




**T.C.**

**SELÇUK ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# BULANIK ÇOK AMAÇLI DOĞRUSAL OLMAYAN PROGRAMLAMA PROBLEMLERİNİN ÇEŞİTLİ ÜYELİK FONKSİYONLARI ALTINDA İNCELENMESİ

**Özlem AKARÇAY**

**YÜKSEK LİSANS**

**İstatistik Anabilim Dalı**

**Temmuz-2019**

**KONYA**

**Her Hakkı Saklıdır**

# ÖZET

## YÜKSEK LİSANS TEZİ

## BULANIK ÇOK AMAÇLI DOĞRUSAL OLMAYAN PROGRAMLAMA PROBLEMLERİNİN ÇEŞİTLİ ÜYELİK FONKSİYONLARI ALTINDA İNCELENMESİ

**Özlem AKARÇAY**

**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**
**İstatistik Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Nimet YAPICI PEHLİVAN**

**2019, 64 Sayfa**

**Jüri**
**Prof. Dr. Nimet YAPICI PEHLİVAN**
**Prof. Dr. Mehmet AKTAN**
**Dr. Öğr. Üyesi Yunus AKDOĞAN**

Gerçek hayat problemlerinde belirsizlik içeren durumlar mevcut olduğunda kullanılan bulanık kümeler, çeşitli karar verme problemlerine uygulanmaktadır. Karar verme problemlerinde, amaç fonksiyonları ve kısıtlar her zaman doğrusal olarak ifade edilememektedir. Bu gibi durumlarda, ele alınan problemler doğrusal olmayan programlama modelleri ile ifade edilmektedir. Bulanık çok amaçlı programlama modelleri, birden fazla amaç fonksiyonu ve bu amaç fonksiyonlarının ve/veya kısıtların bulanık ifadeler içerdiği problemlerdir. Bulanık çok amaçlı programlama modellerinin çözümünde kullanılan üyelik fonksiyonları karar verme aşamasında büyük öneme sahiptir.

Bu çalışmada, bulanık parametreler içeren yeşil tedarik zinciri modeli önerilmiştir. Önerilen model, hem taşıma maliyetlerinin hem taşıma sırasında iki farklı aracın ortaya çıkardığı $CO_2$ emisyon miktarlarının minimize edildiği ve doğrusal olmayan kısıtlar içeren bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan programlama modelidir. Model, Zimmermann'ın Min-Max yaklaşımında doğrusal üyelik fonksiyonlarından üçgensel, doğrusal olmayan üyelik fonksiyonlarından hiperbolik ve üstel üyelik fonksiyonları ele alınarak çözülmüştür. Elde edilen optimal çözümler karşılaştırıldığında, hiperbolik üyelik fonksiyonu kullanılarak elde edilen optimal çözümün daha iyi olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Bulanık Kümeler, Bulanık Çok Amaçlı Programlama, Bulanık Çok Amaçlı Doğrusal Olmayan Programlama, Üyelik Fonksiyonları, Yeşil Tedarik Zinciri, Zimmermann'ın Min-Max Yaklaşımı

# ABSTRACT

## MS THESIS

## INVESTIGATING FUZZY MULTI OBJECTIVE NONLINEAR PROGRAMMING PROBLEMS UNDER VARIOUS MEMBERSHIP FUNCTIONS

**Özlem AKARÇAY**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY**
**THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN STATISTICS**

**Advisor: Prof. Dr. Nimet YAPICI PEHLİVAN**

**2019, 64 Pages**

**Jury**
**Prof. Dr. Nimet YAPICI PEHLİVAN**
**Prof. Dr. Mehmet AKTAN**
**Asst. Prof. Yunus AKDOĞAN**

Fuzzy sets are used when there is uncertainty in real-life problems, and are applied to various decision-making problems. In decision-making problems, objective functions and constraints are not always expressed as linearly. In such cases, the problems discussed are expressed by nonlinear programming models. Fuzzy multi-objective programming models are defined as problems, which contain multiple objective functions, and these objective functions and/or constraints include fuzzy expressions. Membership functions, which are used in the solution of fuzzy multi-objective programming models, are crucial in the phase of decision- making.

