile optimizasyonu gerçekleştirilen sınırlı sayıdaki çalışmaların genellikle iki amaç fonksiyonu ile az sayıda karar değişkeni ve kısıt altında gerçekleştirilmiştir. Önerilen bu çalışma ile üretim planlamasında amaç ve kısıt sayısının büyük ölçekte olduğu modellerde nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniğinin uygulanabileceği gösterilmiştir. Çalışma ile karar verici konumunda olan işletme yöneticilerine, belirsizlik ortamında çok amaçlı bir üretim planlarını gerçekleştirmelerine yardımcı olacak bir teknik sunulmuştur. Analiz sonuçları incelerek, karar vericilerin beklentileri doğrultusunda benzer veya farklı amaçların optimizasyonuna yönelik çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKÇA

Abdel-Baset, M., Hezam, İ. M., & Smarandache, F. (2016). Neutrosophic Goal Programming. *Neutrosophic Sets and Systems, 11*, 112-118.

Aboelhamd, E., Shamma, H., Saleh, M., & El-Khodary, I. (2021). Neutrosophic Sets and Systems. *Neutrosophic Logic Theory and Applications(41)*, 30-51.

Acar, N. (1989). *Üretim Planlaması Yöntem ve Uygulamaları.* Ankara: Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları .

Ahmad, F., & Adhami, A. Y. (2019). Neutrosophic Programming Approach to Multiobjective nonlinear Transportation Problem with Fuzzy Parameters. *International Journal of Management Science and Engineering Management, 14*(3), 218-229.

Akan, E. (2017). Yayınlanmamış Doktora Tezi. *Tersanelerde Gemi Üretim Yönetimi Modeli: Marmara Bölgesinde Bir Uygulama*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Aktaş, H., & Çağman, N. (2005). Bulanık ve Yaklaşımlı Kümeler. *Çankaya Üniversitesi Fen- Edebiyat Fakültesi-Journal of arts and Sciences*(3), 13-25.

Angelov, P. P. (1997). Optimization in an Intuitionistic Fuzzy Environment. *Fuzzy Sets and Sytems, 86*, 299-306.

Ansari, A., Biswas , R., & Aggarwal, S. (2011). Proposal for Applicability of Neutrosophic Set Theory in Medical Al. *International Journal of Computer Applications, 27*(5), 5-11.

Arslan, O. (2019). Fuzzy Uzaylarında Mekanik Yapılar ve Enerji Denklemleri. *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*.

Ashbacher, C. (2002). *Introduction to Neutrosophic Logic.* Retoboth: American Research Press .

Atanassov, K. T. (1986). Intuitionistic Fuzzy Sets. *Fuzzy Sets And Systems.*, 87-96.

Atanassov, K. T (1999). *Intuitionistic fuzzy sets: theory and applications.* Berlin: Springer.

Atanassov, K. T. (2003). Intiutionistic Fuzzy Sets Past, Present and Future. *In Proceedings of the 3rd conference of European Society for Fuzzy Logic and Technology.*, (s. 12-19). Germany.

Atanassov, K. T. (2012). *On Intuitionistic Fuzzy Sets Theory.* Verlag Berlin Heidelberg: Springer.

Atanassov, K. T. (2016). Review and New Results on Intuitionistic Fuzzy Sets. *International Journal Bio , 20*(1), 7-16.

Atanassov, K. T., & Gargov, G. (1989). Intervalued Fuzzy Sets. *Fuzzy Sets and Systems, 31*(3), 343-349.

Atanassova, S., & Atanassov, K. T. (1984). An Example for Genuine Intuitionistic Fuzzy Set. *Proc. of the Third Int. Symp. "Automation and Sci. Instrumentation"*, (s. 58-60). Varna.

Atlas, M., & Bayazit Bedirhanoğlu, Ş. (2018). Bulanık Küme Yaklaşımlarının Sınıflandırılması. *19. Uluslararası EYİ Sempozyumu*, (s. 600-614). Antalya.

Aytaç, E. (2011). Kalite iyileştirme sürecinde bulanık mantık yaklaşımı ile hata türü ve etkileri analizi ve uygulama örneği. *Yayınlanmamış Doktora Tezi.Aydın:Adnan Menderes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.*

Bai, Y., Zhuang , H., & Wang , D. (2006). *Advanced Fuzzy Logic Technologies in Industrial Applications.* London: Springer.

Banerjee, S., & Roy, T. K. (2010). Solution of Single and Multiobjective Stochastic Inventory Models with Fuzzy Cost Components by Intuitionistic Fuzzy Optimization Technique. *Hindawi Publishing Corporation Advances in Operations Research* , 1-19.

Baral, G. (2011, Haziran). Bulanık Mantık Kuramını Kullanarak Belirsizlik Şartlarında Maliyet-Hacim Kar Analizleri. *Doktora Tezi*.

Baset, M. A., Atef, A., & Smarandache, F. (2018). A Hybrid Neutrosophic Multiple Criteria Group Decision Making Approach For Project Selection. *Cognitive Sytems Research*. doi:https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2018.10.023.

Baset, M. A., Hezam, M., & Smarandache, F. (2016). Neutrosophic Goal Programming. *Neutrosophic Sets & Systems, 11*.

Baset, M., Mohamed, M., & Hessian , A. N. (2017). Neutrosophic Integer Programming Problems. *Neutrosophic Sets & Systems, 15*.

Başkaya, Z. (2011). *Bulanık Doğrusal Programlama.* Bursa: Ekin.

Baykal, N., & Beyan , T. (2004). *Bulanık Mantık İlke ve Temelleri.* Ankara: Bıçaklar Kitabevi.

Bellman, R. E., & Zadeh, L. A. (1970). Decision Making in a Fuzzy Environment. *Management Science, 17*(4), 141-165.

Bharati, S. K., & Singh, S. R. (2014). Intuitionistic Fuzzy Optimization Technique in Agricultural Production Planning: A Small Farm Holder Perspective. *International Journal of Computer Applications, 89*(6), 17-23.

Bharati, S. K., Nishad, A. K., & Singh, S. R. (2014). Solution of multi-objective Linear Programming Problems in Intuitionistic Fuzzy Environment. *Proceedings of the Second International Conference on Soft Computing for Problem Solving*, (s. 161-171). doi:10.1007/978-81-322-1602-5_1

Bhattacharyya, S., Roy, B. K., & Majumdar, P. (2018). On Distance and Similarity Measures Between Two Interval Neutrosophic Sets. *Newtheory*(20), 27-47.

Boran, F. E. (2009, Haziran). Personel Seçimi Probleminde Sezgisel Bulanık Küme Uygulaması. *Yüksek Lisans Tezi.* Ankara:: Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitürü.

Buffa, E. (1965). *Modern Production Management.* John Wiley and Sons.

Caballero, Erick Gonzalez; Smarandache, Florentin ; Vazquez , Maikel Leyva;. (2019). O Neutrosophic Offuninorms. *New types of Neutrosophic Set/Logic/Probability, Neutrosophic Over-/Under-/Neutrosophic Refined Set, and their Extensionto Plithogenic Set/Logic/Probability, with Applications.* içinde

Cadenas, J. M., & Verdegay, J. L. (1997). Using Fuzzy Numbers in Linear Programming. *IEEE Transactions on Sytems, 27*(6), 1016-1022.

Campos, L., & Verdegay, J. L. (1989). Linear Programming Problems and Ranking of Fuzzy Numbers. *Fuzzy Sets and Systems, 32*, 1-11.

Carroll, J. B. (2008). *Lean performance ERP Project Management: Implementing the Virtual Lean Enterprise. 2nd Edition.* New York: Auerbach Publications.

Cebeci, U., & Beskese, A. (2002). An Approach to the Evaluation of Quality Performance of the Companies in Turkey. *Managerial Auditing Journal, 17*(1), 90-100.

Chaira, T. (2019). *Fuzzy Set And Its Extension.* West BAngal: Wiley.

Çetinkaya, O. (2002). Çok Değişkenli Mantık. *İstanbul Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi*(27), 27-38.

Çiçekdağı, C. (2015). Aristoteles'in Peri Hermeneias (Yorum Üzerine) Eserinin 9. Bölümü Üzerine Bir Yorum Denemesi: Geleceğe Ait Olumsal Önermeler. *Dört Öge, 23*(8), 23-61.

Çiftçi, H. Ö. (2020). Sipariş Tipi Üretim Sistemlerinde Üretim Planlama ve Bir İşletmede Örnek Uygulama. *Maltepe Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü. Mezuniyet Projesi*.

Çıngı, B. (2018, Eylül). Yüksek Lisans Tezi. *Aralık Değerli Bipolar Nötrosofik Kümelerde Çok Kriterli Karar Verme Problemleri İçin Bir Outranking Yaklaşımı*. Gaziantep: Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Dağdeviren, M. (2007). Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Personel Seçimi ve Bir Uygulama. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22*(4), 791-799.

Dalkılıç, O. (2021). Neutrosophic Parametreli Esnek Kümelerin Genelleştirilmesi ve Uygulamaları. *Politeknik Dergisi, 1*(1), 1-12.

Dantzig, G., & Thapa, M. (1997). *Linear Programming*. New York: Springer.

Das, P., & Roy, T. K. (2015). Multi-objective non-linear programming problem based on Neutrosophic Optimization Technique and its application in Riser Neutrosophic Optimization Technique and its application in Riser Design Problem Design Problem. *Neutrosophic Sets and Sytems, 9*, 88-95.

Das, P., & Roy, T. K. (2017). Multi-objective Geometric Programming Problem Based on Neutrosophic Geometric Programming Technique. F. Smarandache , M. A. Baset, & Y. Zhou içinde, *Neutrosophic Operational Research I* (s. 130). Belgium: Pons.

Davarzani, H., & Khurheh, M. (2013). A Novel Application of Intuitionistic Fuzzy sets Theory in Medical Science: Bacillus Colonies Recognition. *Artifical Intekkigence Research, 2*(2), 1-17.

Deb, K. (2014). Multi-objective Optimization. E. K. Burke, & G. Kendall içinde, *Search Methodologies* (s. 403-450). Mew York: Springer.

Deli, İ., Ali, M., & Smarandache, F. (2015). Bipolar Neutrosophic Sets and Their Application Based on Multi-Criteria Decision Making. *Proceedings of the 2015 International Conference onAdvanced Mechatronic Systems*, (s. 249-254). Beijing- China.

Demir, E. (2021). Üretim Planlama Ve Kontrol Süreçlerinde Veri Madenciliğinin Yeri ve Çok Kriterli Karar Alma Yaklaşımlarıyla Çözüm Önerileri: Bir İşletme Uygulaması. *Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora tezi*.

Demirdöğen , O., & Güzel , D. (2009). Üretim Planlama ve İş Yükleme Metotları. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 23*(4), 43-66.

Dey, S. (2017). Intuitionistc Fuzzy Multi-Objective Structural Optimization Using Non-Linear Membership Functions . *International Journal of computer and Organization Trends, 41*(1), 14-20.

Dey, S., & Roy, T. (2015). INtuitionistic Fuzzy Goal Programming and Its Application to Structural Design. *International Journal of APplied Mathematical Sciences, 8*(1), 55-69.

Eğrisöğüt Tiryaki, A., & Kazan, R. (2007). Bulaşık Makinesinin Bulanık Mantık ile Modellenmesi. *Mühendis ve Makina, 48*(565), 3-8.

Elmas, Ç. (2003). *Bulanık Mantık Denetleyiciler.* Ankara: Seçkin Yayıncılık.

Ersöz, O. Ö. (2016). Üretim Planlama ve Kontrolün Atölye ile Eşzamanlı Gerçekleştirilmesi. *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi, 5*(5), 229-245.

Garg, H., Rani , M., & Sharma, S. P. (2013). Reliability Analysis of the Engineering Systems Using Intuitionistic Fuzzy Set Theory. *Journal Of Quality and Reliability Engineering*, 1-10. doi:http://dx.doi.org/10.1155/2013/943972

Gelders , L. F., & Van, L. N. (1981). Production Planning: a review. *Europan Journal of Operational Research, 7*(2), 101-110.

Ghosh, P., & Roy, T. (2013). Intuitionistic Fuzzy Goal Geometric Programming Problem. *Internationsl Journal of Engineering Research and Technology, 2*(11), 809-814.

Ghosh, S., Roy, S. K., Ebrahimnejad, A., & Verdegay, J. L. (2020). Multi-objective Fully Intuitionistic Fuzzy Fixed-Charge Solid Transportation Problem. *Complex & Intelligent Systems, 7*(2), 1009-1023.

Gregory, G. (1998). *Decision Analysis.* New York : Plenum Press.

Gunantara, N. (2018). A review of multi-objective optimization: Methods and its Applications. *Cogent Engineering, 5*(1), 1-16.

Hanss, M. (2005). *Applied Fuzzy Aritmetic an Introduction With Engineering Applications.* Netherlands: Springer.

Hellmann, M. (2001). Fuzzy Logic Introduction. http://epsilon.nought.de/tutorials/fuzzy/fuzzy.pdf adresinden alındı

Hezam, I. M., Abdel- Baset, M., & Smarandache, F. (2015). Taylor Series Approximation to Solve Neutrosophic Multiobjective Programming Problem. *Neutrosophic Sets and Systems , 10*, 39-45.

Hussian, A. N., Mohamed, M., Baset, M. A., Zhou, Y., & Smarandache, F. (2018). Neutrosophic Linear Fractional Programming Problems. F. Smarandache , M. A. Baset, & Y. Zhou içinde, *Neutrosophic Operational Research I* (s. 29-47).

Hussian, A.-N., Mohamed, M., Abdel-Baset, M., & Smarandache, F. (2017). Neutrosophic Linear Programming Problems. *Neutrosophic Operational Research, 1*, 15-27.

İmren, E. (2011, Haziran). Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. *Mobilya Endüstrisinde Analitik Hiyerarş, Prosesi (AHP) Yöntemi ile Kuruluş Yeri Seçimi*.

Islam, S., & Deb, S. (2019). *Neutrosophic Goal Programming Approach A Green Supplier Selection Model with Quantity Discount* (Cilt 30). New Mexico: university of New Mexico.

Islam, S., & Kundu, T. (2017). Application of Neutrosophic Optimization Technique on Multi-objective Reliability Optimization Model. F. Smarandache , M. Abdel Basset, & V. Chang içinde, *Neutrosophic Operational Research II* (s. 13-27). Brussels: Pons.

Islam, S., & Kundu, T. (2018). Neutrosophic Goal Geometric Programming Problem Based on Geometris Mean Method and its Application. *Neutrosophic Sets and Sytems, 19*, 80-90.

Islam, S., & Ray, P. (2018). Multi-Objective Portfolio Selection Model with Diversification by Neutrosophic Optimization. *Neutrosophic Sets and Systems*, 74-84.

Jang, R. J., & Gulley , N. (1997). *Matlab Fuzzy Logic Toolbox* . USA: The MathWorks .

Kağnıcıoğlu, C. H. (tarih yok). Üretim Yönetimi. C. H. Kağnıcıoğlu(Editör). içinde Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Yayınları .

Karamaşa, Ç. (2020). Gıda İşletmelerinde Yeşil Lojistik Uygulamalarının Nötrosofik DEMATEL Yöntemi İle Analiz Edilmesi: Giresun İli Örneği. *Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi, 2*(2), 1-12.

Karataş, S., & Kuru , C. (2016). Neutrosophic Topology. *Neutrosophic Sets and Sytems* (13), 90-95.

Keskenler, M. F., & Keskenler, E. F. (2017). Bulanık Mantığın Tarihi Gelişimi. *Takvim-i Vekayi, 5*(1), 1-10.

Khan, M. F., Haq, A., Ahmed, A., & Ali, I. (2021). Multiobjective Multi-Product Production Planning Problem Using Intuitionistic and Neutrosophic Fuzzy Programming. *IEEE Access*, 37466-37485. doi:10.1109/ACCESS.2021.3063725

Kharal, A. (2014). A Neutrosophic Multi-Criteria Decision Making Method. *New Mathematics and Natural Computation, 10*(2), 143-1462.

Klir, G., & Yuan , B. (1995). *Fuzzy Sets And Fuzzy LOgic.* New Jersey: Prentice Hall.