In this study, the green supply chain model with fuzzy parameters was proposed. The proposed model is a fuzzy multi-purpose nonlinear programming model that minimizes both transportation costs and $CO_2$ emissions generated by two different vehicles during transportation, and includes nonlinear constraints. The model was solved by considering hyperbolic and exponential membership functions of triangular, nonlinear membership functions, which are nonlinear membership functions that are used in Zimmermann's Min-Max approach. As comparing the optimal solutions, the optimal solution that is obtained by using hyperbolic membership function, is found to be as better than triangular and exponential membership functions.

**Keywords:** Fuzzy Sets, Fuzzy Fuzzy Multi- Objective Programming, Fuzzy Multi- Objective Nonlinear Programming, Membership Functions, Green Supply Chain, Zimmermann's Min-Max Approach

## ÖNSÖZ

Tezimin her sürecinde çok değerli katkılarından ve her konuda bana sunduğu büyük desteklerinden dolayı sevgili danışman hocam Prof. Dr. Nimet Yapıcı Pehlivan'a, bilgi paylaşımları ve desteklerinden dolayı dostum Arş. Gör. Esra Yaşar'a ve diğer tüm dostlarıma, ne kadar şanslı olduğumu bana her zaman hissettiren ve hayatımın her alanında yanımda olan sevgili annem Nezahat Akarçay'a ve babam Mustafa Akarçay'a, her alanda bana yol gösteren ve akademik anlamda örnek aldığım sevgili ablam Dr. Öğr. Üyesi Demet Akarçay Ulutaş'a, son olarak varlığı ve hayat enerjisi ile beni motive eden ailemizin yeni ve en kıymetli üyesi Doruk Ulutaş'a teşekkürlerimi ve minnet duygularımı sunarım.

Özlem AKARÇAY
KONYA-2019

**İÇİNDEKİLER**

**ÖZET** ..... **iv**

**ABSTRACT** ..... **v**

**ÖNSÖZ** ..... **vi**

**İÇİNDEKİLER** ..... **vii**

**1. GİRİŞ VE KAYNAK ARAŞTIRMASI** ..... **1**

1.1. Giriş ..... 1
1.2. Kaynak Araştırması ..... 3

**2. BULANIK KÜMELER** ..... **8**

2.1. Bulanık Kümelerde Temel Kavramlar ..... 9
2.2. Bulanık Kümelerde Temel İşlemler ..... 10
2.3. Bulanık Sayılar ..... 12
2.3.1. Bulanık Sayılar Üzerinde Aritmetik İşlemler ..... 12
2.4. Bulanık Sayılarda Durulaştırma ..... 15
2.4.1. En büyük üyelik ilkesi ..... 15
2.4.2. Alan Merkezi Yöntemi ..... 16
2.4.3. Ağırlıklı ortalama yöntemi ..... 16
2.4.4. Ortalama en büyük üyelik yöntemi ..... 17
2.5. Üyelik Fonksiyonları ..... 18
2.5.1. Üçgensel Üyelik Fonksiyonu ..... 18
2.5.2. Hiperbolik üyelik fonksiyonu ..... 19
2.5.3. Üstel üyelik fonksiyonu ..... 20

**3. BULANIK ÇOK AMAÇLI PROGRAMLAMA** ..... **21**

3.1. Bulanık Çok Amaçlı Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Programlama ..... 21
3.2. Bulanık Çok Amaçlı Programlama Problemleri için Çözüm Yöntemleri ..... 22
3.2.1. Üçgensel Üyelik Fonksiyonu Altında Zimmermann'nın Min-Max Yaklaşımı ile Çözüm ..... 24
3.2.2. Hiperbolik Üyelik Fonksiyonu Altında Zimmermann'ın Min-Max Yaklaşımı ile Çözüm ..... 25
3.2.3. Üstel Üyelik Fonksiyonu Altında Zimmermann'ın Min-Max Yaklaşımı ile Çözüm ..... 27

**4. YEŞİL TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ** ..... **28**

**5. BULANIK ÇOK AMAÇLI DOĞRUSAL OLMAYAN PROGRAMLAMA PROBLEMİNİN FARKLI ÜYELİK FONKSİYONLARI ALTINDA İNCELENMESİ: YEŞİL TEDARİK ZİNCİRİ AĞI ÖRNEĞİ** ..... **34**

**6. SONUÇ VE ÖNERİLER** ..... **48**

**KAYNAKLAR ..... 50**

**ÖZGEÇMİŞ ..... 55**

**KISALTMALAR**

| | |
|---|---|
| **BÇAP** | Bulanık Çok Amaçlı Programlama |
| **BÇADP** | Bulanık Çok Amaçlı Doğrusal Programlama |
| **BÇADOP** | Bulanık Çok Amaçlı Doğrusal Olmayan Programlama |
| **YTZ** | Yeşil Tedarik Zinciri |
| **YTZY** | Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi |

# 1. GİRİŞ VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

## 1.1. Giriş

Günümüzde hızlı bir şekilde artmakta olan çevresel sorunlar, dünyayı sağlık sorunları başta olmakta üzere, maliyet, hava ve çevre kirliliği, doğal yaşam döngüsünün bozulması bakımından olumsuz yönde etkilemekte ve gelecek kuşaklar için tehdit oluşturmaktadır. Son yıllarda, küresel ısınma ve buna bağlı iklim değişikliğinin etkileri ciddi boyutlara ulaşmış olup birçok canlıyı ve hatta doğal kaynağı yok olma başta olmak üzere birçok tehlike ile karşı karşıya bırakmaktadır. İklim değişikliğinin nedenleri arasında insan kaynaklı sera gazları ve doğada çözünemeyen hammadde kullanımı büyük paya sahiptir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2016 yılı verilerine göre, Türkiye'de toplam $CO_2$ emisyonu 1990 yılından 2017 yılına %140 artış göstermiştir. 2017 yılında 526 milyon ton olan toplam $CO_2$ emisyonunun yaklaşık %72'si enerji sektöründen, %13'i endüstriyel işlemler ve ürün kullanımından, %12'si tarımsal faaliyetlerden, %3'ü ise atıklardan kaynaklanmaktadır. İnsanların neden olduğu bu olumsuzluklar, yine insanlar sayesinde önlenebilmekte ve düzeltilebilmektedir. Birçok firma, çevreye duyarlı stratejiler ve yasal düzenlemeler sayesinde tedarik zinciri yönetiminde değişiklikler yaparak yeşil tedarik zincirlerini oluşturmuşlardır.

Belirsizlik içeren gerçek hayat problemlerinin birçoğunda, parametreler her zaman kesin olarak ifade edilememektedir. Zadeh (1965) tarafından önerilen bulanık küme teorisinin bu tür problemlere uygulanması ile daha verimli ve daha esnek çözümlere ulaşılması amaçlamaktadır.

Bulanık kümelerin karar verme problemlerine uygulandığı ilk çalışma olan Bellman ve Zadeh (1970)'in çalışmasında, klasik karar modelleri üzerine bulanık karar verme modeli önerilmiş ve üyelik fonksiyonları ile karakterize edilmiştir.

Bazı gerçek hayat problemleri, hem bulanık parametreler hem de birden fazla amaç içerebilmektedir. Örneğin, firmalar için yeşil tedarik zinciri kavramında çevreye verilen zarar miktarı kadar maliyet de önemli bir faktördür. Bazı durumlarda ise, çevre kirliliğini önlemek için kullanılan yüksek teknolojiden dolayı yüksek maliyet gerekebilmektedir. Bu gibi durumlarda çevreye verilen zarar minimize edilmeye çalışılırken, firmaların devamlılığı için maliyet de göz ardı edilmemeli ve problem

bulanık çok amaçlı programlama modeli olarak ele alınmalıdır. Bulanık küme teorisi ve çok amaçlı programlamanın birleştirilmesi ile ortaya çıkan bulanık çok amaçlı programlama için Zimmermann (1978) tarafından Min-Max yaklaşımı önerilmiştir. Bu yaklaşımın yanı sıra, Liang ve Cheng (2009), Bit ve ark. (1993), Sakawa (1985), Kuwano (1996) gibi birçok araştırmacı bulanık çok amaçlı programlama problemlerinin çözümüne yönelik yaklaşımlar ve bütünleşik algoritmalar ile literatüre katkı sağlamışlardır.