Kobu, B. (2010). Üretim Yönetimi (Genişletilmiş, Güncellenmiş 18. Baskı). İstanbul: Beta Basım Yayın Dağıtım .

Koçel, T. (2003). *İşletme Yöneticiliği.* İstanbul : Beta Basım Yayım.

Kosko, B., & Isaka, S. (1993). Fuzzy Logic. *Scientific American, 269*(1), 76-81.

Kumar, M., & Yadav, S. P. (2012). A Novel Approach For Analyzing Fuzzy System Reliability Using Different Types Of Intuitionistic Fuzzy Failure Rates Of Components. *ISA Transactions*, 288-297.

Kumbasar , H. (2019). Nötrosofik Mantık. M. A. Üniversitesi (Dü.), *IX. Mantık Çalıştayı Kitabı* içinde (s. 287). Mardin : Mantık Derneği.

Lee, K. (2005). *First Course on Fuzzy Theory and Applications.* Berlin: Springer.

Lee, K. M. (2004). Comparison of Interval-valued fuzzy sets, Intuitionistic fuzzy sets, and bipolar-valued fuzzy sets. *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, 125-129.

Li, D.-F., & Yang, J.-B. (2004). Fuzzy Linear Programming Technique for Multiattribute Group Decision Making in Fuzzy Environments. *Information Sciences*, 263-275.

Liu, C.-f., & Luo, Y.-S. (2019). New Aggregation Operators of Single-Valued Neutrosophic Hesitant Fuzzy Set and Their Application in Multi- Attribute Decision Making. *Pattern Anal Applic, 22*, 417-427. doi:10.1007/s10044-017-0635-6

Massad, E., Ortega, N. S., & Carcalho de Barros, L. (2008). *Fuzzy Logic in Action: Applications in Epidemiology and Beyond* (Cilt 232). Verlag Berlin HEidelberg: Springer.

Matheson, P., & Stecki, J. (2003). Modelling and Simulation of a Fuzzy Logic Controller for a Hydraulic-Hybrid Powertrain for Use in Heavy Commercial Vehicles. *SAE Technical Paper Series, 1*, 1-12.

McCosh, J. (1991). *The Laws of Discursive Thought Being A textbook of Formal Logic.* Bristol: Thoemmes Antiquarian Books.

Mondal, B., Kar, C., Garai, A., & Roy, T. K. (2018). Optimization of EOQ Model with Limited Storage Capacity by Neutrosophic Geometris Programming. *Neutrosophic Sets and Sytems* (Cilt 22, s. 5-29). içinde University of New Mexico.

Naim, S., & Hagras, H. (2014). A Type 2- Hesitation Fuzzy Logic Based Multi- Criteria Group Decision Making Sytem for İntelligenr Shared Environments. *Soft Computing, 18*, 1305-1319.

Örenli, C. (2009). Talebin Belirsiz Olduğu Ortamda Üretim Planlama Çalışmalarında Bulanık Mantık Yaklaşımı. *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüsek Lisans Tezi*.

Özdemir, S. (2018). Nötrosofik Yaklaşım ile Görüntü Bölütleme. *Karadeniz Teknik Üniversitezi, Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.

Özkan, M. M. (2003). *Bulanık Hedef Programlama.* Bursa: Ekin Kitabevi.

Pahl, J. (2012). Production Planning With Load Dependent Lead Times And sustainability Aspects . *Institute of Information Systems Department of Business Sciences University of Hamburg*.

Paksoy , T., Yapıcı Pehlivan, N., & Özceylan, E. (2013). *Bulanık Küme Teorisi.* Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.

Parvathi , R., & Malathi, C. (2012). Intuitionistic Fuzzy linear optimization. *Notes on Intuitionistic Fuzzy Sets, 18*(1), 48-56.

Pawar, S., Patel, P. L., & Mirajkar, A. (2020). Intuitionistic Fuzzy Approach in Multi-Objective Optimization for KRBMC Irrigation System, India. *ISH Journal of Hyraulic Engineering*, 1-9. https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09715010.2020.1781700 adresinden alındı

Pramanik, S. (2016). Neutrosophic Multi-objective Linear Programming. *Global Journal of Engineering Science and Research Management, 3*(8), 36-46.

Rey, S., & Roy, T. K. (2015). Multi-objective Structural Optimization Using Fuzzy and Intuitionistic Fuzzy Optimization Technique. *I. J. Intelligent Sytems and pplications, 5*, 57-65.

Rommelfanger, H., Hanuscheck , R., & Wolf , J. (1989). Linear Programming with Fuzzy Objectives. *Fuzzy Sets and Sytems, 19*, 31-48.

Ron, S. (1987). The Efficiency of the Sımplex Method: A Survey. *Management Science, 33*(3), 301-335.

Ross, T. J. (2002). *Fuzzy Logic and Probability Applications:Brindging the Gap.* Philadelphia: ASA-SIAM.

Roy, R., & Das, P. (2015). A Multi-Objective Production Planning Problem Based on Neutrosophic Linear Programming Approach. *International Journal Fuzzy Mathematical Archive, 8*(2), 81-91.

Sağır, M. (2018). Yöneylem Araştırmasına Giriş. *Yöneylem Araştırması I* (s. 2-13). içinde Eskişehir: Anadolu Üniversitesi.

Sağlam, S. (2008). ERP Sistemleri ve Üretim Planlama Kontrol Faaliyetleri İlişkisi. *Yıldız Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi* .

Said, B., Bakali, A., Tales, M., Smarandache, F., Uluçay, V., Şahin , M., . . . Pramanik, S. (2018). *Neutrosophic Sets: An Overview.*

Sarkar, M., Dey, S., & Roy, T. K. (2017). Multi-Objective Structural Design Optimization Using Neutrosophic Goal Programming Technique. *Neutrosophic Sets and Sytems, 15*.

Sarkar, M., Roy, T. K., & Smarandache, F. (2018). *Neutrosophic Optimization and its Application on Structural Designs.* Brussels: University of New Mexico.

Singh, S. K., & Yadav, S. P. (2018). Intuitionistic Fuzzy Multi-objective Linear Programming Problem with Various Membership Functions. *Annals of Operations Research, 269*, 693-707.

Smarandache, F. (2014). *Neutrosophic Theory and Its Apllications.* Brussels: EuropaNova.

Smarandache, F., & Osman, S. (2007). *Neutrosophy in Arabic Philosophy.* America Birleşik Devletleri: Renaissance High Press.

Smarandache, F. (1999). *A Unifyıng Field In Logics: Neutrosophic Logic.Neutrosophy, Neutrosophic Set, Neutrosophic Probability.* Rotoboth: American Research Press.

Smarandache, F. (2003). Definition oFf Neutrosophic Logic – A Generalization Of The Intuitionistic Fuzzy Logic. G. University of Applied Sciences at Zittau (Dü.), *Proceedings of the Third Conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology EUSFLAT 2003* içinde (s. 141-146). Goerlitz : University of Applied Sciences at Zittau, Germany.

Smarandache, F. (2004). A generalization of the intuitionistic fuzzy set. *International Journal of Pure and applied Mathematics*(XIII), 103-110.

Smarandache, F. (2004). Neutrosophic set-a generalization of the intuitionistic fuzzy set. *International Journal of Pyre and Applied Mathematics*, 1-15.

Smarandache, F. (2005). *A Unifying Field ın Logics: Neutrosophic Loggic. Neutrosophiy, Neutrosophic Set, Neutrosophic Probability and Statistics* (4. Baskı b.). Rehoboth, Amerika: American Research Press.

Smarandache, F. (2010). Neutrosophic Logic as a Theory of Everythşng in Logics. F. Smarandache içinde, *Multispace&Multistructure Neutrosophic Transdisciplinarity* (s. 525-527). Hanko, Finlandiya: North-European Scientific Publishers.

Smarandache, F. (2013). *Introduction to NeutrosophicMeasure, Neutrosophic Integral, and Neutrosophic Probability.* Sitech.

Smarandache, F. (2014). *Neutrosophic Theory and its Applications.* Brussels: Europanova.

Smarandache, F., Sunderraman, R., & Zhang, Y. (2012). Single Valued Neutrosophic Sets. *reviewof the Air Force Academy*, 10-14.