Bulanık çok amaçlı programlama problemlerinde, amaç fonksiyonları ve/veya kısıtlar bulanık parametreler içerebilmektedirler. Bu tür problemler, amaç fonksiyonlarının ve/veya kısıtların, doğrusal/doğrusal olmayan ifadeler içerip içermemesine göre, bulanık çok amaçlı doğrusal programlama (BÇADP) ve bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan programlama (BÇADOP) modelleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Bulanık çok amaçlı doğrusal programlama ile ilgili literatürde çok sayıda genelleştirilmiş yöntem, uygulama ve çalışma mevcuttur. Ancak, bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan programlama ile ilgili genel bir çözüm yöntemi olmadığından problemler BÇADP yöntemlerine uyarlanarak çözülebilmektedir. BÇADOP problemleri, BÇADP modellerine göre daha karmaşık bir yapıya sahip olduğundan literatürde çok az sayıda çalışma ve uygulama mevcuttur.

Bulanık parametreler içeren çok amaçlı doğrusal olmayan programlama problemi, ilk olarak Orlovski ve ark. (1984) tarafından formüle edilmiştir (Slowiński, 2012). Daha sonra, Sakawa ve ark. (1984) tarafından bulanık amaç fonksiyonlarına sahip çok amaçlı doğrusal olmayan programlama yöntemi tanıtılmıştır. Yöntemde ele alınan model, üçgensel, üstel, hiperbolik, ters hiperbolik ve parçalı doğrusal üyelik fonksiyonları kullanılarak sayısallaştırılmıştır.

Üyelik fonksiyonları, çözüm aşamasında önemli bir role sahiptir. Literatür incelendiğinde, uygulamalarda genellikle üçgensel ve yamuksal gibi doğrusal üyelik fonksiyonlarının ele alındığı fakat hiperbolik, üstel, ters hiperbolik gibi doğrusal olmayan üyelik fonksiyonlarının çok fazla ele alınmadığı görülmektedir.

Bu tez çalışmasında, bir yeşil tedarik zinciri ağı modeli için bulanık parametrelere sahip bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan programlama modeli oluşturulmuştur. Tedarikçiler, fabrikalar, dağıtım merkezleri ve müşteriler arasındaki optimal ağı belirlemek ve bu ağlar üzerinde ürünlerin hangi araç ile hangi miktarda taşınması gerektiği araştırılmıştır. Oluşturulan model, üçgensel, üstel ve hiperbolik

üyelik fonksiyonları altında çözülmüştür ve optimal çözümler elde edilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bu tez çalışması altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, giriş ve kaynak araştırmasına yer verilmiştir.

İkinci bölümde, bulanık kümeler, bulanık sayılar ve üyelik fonksiyonları ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümde, bulanık çok amaçlı doğrusal ve doğrusal olmayan programlama, bulanık çok amaçlı programlama çözüm yöntemleri ile Zimmermann'ın Min-Max yaklaşımı ve üçgensel, hiperbolik ve üstel üyelik fonksiyonları altında çözüm yöntemleri ele alınmıştır.

Dördüncü bölümde, yeşil tedarik zinciri yönetimi kavramı ayrıntılı biçimde ele alınmıştır.

Beşinci bölüm tezin uygulama bölümüdür ve bir yeşil tedarik zinciri ağı problemi için bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan programlama modeli önerilmiştir. Önerilen model, üçgensel, üstel ve hiperbolik üyelik fonksiyonları altında çözülmüş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Altıncı bölümde, uygulamaya ilişkin sonuçların yorumlanması ve daha sonra yapılacak çalışmalar için öneriler yer almaktadır.

### 1.2. Kaynak Araştırması

Bu bölümde, bulanık çok amaçlı doğrusal ve bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan programlama problemleri ile bu problemlerin çeşitli üyelik fonksiyonları altında çözümüne ilişkin çalışmalar ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Çizelge 1.1'de, BÇADP ve BÇADOP problemlerinin doğrusal ve doğrusal olmayan üyelik fonksiyonları ile çözüldüğü bazı çalışmalar verilmiştir.

Zimmermann (1978)'ın makale çalışmasında, bulanık çok amaçlı programlama yöntemlerinden Min-Max yaklaşımı, hedefler arasındaki çatışmaları çözmek için önerilmiştir.

Sakawa (1985)'nın makale çalışmasında, etkileşimli bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan programlama yöntemi tanıtılmıştır. Çalışmada, bulanık doğrusal olmayan amaç fonksiyonları için doğrusal, üstel, hiperbolik, ters hiperbolik ve parçalı doğrusal olmak üzere beş tür üyelik fonksiyonu kullanılmıştır.

Sakawa ve Yano (1989) makale çalışmasında, Pareto optimal çözümlerin üretilmesinde bir araç olarak Min-Max problemlerini kullanan etkileşimli bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan programlama yöntemini önermişlerdir. Sonuç olarak, Min-Max problemlerinin kısıtlı problemlerine göre daha uygun olduğunu göstermişlerdir.

Sakawa ve Yano (1994) makale çalışmasında, büyük ölçekli çok amaçlı doğrusal olmayan programlama problemleri için bulanık bir ikili ayrıştırma yöntemi önerilmiştir. Karar verici ile etkileşime girilerek amaç fonksiyonlarının her biri için üyelik fonksiyonu oluşturulmuş ve problem formüle edilmiştir. Ayrıca, çözüm için bir optimizasyon algoritması önerilmiş ve bu algoritma için bir yazılım dili geliştirilmiştir.

Fares ve Kaminska (1995) makale çalışmalarında, bulanık doğrusal olmayan amaç fonksiyonu ve bulanık kısıtlara sahip bir problemi doğrusal olmayan üyelik fonksiyonları kullanarak modellemişlerdir.

Verma ve ark. (1997)'nın makale çalışmasında, çok amaçlı ulaştırma problemini çözmek için doğrusal olmayan üyelik fonksiyonlarından hiperbolik ve üstel üyelik fonksiyonları kullanılarak optimal bir çözüm sunulmuştur.

Chang ve Wei (2000)'nin makale çalışmasında, Tayvan'ın Kaohsiung şehrindeki idari bir bölgenin katı atık geri dönüşüm planlaması için bir örnek olay incelenmiştir. Planlama için, bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan tamsayılı programlama modeli oluşturulmuş ve genetik algoritma ile çözüme ulaşılmıştır.

Sasaki ve Gen (2003)'nin makale çalışmasında, çok amaçlı doğrusal olmayan bir model için bütünleşik genetik algoritma önerilmiştir. Bu yaklaşımı, bulanık hedeflere ve bulanık kısıtlara uygulanarak en uygun sistem tasarımının sağlanması amaçlanmıştır. Önerilen yöntemin etkinliği, büyük ölçekli bir sistem güvenliği tasarımının sağlanması amaçlanmaktadır.

Wang ve Liang (2004)'ın makale çalışmalarında, üretim planlama karar problemini bulanık ortamda çözmek için bir bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modelin uygulanabilirliği sayısal bir örnek üzerinde gösterilmiş ve Zimmermann'ın Min-Max yaklaşımı kullanılarak çözüm elde edilmiştir.

Liang (2006) makale çalışmasında, bulanık çok amaçlı ulaştırma problemlerini parçalı doğrusal üyelik fonksiyonuyla çözmek için etkileşimli bulanık çok amaçlı doğrusal programlama yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntemin gerçek ulaştırma problemlerine uygulanabilirliği örnek bir uygulama ile gösterilmiştir.

Amid ve ark. (2006) makale çalışmalarında, tedarikçi seçim problemi için bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Bulanık tedarikçi

seçim probleminde, ilk kez karar vericinin çeşitli kriterlere farklı ağırlıklar vermesi ile Zimmermann'ın Min-Max yaklaşımı uygulanmıştır.

Zeng ve ark. (2010)'nın makale çalışmasında, ekin alan planlaması yapılırken, karar vericilerin tercih veya bilgilerinin belirsizliğinden dolayı, bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Önerilen model, Lai ve Hwang (1992b)'ın yaklaşımı kullanılarak çözülmüştür.

Shaw ve ark. (2012) makale çalışmasında, tedarik zincirinde en uygun tedarikçinin seçiminde, karbon emisyonu sorununa yönelik olarak bulanık AHP ve bulanık çok amaçlı doğrusal programlamayı kullanan bütünleşik bir yaklaşım sunulmuştur.

Kannan ve ark. (2013) makale çalışmalarında, yeşil tedarik zinciri ağı için otomotiv sektöründe tedarikçi seçim problemini ele almışlardır. Problem için oluşturulan bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli, bulanık AHP, TOPSIS ve Min-Max yaklaşımları kullanılarak çözülmüştür.

Cheng ve ark. (2013) makale çalışmalarında, bulanık çok amaçlı doğrusal programlama problemlerinin çözümü için bir yöntem önermişlerdir. Yöntemde, sapma derecesi ölçümleri ve ağırlıklı Min-Max yöntemi ile en uygun çözümü elde etmek için bir algoritma önerilmiştir.