Stewart, T. (1992). A Critical Survey on the Status of Multiple Criteria Decision Making Theory and Practice. *International Journal of Management Science, 20*(5/6), 569-586. doi:https://doi.org/10.1016/0305-0483(92)90003-P

Şen, Z. (2003). *Modern Mantık.* İstanbul: Bilge Kültür Sanart.

Şen, Z. (2009). *Bulanık Mantık İlkeleri ve Modelleme .* İstanbul : İstanbul Su Vakfı Yayınları.

Taş, A., & Karataş, P. Ç. (2021). Yazılım Sektöründe Nitelikli Personel Seçiminin Nötrosofik AHP ve TOPSİS Yöntemleri İle İncelenmesi. *İşletme Araştırmaları Dergisi, 13*(1), 969-979.

Tekin , N., & Karanfil , S. (1995). Fuzzy Mantık. *Öneri Degisi*, 3-15.

Thomas, J. L., & McClain, J. O. (1993). An Overview of Production Planning. *Hanbooks in Operations Research and Management Science* (s. 333-370). içinde

Timor, M. (2010). *Yöneylem Araştırması.* İstanbul: Türkmen Kitabevi.

Timor, M. (2011). *Analitik Hiyerarşi Prosesi.* İstanbul: Türkmen Kitabevi.

Tosun, M. G. (2015). Bulanık V Stokastik Programlamaya Dayalı Risk Analizi. *Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.*

Triantaphyllou, E., Shu, B., Sanchez , S. N., & Ray, T. (1998). Multi-Criteria Decision Making: An Operations Research Approach. *Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*, 175-186.

Tsegaye, H., & Thillaigovindan, N. (2021). An Efficient Method for Solving Intuitionistic Fuzzy Multi-objective Optimization Problems. *Punjab University Journal of Mathematics*, 631-664. doi:https://doi.org/10.52280/pujm.2021.530903

Tuskan , A. C. (2011). Bozulabilir Ürünler İçin Hedef Programlama ile Üretim Planlama . *İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi.* .

Umarusman, N., & Türkmen, A. (2014). Çok Amaçlı De Novo Programlama Problemlerinde Uzlaşık Çözüm: Uzlaşık Programlama Uygulaması. *Aksaray Üniversitesi İİBF dergisi, 7*(1), 49-57.

Ural, G. F. (2006). Bulanık Doğrusal Programlama Yöntemi Kulanılarak Bir Sanayi Kuruluşunda Üretim Planlama Çalışmasının Gerçekleştirilmesi. *Kocaeli Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü*.

Ural, Ş. (1987). Çok Değerli Mantık. *Felsefe Arkivi*(26), 301-316.

Wan, S., & Dong, J. (2020). *Decision Making Theories and Methods Based on Interval-Valued Intuisitonistic Fuzzy Sets.* Springer.

Wang, H., Smarandache , F., Zhang, Y.-Q., & Sunderraman, R. (2005). *Interval Neutrosophic Sets and Logic: Theory and Applications in Computing.* Arizona: Hexis.

Wang, H., Smarandache, F., Zhang, Y., & Sunderraman , R. (2010). Single Valued Neutrosophic Sets. *Multispace Multistruct*(4), 410-413.

Xia, M., & Xu, Z. (2011). Hesitant Fuzzy İnformation Aggreagtion İn Decision Making. *International Journal Of Approximate Reasoning, 52*, 395-407.

Yelken, N., & Demir, M. H. (1978). *Üretim Planlaması ve Kontrolü.* İzmir: Ege Üniversitesi İşletme Fakültesi Yayınları.

Yıldırım , B. F., & Önder , E. (2015). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri.* Bursa : Dora.

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

Zadeh, L. A. (1988). Fuzzy Logic. *IEEE Computer Society, 21*(4), 83-93.

Zadeh, L. A. (1996). Fuzzy Logic- Computing With Words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems,, 4*(2), 103-111.

Zadeh, L. A. (1996). *Knowledge Representation in Fuzzy Logic* (Cilt 1).

Zadeh, L. A. (2008). Is There a Need For Fuzzy Logic? *Information Sciences, 178*, 2751-2779.

Zavadskas, E. K., Antucheviciene, J., & Kar, S. (2019). Multi-Objective and Multi-Attribute Optimization. *Sustaninability, 11*, 1-6.

Zeleny, M. (1982). *Multiple Criteria Decision Making* . New York: McGraw Hill Book Company.

Zhang, H., & Liu, D. (2006). *Fuzzy Modeling and Fuzzy Control.* Boston: Birkhauser.

Zimmermann, H. J. (1978). Fuzzy Programming and Linear Programming with Several Objective Functions. *Fuzy Sets ans Systems, 1*, 45-55.

Zimmerman, H. J. (1996). *Fuzzy Set Theory - and Its Applications.* Boston: Kluwer Academic Publishers.

Zionts, S. (1979). MCDM if not a Roman numeral, then what. *Interfaces*, 94-101.

EKLER

EK -1: Nötrosofik Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği Model I, Model II, Model III Yaklaşımına Göre Üretim Modeli

Çözüm Teknikleri	Nötrosofik Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği Model I Yaklaşımı	Nötrosofik Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği Model II Yaklaşımı	Nötrosofik Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği Model III Yaklaşımı
Maksimize Edilen Amaç Fonksiyonu	$Max\ (\alpha + \gamma - \beta)$	$Max\ (\alpha - \gamma - \beta)$	$Max\ (\alpha + \gamma + \beta)$
Üyelik Fonksiyonları	2742388-z1≥413255*α 2535760,5-1≥206627,5* γ z1-2453109≤289278,5*β z2-1599267≥160969* α z2-1679751,5≥80484,5* γ 1647557,7-z2≤48290,7*β 27526357-z3≥2024697*λ 26514008,5-≥1012348,5*γ z3-26109069,1≤1417287,9*β 104081.9-z4≥4220.01*λ 101971,895-z4≥2110,005*γ z4-100101127,893≤2954,007*β 5790,102-z5≥215.424*λ 5682,39-z5≥107,712*γ z5-5639,3052≤150,7968*β	2742388-z1≥413255*α 2535760,5-z1≤206627,5* γ z1-2453109≤289278,5*β z2-1599267≥160969* α z2-1679751,5≤80484,5* γ 1647557,7-z2≤48290,7*β 27526357-z3≥2024697*λ 26514008,5-z3≤1012348,5*γ z3-26109069,1≤1417287,9*β 104081.9-z4≥4220.01*λ 101971,895-z4≤2110,005*γ z4-100101127,893≤2954,007*β 5790.102-z5≥215.424*λ 5682,39-z5≤107,712*γ z5-5639,3052≤150,7968*β	2742388-z1≥413255*α 2535760,5-z1≥206627,5* γ z1-2453109≤289278,5*β z2-1599267≥160969* α z2-1679751,5≥80484,5* γ 1647557,7-z2≤48290,7*β 27526357-z3≥2024697*λ 26514008,5-z3≥1012348,5*γ z3-26109069,1≤1417287,9*β 104081.9-z4≥4220.01*λ 101971,895-z4≥2110,005*γ z4-100101127,893≤2954,007*β 5790.102-z5≥215.424*λ 5682,39-z5≥107,712*γ z5-5639,3052≤150,7968*β

Not: Nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği Model I, Model II, Model III yaklaşımları maksimize edilmek istenen üyelik derecesi ve üyelik derecesi fonksiyonları olarak farklılık göstermektedir. üretim modelinin amaç fonksiyonları ve kısıtlayıcıları her üç yaklaşım için aynı olmak üzere aşağıda verilmiştir.