Wang ve ark. (2013)'nın makale çalışmasında, uzun menzilli köprülerin çok boyutlu modeli için bir bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan optimizasyon tekniği geliştirilmiştir. Şangay yakınlarındaki Runyang Asma Köprüsü'nün çok amaçlı modelini güncellemek için, önerilen optimizasyon tekniği uygulanmış ve doğrusal olmayan üyelik fonksiyonları kullanılarak optimal çözümler elde edilmiştir.

Shirkouhi ve ark. (2013)'nın makale çalışmalarında, etkileşimli iki fazlı bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli kullanılarak tedarikçi seçim problemi çözülmüştür. Önerilen modelde, parçalı doğrusal üyelik fonksiyonu kullanılarak toplam satın alma maliyet, sipariş maliyetleri, hatalı ürünler ve teslim süresi minimum yapılmaya çalışılmıştır.

Azadeh ve ark. (2015)'nın makale çalışmasında, bulanık çok amaçlı programlama kullanılarak doğal gaz tedarik zincirinin belirlenmesi için bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan model için, doğrusal olmayan üyelik fonksiyonları kullanılarak optimal çözümler elde edilmiştir.

Wang ve ark. (2016)'nın makale çalışmasında, yeni tasarlanan elektrik izleme sisteminde enerji tüketimiyle ilgili bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli

tasarlanmıştır. Örnek uygulamada, ağırlıklandırma yöntemi ve doğrusal üyelik fonksiyonları kullanılarak sonuçlara ulaşılmıştır. Önerilen modelin, maliyet etkinliği ve üretim kapasitesi açısından çok etkili olduğu gösterilmiştir.

Maity ve Kumar Roy (2016)'un makale çalışmasında, doğrusal olmayan maliyetler ve birden fazla talep içeren birçok amaçlı ulaştırma problemi için matematiksel model geliştirilmiştir.

Hu (2017)'nun makale çalışmasında, bir atama problemi için doğrusal çok amaçlı programlama modeli oluşturulmuştur. Problemin çözümü için, doğrusal olmayan hiperbolik üyelik fonksiyonu ile bulanık hedef programlama tekniği kullanılmıştır.

Li ve ark. (2017)'nın makale çalışmasında, su kıtlığını azaltmaya yardımcı olmak amacıyla kuru ve ıslak koşullar altında sulama suyu tahsisi için bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan programlama modeli geliştirilmiştir. Model, sezgisel bulanık sayılara dayalı çok amaçlı doğrusal olmayan programlama tekniği kullanılarak çözülmüştür.

Mohammed ve Wang (2017) makale çalışmalarında, et ürünleri dağıtım planlamasının geliştirilmesinde üç aşamalı yeşil tedarik zinciri ağı tasarımını ele almışlardır. Çalışmada, tesislerin maliyeti, talebi ve kapasite seviyeleri gibi çok sayıda belirsizlik altında bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model, bulanık hedef programlama ve ε-kısıtlama yöntemleri ile çözülmüştür.

Su (2017)'nun makale çalışmasında, toplam maliyeti, teslimat zamanını ve $CO_2$'i minimum yapan bir bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Hannan'nın parçalı doğrusal üyelik fonksiyonu kullanılarak optimal çözüme ulaşılmış ve sonuçlar tartışılmıştır.

**Çizelge 1.1.** BÇADP ve BÇADOP'nn doğrusal ve doğrusal olmayan üyelik fonksiyonları altında ele alındığı bazı çalışmalar

| Yazar | BÇADP | BÇADOP | Üyelik Fonksiyonu | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Doğrusal | Doğrusal Olmayan |
| Zimmermann (1978) | ✓ | | ✓ | |
| Sakawa (1985) | | ✓ | | ✓ |
| Sakawa ve Yano (1989) | | ✓ | | ✓ |
| Sakawa ve Yano (1994) | | ✓ | ✓ | |
| Fares ve Kaminska (1995) | | ✓ | | ✓ |
| Verma ve ark. (1997) | ✓ | | | ✓ |
| Chang ve Wei (2000) | | ✓ | ✓ | |
| Sasaki ve Gen (2003) | | ✓ | ✓ | |
| Wang ve Liang (2004) | ✓ | | ✓ | |
| Liang (2006) | ✓ | | ✓ | |
| Amid ve ark. (2006) | ✓ | | ✓ | |
| Zeng ve ark. (2010) | ✓ | | ✓ | |
| Shaw ve ark. (2012) | ✓ | | ✓ | |
| Kannan ve ark. (2013) | ✓ | | ✓ | |
| Cheng ve ark. (2013) | ✓ | | ✓ | |
| Wang ve ark. (2013) | | ✓ | | ✓ |
| Shirkouhi ve ark. (2013) | ✓ | | ✓ | |
| Azadeh ve ark. (2015) | ✓ | | ✓ | |
| Wang ve ark. (2016) | ✓ | | ✓ | |
| Maity ve Roy (2016) | | ✓ | ✓ | |
| Hu (2017) | ✓ | | | ✓ |
| Li ve ark. (2017) | | ✓ | ✓ | |
| Mohammed ve Wang (2017) | ✓ | | ✓ | |
| Su (2017) | ✓ | | ✓ | |

## 2. BULANIK KÜMELER

Klasik küme teorisi, Aristo tarafından geliştirilen batı felsefesini 2000 yıldan fazla etkilemiş olan ikili mantık sistemine dayalı bir teoridir. Klasik kümelerde belirsizlik yoktur ve kesinlik içeren durumları kapsar. Açıklamalar veya sonuçlar, doğru(1) ya da yanlış(0) olmak üzere ikili mantık sistemi ile değerlendirilmektedir. Hâlbuki gerçek hayat yalnız doğru ya da yalnız yanlış ifadelerinden ibaret değildir (Hansen, 1996). Bu nedenle, birçok uygulama probleminde, bir kümede kısmi üyeliğe sahip unsurlar klasik küme teorisi tarafından açıklanamamaktadır (Chen ve Pham, 2000).

Bulanık mantık, "hiç, çok, aşırı veya daha az, oldukça, biraz, vb." ile örneklendirilen ifadelerin anlamını temsil etmek için bir yöntem sağlamaktadır (Zadeh, 1988). Değerleri, kelimeler veya cümleler olan değişkenlere "dilsel değişken" adı verilmektedir. Dilsel değişken kavramına örnek olarak "yaş" değişkeni ele alınabilir. Yaş değişkeni, değerleri "çok genç, genç, orta yaşlı, yaşlı, çok yaşlı" gibi kelime değerleri alabilen dilsel bir değişkendir (Bojadziev ve Bojadziev, 2007).

Bulanık küme kavramı, ilk olarak Zadeh (1965) tarafından yayımlanan "Bulanık Kümeler" isimli makalede ortaya atılmıştır. Çalışmada, bulanık kümedeki belirsizliği gidermek ve tanımlamak için üyelik fonksiyonu kavramı ele alınmıştır.

Elemanları $x$ ile gösterilen evrensel küme $X$ olsun. $A \subseteq X$ olmak üzere $A$ klasik kümesinin karakteristik fonksiyonu,

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, x \in A \\ 0, x \notin A \end{cases} \tag{2.1}$$

biçiminde ifade edilmektedir ve $x$ elemanının $A$ klasik kümesine ait olma durumunu göstermektedir. $A$ klasik kümesine ilişkin üyelik derecesi $\mu_A(x)$'in değer kümesi $\{0,1\}$ 'dir. $\mu_A(x) = 0$ olması $x$ elemanın $A$ klasik kümesinin bir üyesi olmadığını, $\mu_A(x) = 1$ olması ise $x$ elemanının $A$ klasik kümesine tam üye olduğunu ifade etmektedir (Lai ve Hwang, 1992a)

$\mu_A(x)$'in değer kümesi $[0,1]$ aralığı olarak alındığında ise, $A$ bir bulanık kümedir ve $\tilde{A}$ olarak ifade edilmektedir. $\tilde{A}$ bulanık kümesi,

$$\tilde{A} = \left\{ x, \mu_{\tilde{A}}(x) \mid x \in X \right\} \tag{2.2}$$

şeklinde tanımlanır. $\tilde{A}$ bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu olarak tanımlanan $\mu_{\tilde{A}}(x)$, bulanık kümedeki elemanları [0,1] aralığındaki bir reel sayıya dönüştüren bir fonksiyondur. $\tilde{A}$ bulanık kümesi Zadeh (1972) tarafından,