$$\mathbf{MinZ_1}=0.018X_1+0.101X_2+0.101X_3+0.714X_4+0.048X_5+0.027X_6+0.765X_7+0.059X_8+9.818X_9+4.494X_{10}+0.156X_{11}+0.389X_{12}+0.048X_{13}+2.562X_{14}+2.533X_{15}+1.326X_{16}+2.771X_{17}+7.469X_{18}+4.248X_{19}+10.882X_{20}+0.22X_{21}+2.591X_{22}+0.343X_{23}+0.207X_{24}+7.6X_{25}+5.852X_{26}+6.851X_{27}+7.35X_{28}+7.252X_{29}+9.904X_{30}+1.833X_{31}+5.337X_{32}+0.668X_{33}+8.324X_{34}+8.689X_{35}+1.334X_{36}+2.787X_{37}+7.334X_{38}+3.434X_{39}+0.05X_{40}+2.271X_{41}+0.024X_{42}+7.604X_{43}+1.637X_{44}+9.794X_{45}+0.477X_{46}+0.179X_{47}+0.049X_{48}+1.78X_{49}+11.038X_{50}+2.063X_{51}+1.859X_{52}+7.33X_{53}+2.169X_{54}+3.102X_{55}+16.01X_{56}+10.612X_{57}+9.83X_{58}+10.964X_{59}+3.716X_{60}+8.742X_{61}+9.176X_{62}+4.416X_{63}+0.0671X_{64}+6.114X_{65}+2.251X_{66}+1.42X_{67}+2.902X_{68}+3.577X_{69}+3.581X_{70}+9.302X_{71}+1.412X_{72}+0.078X_{73}+16.014X_{74}+2.578X_{75}+1.912X_{76}+4.359X_{77}+1.555X_{78}+11.042X_{79}+6.925X_{80}+1.776X_{81}+2.177X_{82}+0.026X_{83}+0.832X_{84}+19.632X_{85}+0.107X_{86}+29.373X_{87}+4.612X_{88}+8.169X_{89}+6.425X_{90}+3.462X_{91}+6.745X_{92}+0.122X_{93}+2.067X_{94}+6.745X_{95}+24.433X_{96}+32.106X_{97}+13.01X_{98}+2.194X_{99}+19.632X_{100}+3.7X_{101}+2.521X_{102}+3.577X_{103}+3.368X_{104}+11.038X_{105}+1.817X_{106}+8.013X_{107}+0.406X_{108}+3.372X_{109}+9.835X_{110}+110.083X_{111}+8.308X_{112}+2.222X_{113}+2.046X_{114}+9.83X_{115}+11.087X_{116}+10.849X_{117}+3.168X_{118}+4.453X_{119}+8.586X_{120}+11.05X_{121}$$

$$\mathbf{MaxZ_2}=0.006X_1+0.854X_2+2.775X_3+3.273X_4+0.02X_5+1.498X_6+0.009X_7+0.844X_8+0.052X_9+0.13X_{10}+2.49X_{11}+0.864X_{12}+0.034X_{13}+3.301X_{14}+3.627X_{15}+1.416X_{16}+0.069X_{17}+0.073X_{18}+2.896X_{19}+0.114X_{20}+0.757X_{21}+2.45X_{22}+0.034X_{23}+0.159X_{24}+0.929X_{25}+2.533X_{26}+0.611X_{27}+2.417X_{28}+2.284X_{29}+0.223X_{30}+1.951X_{31}+0.924X_{32}+0.546X_{33}+4.145X_{34}+2.535X_{35}+0.017X_{36}+2.445X_{37}+0.238X_{38}+0.016X_{39}+1.779X_{40}+0.008X_{41}+0.442X_{42}+3.265X_{43}+0.016X_{44}+0.255X_{45}+0.445X_{46}+0.06X_{47}+0.016X_{48}+0.593X_{49}+3.679X_{50}+0.688X_{51}+0.62X_{52}+2.443X_{53}+0.723X_{54}+1.034X_{55}+5.337X_{56}+3.537X_{57}+3.277X_{58}+3.655X_{59}+1.239X_{60}+2.914X_{61}+3.059X_{62}+1.472X_{63}+0.224X_{64}+2.038X_{65}+0.75X_{66}+0.473X_{67}+0.967X_{68}+1.192X_{69}+1.194X_{70}+3.101X_{71}+0.471X_{72}+0.026X_{73}+5.338X_{74}+0.859X_{75}+0.637X_{76}+1.453X_{77}+0.518X_{78}+3.681X_{79}+2.308X_{80}+0.592X_{81}+0.726X_{82}+0.009X_{83}+0.277X_{84}+6.544X_{85}+0.036X_{86}+9.791X_{87}+1.537X_{88}+2.723X_{89}+2.142X_{90}+1.154X_{91}+2.248X_{92}+0.041X_{93}+0.689X_{94}+2.248X_{95}+8.144X_{96}+10.702X_{97}+4.337X_{98}+0.731X_{99}+6.544X_{100}+1.233X_{101}+0.84X_{102}+1.192X_{103}+1.123X_{104}+3.679X_{105}+0.606X_{106}+2.671X_{107}+0.135X_{108}+1.124X_{109}$$

$+3.278X_{110}+36.694X_{111}+2.769X_{112}+0.741X_{113}+0.682X_{114}+3.277X_{115}+3.696X_{116}+3.616X_{117}+1.056X_{118}+1.484X_{119}+2.862X_{120}+3.683X_{121}$

MinZ_3 $=2.4975X_1+7.005X_2+7.005X_3+6.255X_4+6.255X_5+29.01X_6+37.02X_7+14.49X_8+14.49X_9+6.255X_{10}+23.49X_{11}+26.49X_{12}+3.1275X_{13}+49.98X_{14}+43.02X_{15}+22.5X_{16}+22.5X_{17}+45X_{18}+43.02X_{19}+3.75X_{20}+3.75X_{21}+39X_{22}+45X_{23}+17.49X_{24}+37.98X_{25}+49.98X_{26}+26.49X_{27}+49.98X_{28}+49.98X_{29}+49.98X_{30}+19.998X_{31}+45X_{32}+49.98X_{33}+42X_{34}+49.98X_{35}+45X_{36}+26.01X_{37}+6.255X_{38}+52.02X_{39}+15X_{40}+43.98X_{41}+45X_{42}+45X_{43}+2.4975X_{44}+45X_{45}+45X_{46}+45X_{47}+52.02X_{48}+45X_{49}+49.98X_{50}+6.255X_{51}+6.255X_{52}+48X_{53}+45X_{54}+49.98X_{55}+45X_{56}+55.02X_{57}+23.49X_{58}+45X_{59}+45X_{60}+58.02X_{61}+45X_{62}+45X_{63}+25.98X_{64}+15X_{65}+45X_{66}+25.98X_{67}+21X_{68}+45X_{69}+45X_{70}+45X_{71}+45X_{72}+45X_{73}+45X_{74}+45X_{75}+26.01X_{76}+45X_{77}+45X_{78}+45X_{79}+26.01X_{80}+45X_{81}+45X_{82}+45X_{83}+45X_{84}+45X_{85}+45X_{86}+26.01X_{87}+45X_{88}+45X_{89}+45X_{90}+45X_{91}+26.01X_{92}+45X_{93}+26.01X_{94}+45X_{95}+45X_{96}+48X_{97}+45X_{98}+45X_{99}+45X_{100}+45X_{101}+45X_{102}+45X_{103}+45X_{104}+45X_{105}+45X_{106}+45X_{107}+49.98X_{108}+45X_{109}+45X_{110}+45X_{111}+49.98X_{112}+45X_{113}+45X_{114}+25.98X_{115}+49.98X_{116}+25X_{117}+49.98X_{118}+45X_{119}+45X_{120}+49.98X_{121}$

MinZ_4 $=0.081X_1+0.09X_2+0.083X_3+0.012X_4+0.035X_5+0.067X_6+0.042X_7+0.014X_8+0.051X_9+0.025X_{10}+0.02X_{11}+0.013X_{12}+0.049X_{13}+0.055X_{14}+0.077X_{15}+0.08X_{16}+0.081X_{17}+0.015X_{18}+0.087X_{19}+0.027X_{20}+0.075X_{21}+0.075X_{22}+0.065X_{23}+0.098X_{24}+0.093X_{25}+0.02X_{26}+0.094X_{27}+0.059X_{28}+0.045X_{29}+0.039X_{30}+0.062X_{31}+0.013X_{32}+0.011X_{33}+0.025X_{34}+0.027X_{35}+0.025X_{36}+0.011X_{37}+0.002X_{38}+0.016X_{39}+0.046X_{40}+0.047X_{41}+0.081X_{42}+0.08X_{43}+0.045X_{44}+0.009X_{45}+0.057X_{46}+0.014X_{47}+0.077X_{48}+0.088X_{49}+0.095X_{50}+0.031X_{51}+0.079X_{52}+0.081X_{53}+0.071X_{54}+0.097X_{55}+0.015X_{56}+0.069X_{57}+0.091X_{58}+0.075X_{59}+0.068X_{60}+0.081X_{61}+0.023X_{62}+0.038X_{63}+0.027X_{64}+0.002X_{65}+0.004X_{66}+0.052X_{67}+0.094X_{68}+0.075X_{69}+0.072X_{70}+0.089X_{71}+0.034X_{72}+0.072X_{73}+0.042X_{74}+0.042X_{75}+0.001X_{76}+0.085X_{77}+0.065X_{78}+0.04X_{79}+0.056X_{80}+0.061X_{81}+0.022X_{82}+0.038X_{83}+0.09X_{84}+0.003X_{85}+0.044X_{86}+0.064X_{87}+0.098X_{88}+0.068X_{89}+0.003X_{90}+0.05X_{91}+0.03X_{92}+0.088X_{93}+0.029X_{94}+0.09X_{95}+0.087X_{96}+0.036X_{97}+0.074X_{98}+0.027X_{99}+0.023X_{100}+0.049X_{101}+0.014X_{102}+0.053X_{103}+0.034X_{104}+0.048X_{105}+0.079X_{106}+0.082X_{107}+0.055X_{108}+0.057X_{109}+0.057X_{110}+0.03X_{111}+0.061X_{112}+0.094X_{113}+0.057X_{114}+0.087X_{115}+0.02X_{116}+0.003X_{117}+0.03X_{118}+0.07X_{119}+0.086X_{120}+0.079X_{121}$

MinZ_5 $=0.002X_1+0.0035X_2+0.0056X_3+0.0035X_4+0.005X_5+0.005X_6+0.004X_7+0.0031X_8+0.0049X_9+0.0064X_{10}+0.0067X_{11}+0.0010X_{12}+0.0045X_{13}+0.0038X_{14}+0.0021X_{15}+0.0019X_{16}+0.0096X_{17}+0.0036X_{18}+0.0035X_{19}+0.0032X_{20}+0.0016X_{21}+0.0021X_{22}+0.0066X_{23}$

$+0.0016X_{24}+0.0068X_{25}+0.0053X_{26}+0.0047X_{27}+0.0052X_{28}+0.0051X_{29}+0.0071X_{30}+0.0013X_{31}+0.0011X_{32}+0.0043X_{33}+0.0041X_{34}+0.0081X_{35}+0.0019X_{36}+0.0039X_{37}+0.0064X_{38}+0.0040X_{39}+0.0035X_{40}+0.003X_{41}+0.0046X_{42}+0.0072X_{43}+0.0022X_{44}+0.007X_{45}+0.0012X_{46}+0.0015X_{47}+0.0035X_{48}+0.0018X_{49}+0.0076X_{50}+0.0031X_{51}+0.0013X_{52}+0.0064X_{53}+0.0022X_{54}+0.0022X_{55}+0.0024X_{56}+0.0022X_{57}+0.0022X_{58}+0.002X_{59}+0.002X_{60}+0.0022X_{61}+0.0022X_{62}+0.0012X_{63}+0.0012X_{64}+0.0012X_{65}+0.0012X_{66}+0.0012X_{67}+0.0012X_{68}+0.0012X_{69}+0.0012X_{70}+0.001X_{71}+0.002X_{72}+0.0020X_{73}+0.002X_{74}+0.0022X_{75}+0.0022X_{76}+0.0032X_{77}+0.002X_{78}+0.002X_{79}+0.002X_{80}+0.003X_{81}+0.0032X_{82}+0.0018X_{83}+0.0032X_{84}+0.0012X_{85}+0.0024X_{86}+0.002X_{87}+0.0014X_{88}+0.002X_{89}+0.0012X_{90}+0.003X_{91}+0.003X_{92}+0.002X_{93}+0.002X_{94}+0.002X_{95}+0.0014X_{96}+0.0012X_{97}+0.0023X_{98}+0.0013X_{99}+0.007X_{100}+0.0039X_{101}+0.0032X_{102}+0.0037X_{103}+0.0031X_{104}+0.007X_{105}+0.0033X_{106}+0.0074X_{107}+0.0012X_{108}+0.0031X_{109}+0.007X_{110}+0.001X_{111}+0.0022X_{112}+0.0022X_{113}+0.002X_{114}+0.0016X_{115}+0.0076X_{116}+0.0076X_{117}+0.0024X_{118}+0.0047X_{119}+0.0022X_{120}+0.0016X_{121}$

Kısıtlayıcılar

Talep Kısıtı

$X_1 \geq 379133$
$X_2 \geq 184043$
$X_3 \geq 166322$
$X_4 \geq 19054$
$X_5 \geq 83243$
$X_6 \geq 23076$
$X_7 \geq 19206$
$X_8 \geq 56533$
$X_9 \geq 37185$
$X_{10} \geq 21773$
$X_{11} \geq 31454$
$X_{12} \geq 34766$
$X_{13} \geq 31191$
$X_{14} \geq 44102$
$X_{15} \geq 21728$
$X_{16} \geq 30777$
$X_{17} \geq 28220$
$X_{18} \geq 18501$
$X_{19} \geq 17337$
$X_{20} \geq 7070$
$X_{21} \geq 17741$
$X_{22} \geq 18032$
$X_{23} \geq 13293$
$X_{24} \geq 17741$
$X_{25} \geq 5821$

$X_{26} \geq 515$
$X_{27} \geq 14667$
$X_{28} \geq 4191$
$X_{29} \geq 9817$
$X_{30} \geq 3032$
$X_{31} \geq 4526$
$X_{32} \geq 12025$
$X_{33} \geq 7031$
$X_{34} \geq 9379$
$X_{35} \geq 2559$
$X_{36} \geq 2308$
$X_{37} \geq 10835$
$X_{38} \geq 6921$
$X_{39} \geq 11876$
$X_{40} \geq 2633$
$X_{41} \geq 1218$
$X_{42} \geq 3492$
$X_{43} \geq 4369$
$X_{44} \geq 3883$
$X_{45} \geq 1106$
$X_{46} \geq 4367$
$X_{47} \geq 4488$
$X_{48} \geq 2660$
$X_{49} \geq 2137$
$X_{50} \geq 2756$
$X_{51} \geq 875$
$X_{52} \geq 1844$
$X_{53} \geq 2417$
$X_{54} \geq 2962$
$X_{55} \geq 781$
$X_{56} \geq 1026$
$X_{57} \geq 1188$
$X_{58} \geq 1065$
$X_{59} \geq 1723$
$X_{60} \geq 1058$
$X_{61} \geq 44$
$X_{62} \geq 2386$
$X_{63} \geq 908$
$X_{64} \geq 217$
$X_{65} \geq 892$
$X_{66} \geq 1830$
$X_{67} \geq 7031$
$X_{68} \geq 4088$
$X_{69} \geq 1105$
$X_{70} \geq 1602$
$X_{71} \geq 2139$
$X_{72} \geq 3293$

$X_{73} \geq 719$
$X_{74} \geq 1078$
$X_{75} \geq 1990$
$X_{76} \geq 1353$
$X_{77} \geq 2259$
$X_{78} \geq 477$
$X_{79} \geq 419$
$X_{80} \geq 562$
$X_{81} \geq 1418$
$X_{82} \geq 696$
$X_{83} \geq 48$
$X_{84} \geq 94$
$X_{85} \geq 721$
$X_{86} \geq 1479$
$X_{87} \geq 232$
$X_{88} \geq 399$
$X_{89} \geq 2531$
$X_{90} \geq 398$
$X_{91} \geq 1610$
$X_{92} \geq 4900$
$X_{93} \geq 544$
$X_{94} \geq 714$
$X_{95} \geq 2256$
$X_{96} \geq 184$
$X_{97} \geq 150$
$X_{98} \geq 150$
$X_{99} \geq 17$
$X_{100} \geq 7$
$X_{101} \geq 2960$
$X_{102} \geq 2834$
$X_{103} \geq 1952$
$X_{104} \geq 1081$
$X_{105} \geq 37$
$X_{106} \geq 6424$
$X_{107} \geq 2206$
$X_{108} \geq 2112$
$X_{109} \geq 582$
$X_{110} \geq 302$
$X_{111} \geq 11$
$X_{112} \geq 2190$
$X_{113} \geq 380$
$X_{114} \geq 701$
$X_{115} \geq 387$
$X_{116} \geq 172$
$X_{117} \geq 24$
$X_{118} \geq 44$
$X_{119} \geq 36$

$X_{120} \geq 2350$
$X_{121} \geq 64$

Hammadde Kısıtı

270 $X_{49} \leq 600000$ (1 numaralı hammadde kısıtı)
593,57 $X_{101} \leq 1800000$ (2 numaralı hammadde kısıtı)
485,65 $X_{102} \leq 1400000$ (3 numaralı hammadde kısıtı)

302,7 $X_{15} \leq 6577070$(4 numaralı hammadde kısıtı)

302,7 $X_{22} \leq 6577064$ (5 numaralı hammadde kısıtı)
1115 $X_{107} \leq 2800000$ (6 numaralı hammadde kısıtı)
200 $X_{31} \leq 1000000$ (7 numaralı hammadde kısıtı)
53 $X_{4} \leq 1070000$ (8 numaralı hammadde kısıtı)
63 $X_{7} \leq 1215000$ (9 numaralı hammadde kısıtı)
486,5 $X_{20} \leq 3700000$ (10 numaralı hammadde kısıtı)
171,32 $X_{32} \leq 2200000$ (11 numaralı hammadde kısıtı)
774,43 $X_{29} \leq 8000000$ (12 numaralı hammadde kısıtı)
1026 $X_{10} \leq 22340000$ (13 numaralı hammadde kısıtı)
1030 $X_{25} \leq 6850000$ (14 numaralı hammadde kısıtı)
1081 $X_{43} \leq 5250000$ (15 numaralı hammadde kısıtı)
200 $X_{52} \leq 420000$ (16 numaralı hammadde kısıtı)
25 $X_{21} \leq 510000$ (17 numaralı hammadde kısıtı)
25 $X_{24} \leq 510000$ (18 numaralı hammadde kısıtı)
50 $X_{106} \leq 350000$ (19 numaralı hammadde kısıtı)
4,7 $X_{8} \leq 265810$ (20 numaralı hammadde kısıtı)
10,1 X_{11}+10,1 x23≤452150 (21 numaralı hammadde kısıtı)
1075 X_{30}+1075 X_{45}+1075 X_{110}+1075 $X_{115} \leq 5289025$ (22 numaralı hammadde kısıtı)
782 $X_{28} \leq 3650000$ (23 numaralı hammadde kısıtı)
796 $X_{26} \leq 410000$ (24 numaralı hammadde kısıtı)
0,3 $X_{1} \leq 131000$ (25 numaralı hammadde kısıtı)
$333X_{54}+333X_{55}+333X_{56}+333X_{57}+333X_{58}+333X_{59}+333X_{60}+333X_{61}+333X_{62}+333X_{63}+333X_{64}+333X_{65}+333X_{66}+333X_{67}+333X_{68}+333X_{69}+333X_{70}+333X_{71}+333X_{72}+333X_{73}+333X_{74}+333X_{75}+333X_{76}+333X_{77}+333X_{78}+333X_{79}+333X_{80}+333X_{81}+333X_{82}+333X_{83}+333X_{84}+333X_{85}+333X_{86}+333X_{87}+333X_{88}+333X_{89}+333X_{90}+333X_{91}+333X_{92}+333X_{93}+333X_{94}+333X_{95}+333X_{96}+333X_{97}+333X_{98}+333X_{99} \leq 23680000$ (26 numaralı hammadde kısıtı)
333 X_{44}+333 X_{111}+333 X_{112}+333 $X_{113} \leq 2252500$ (27 numaralı hammadde kısıtı)
571 $X_{103} \leq 1250000$ (28 numaralı hammadde kısıtı)
571 $X_{41} \leq 810000$ (29 numaralı hammadde kısıtı)
474 $X_{114} \leq 378000$ (30 numaralı hammadde kısıtı)
474 $X_{104} \leq 576000$ (31 numaralı hammadde kısıtı)
474 X_{51}+474 $X_{109} \leq 690750$ (32 numaralı hammadde kısıtı)
745,2 $X_{9} \leq 27712000$ (33 numaralı hammadde kısıtı)
15,5 $X_{12} \leq 595000$ (34 numaralı hammadde kısıtı)
19 X_{46}+19 $X_{108} \leq 124100$ (35 numaralı hammadde kısıtı)
1140 X_{50}+1140 X_{105}+1140 X_{116}+1140 $X_{121} \leq 3553000$ (36 numaralı hammadde kısıtı)
1140 $X_{117} \leq 28500$ (37 numaralı hammadde kısıtı)
1140 $X_{100} \leq 9470$ (38 numaralı hammadde kısıtı)
363,5 $X_{118} \leq 16000$ (39 numaralı hammadde kısıtı)

0,6 X_{42}≤3200 (40 numaralı hammadde kısıtı)
1220 X_{35}≤3350000 (41 numaralı hammadde kısıtı)
594 X_{17}+594 X_{37}≤23200650 (42 numaralı hammadde kısıtı)
611 X_{39}≤7855000 (43 numaralı hammadde kısıtı)
0,8 X_{6}≤18600 (44 numaralı hammadde kısıtı)
968 X_{38}+968 X_{53}≤32450000 (45 numaralı hammadde kısıtı)
64,9 X_{33}≤519000 (46 numaralı hammadde kısıtı)
552,6 X_{18}≤10855000 (47 numaralı hammadde kısıtı)
529,6 X_{19}≤9840550 (48 numaralı hammadde kısıtı)
581 X_{14}≤26140000 (49 numaralı hammadde kısıtı)
286 X_{16}≤9450000 (50 numaralı hammadde kısıtı)
286 X_{36}≤712000 (51 numaralı hammadde kısıtı)
8,35 X_{2}≤1715000 (52 numaralı hammadde kısıtı)
8,35 X_{3}≤1685000 (53 numaralı hammadde kısıtı)
629 X_{34}≤6294500 (54 numaralı hammadde kısıtı)
340 X_{120}≤889550 (55 numaralı hammadde kısıtı)
0,8 X_{5}≤66700 (56 numaralı hammadde kısıtı)
0,8 X_{13}≤28400 (57 numaralı hammadde kısıtı)
0,8 X_{47}≤3970 (58 numaralı hammadde kısıtı)
0,8 X_{40}≤2420 (59 numaralı hammadde kısıtı)
0,8 X_{48}≤2450 (60 numaralı hammadde kısıtı)
717,3 X_{27}≤11545000 (61 numaralı hammadde kısıtı)
714,7 X_{119}≤26070 (62 numaralı hammadde kısıtı)

Makine Kısıtı

X_{49}≤130740 (M424347 numaralı makine kısıtı)

X_{101}≤98010 (M424895 numaralı makine kısıtı)

X_{15}+X22≤113400 (M424997 numaralı makine kısıtı)

X_{107}≤29310 (M480187 numaralı makine kısıtı)

X_{31}≤75600 (M480716 numaralı makine kısıtı)

X_{4}≤20000 (M481228 numaralı makine kısıtı)

X_{7}≤28040 (M481229 numaralı makine kısıtı)

X_{20}≤75600 (M481978 numaralı makine kısıtı)

X_{32}≤89520 (M481982 numaralı makine kısıtı)

X_{29}≤34020 (M485421 numaralı makine kısıtı)

X_{10}≤34020 (M485720 numaralı makine kısıtı)

X_{25}≤8268 (M486408 numaralı makine kısıtı)

X_{43}≤42480 (M486599 numaralı makine kısıtı)

X_{52}≤81000 (M486917 numaralı makine kısıtı)

X_{21}+X_{24}≤453600 (M486918 numaralı makine kısıtı)

X_{106}≤6810 (M487460 numaralı makine kısıtı)

$X_8 \leq 271920$ (M488637 numaralı makine kısıtı)

$X_{11}+X_{23} \leq 97230$ (M489135 numaralı makine kısıtı)

$X_{30}+x45+X_{110}+X_{115} \leq 84990$ (M570088 numaralı makine kısıtı)

$X_{28} \leq 38670$ (M570089 numaralı makine kısıtı)

$X_{26} \leq 35430$ (M570092 numaralı makine kısıtı)

$X_1 \leq 382120$ (M570591 numaralı makine kısıtı)

$X_{44}+X_{111}+X_{112}+X_{113} \leq 147420$ (M571172 numaralı makine kısıtı)

$X_{54}+X_{55}+X_{56}+X_{57}+X_{58}+X_{59}+X_{60}+X_{61}+X_{62}+X_{63}+X_{64}+X_{65}+X_{66}+X_{67}+X_{68}+X_{69}+X_{70}+X_{71}+$
$X_{72}+X_{73}+X_{74}+X_{75}+X_{76}+X_{77}+X_{78}+X_{79}+X_{80}+X_{81}+X_{82}+X_{83}+X_{84}+X_{85}+X_{86}+X_{87}+X_{88}+X_{89}+$
$X_{90}+X_{91}+X_{92}+X_{93}+X_{94}+X_{95} \leq 4243200$ (M571178 numaralı makine kısıtı)

$X_{41}+X_{103} \leq 65460$ (M571463 numaralı makine kısıtı)

$X_{119} \leq 38400$ (M571464 numaralı makine kısıtı)

$X_{51}+X_{104}+X_{109}+X_{114} \leq 65370$ (M571465 numaralı makine kısıtı)

$X_9 \leq 37800$ (M571500 numaralı makine kısıtı)

$X_{12} \leq 234780$ (M572362 numaralı makine kısıtı)

$X_{46}+X_{108} \leq 113400$ (M572363 numaralı makine kısıtı)

$X_{50}+X_{100}+X_{105}+X_{116}+X_{117}+X_{121} \leq 84990$ (M572555 numaralı makine kısıtı)

$X_{118} \leq 65460$ (M572988 numaralı makine kısıtı)

$X_{42} \leq 851340$ (M573135 numaralı makine kısıtı)

$X_{35} \leq 37800$ (M573296 numaralı makine kısıtı)

$X_{17}+X_{37} \leq 128400$ (M573323 numaralı makine kısıtı)

$X_{39} \leq 34020$ (M573367 numaralı makine kısıtı)

$X_6 \leq 1087740$ (M573811 numaralı makine kısıtı)

$X_{38}+X_{53} \leq 84990$ (M573974 numaralı makine kısıtı)

$X_{33} \leq 296070$ (M574555 numaralı makine kısıtı)

$X_{18} \leq 34020$ (M575354 numaralı makine kısıtı)

$X_{19} \leq 35430$ (M575690 numaralı makine kısıtı)

$X_{14} \leq 58620$ (M576101 numaralı makine kısıtı)

$X_{16}+X_{36} \leq 72390$ (M576102 numaralı makine kısıtı)

$X_2+X_3 \leq 350410$ (M577626 numaralı makine kısıtı)

$X_{34} \leq 106350$ (M578415 numaralı makine kısıtı)

$X_{102} \leq 34020$ (M424933numaralı makine kısıtı)

$X_5+X_{13}+X_{40}+X_{47}+X_{48} \leq 271920$ (M579775 numaralı makine kısıtı)

$X_{27} \leq 37800$ (M581400 numaralı makine kısıtı)

$X_{96} \leq 29310$ (M571173 numaralı makine kısıtı)

$X_{97} \leq 29310$ (M571174 numaralı makine kısıtı)

$X_{98} \leq 40500$ (M571175 numaralı makine kısıtı)

$X_{99} \leq 37800$ (M571176 numaralı makine kısıtı)

$Z_{120} \leq 34020$ (M579379 numaralı makine kısıtı)

Gruplama Atölyesi İşçilik Süre Kısıtı

$61.68X_9+40.68X_{17}+24.22X_{18}+47.82X_{19}+49.64X_{20}+36X_{22}+121.02X_{25}+50.76X_{26}+47.12X_{27}+71.4X_{28}+79.92X_{29}+102.78X_{30}+28.86X_{31}+94.2X_{32}+35.76X_{33}+58.6X_{34}+168.12X_{35}+142.5X_{38}+21.84X_{39}+47.82X_{43}+102.78X_{45}+103.92X_{50}+142.5X_{53}+33.48X_{54}+19.2X_{55}+207.12X_{56}+103.92X_{57}+102.78X_{58}+149.64X_{59}+19.2X_{60}+125.46X_{61}+64.908X_{62}+19.2X_{63}+35.76X_{64}+76.08X_{65}+40.68X_{68}+19.2X_{69}+19.2X_{70}+47.068X_{71}+207.12X_{74}+19.2X_{77}+103.92X_{79}+71.4X_{80}+9X_{81}+33.48X_{82}+54.24X_{84}+884.64X_{85}+242.91X_{87}+167.46X_{88}+147.12X_{89}+130.8X_{90}+41.16X_{91}+56.12X_{92}+9X_{94}+156.12X_{95}+280.284X_{96}+371.274X_{97}+86.58X_{98}+18X_{99}+116.16X_{100}+19.2X_{103}+19.2X_{104}+43.92X_{105}+50.76X_{107}+19.2X_{109}+22.78X_{110}+67.46X_{111}+50.76X_{112}+47.4X_{113} \leq 20736000$

Baskı Atölyesi İşçilik Süre Kısıtı

$18X_{13}+15X_{23}+36X_{83}+14X_{93}+45X_{101}++30.25X_{102}+18.60X_{114}+12.65X_{115}+16.8X_{116}+22X_{118}+20.55X_{119}+40.55X_{121} \leq 1152000$

$X_j \geq 0$ ve X_j tamsayı j=1,2,…121

$0 \leq \alpha + \gamma + \beta \leq 3$

$\alpha \geq \gamma$

$\alpha \geq \beta$

$\alpha, \gamma, \beta \in [0,1]$

$x_j \geq 0$ ve x_j tamsayı
j=1,2,…,121

EK -2: Sezgisel Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği İle Üretim Modeli

max=(α-β)

2742388-z1>=413255*α

z1-2453109.5<=289278.5*β

z2-1599267>=160969*α

1711945.3-z2<=48290.7*β

27526357-z3>=2024697*α

z3-26109069.1<=1417287.9*β

104081.9-z4>=4220.01*α

z4-101127.893<=2954.007*β

5790.102-z5>=215.424*α

z5-5639.3052<=150.7968*β

Not: Üretim modelinin sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ile çözümü, nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği yaklaşımlarından, maksimize edilen amaç fonksiyonu ve üyelik fonksiyonları ile farklılık göstermektedir. Kısıtlayıcılar üretim modelinin Ek-1 de verilen kısıtlayıcıları ile aynıdır.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Şule BAYAZİT BEDİRHANOĞLU

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- Lisans: 2005, İnönü Üniversitesi, İİBF, İşletme Bölümü,
- Yüksek Lisans: 2015, Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü,İşletme Bilim Dalı, Sayısal Yöntemler Ana Bilim Dalı
- 2007-2010 T.C. Ziraat Bankası
- 2010-2012 Bitlis Eren Üniversitesi Araştırma Görevlisi
- 2012 Anadolu Üniversitesi Araştırma Görevlisi

Yayınları ve/veya Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

- *Toptancı, Ş., Bayazit Bedirhanoğlu, Ş., Mümtaz, E. (2017), Özet Bildiri, Bulanik Ahp Yöntemi Ile Personel Seçim Kriterlerinin Önceliklendirilmesi". 1.Uluslararası Sosyal, Beşeri ve Eğitim Bilimleri Kongresi.2017. İstanbul.*
- *Bayazit Bedirhanoğlu, Ş., Lezki, Ş. (2018).KOBİ'lerin Banka Tercihini Etkileyen Faktörlerin AHP Yöntemi ile Belirlenmesi. Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi,18(1),(191-208).*
- *Atlas, M., Bayazit Bedirhanoğlu, Ş., (2018), Tam Metin Bildiri, Bulanık Küme Yaklaşımlarının Sınıflandırılması 19. Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırması ve İstatistik Sempozyumu 2018 Antalya.*
- *Atlas, M., Bayazit Bedirhanoğlu, Ş., Demir, E., Karamaşa, Ç.,(2020), Özet Bildiri, "Predicting the Financial Performance of Transportation Companies Listed in BIST Via Machine Learning Algorithms". 20. Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırması ve İstatistik Sempozyumu. Ankara. Hacı Bayram Veli Üniversitesi*