$X$ 'in kesikli olması durumunda,

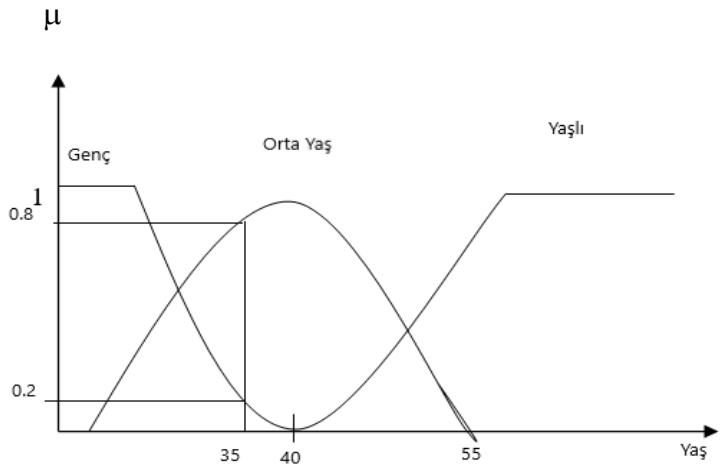
$$\tilde{A} = \mu_{\tilde{A}}(x_1)/x_1 + \mu_{\tilde{A}}(x_2)/x_2 + \ldots + \mu_{\tilde{A}}(x_n)/x_n = \sum_{i=1}^{n} \mu_{\tilde{A}}(x_i)/x_i \tag{2.3}$$

$X$ 'in sürekli olması durumunda,

$$\tilde{A} = \int_x \mu_{\tilde{A}}(x)/x \tag{2.4}$$

olarak da tanımlamıştır.

Şekil 2.1.'de yaş değişkenine ilişkin üyelik fonksiyonu gösterimi verilmiştir. Örneğin, 35 yaşında olan bir kişi 0.8 derecesinde orta yaş kümesinin üyesi iken, 0.2 derecesinde genç kümesinin üyesidir.




**Şekil.2.1.** Yaş değişkenine ilişkin üyelik fonksiyonu gösterimi

## 2.1. Bulanık Kümelerde Temel Kavramlar

Bu bölümde bulanık kümelere ilişkin bazı temel kavramlar ve tanımlar verilmiştir.

**Tanım 2.1. Destek:** $\tilde{A}$ bulanık kümesinin destek kümesi, üyelik derecesi 0'dan büyük olan , $X$ evrensel kümesinin bir alt kümesidir ve

$$S(\tilde{A}) = \left\{ x \in X \mid \mu_{\tilde{A}}(x) > 0 \right\} \tag{2.5}$$

biçiminde ifade edilir (Zimmermann, 2011).

**Tanım 2.2.** $\alpha$**-kesim kümesi:** $\tilde{A}$ bulanık kümesinin $\alpha$-kesim kümesi, üyelik dereceleri en az $\alpha$ olan elemanlardan oluşmaktadır ve

$$A_{\alpha} = \left\{ x \in X \mid \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha \right\} \tag{2.6}$$

biçiminde ifade edilir (Zimmermann, 2011).

**Tanım 2.3. Konvekslik:** $\tilde{A}$ bulanık kümesinin konveks (dışbükey) olabilmesi için,

$$\mu_{\tilde{A}}(\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2) \geq \min\left\{ \mu_{\tilde{A}}(x_1), \mu_{\tilde{A}}(x_2) \right\}, x_1, x_2 \in X, \lambda \in [0,1] \tag{2.7}$$

eşitsizliği sağlaması gerekmektedir (Zimmermann, 2011).

**Tanım 2.4. Normallik:** $\tilde{A}$ bulanık kümesi ancak ve ancak,

$$\sup_x \mu_{\tilde{A}}(x) = 1 \tag{2.8}$$

eşitliği sağlandığında normaldir (Lai ve Hwang, 1992a).

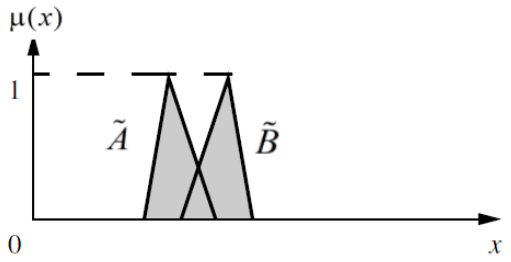
## 2.2. Bulanık Kümelerde Temel İşlemler

$X$ evrensel kümesinde tanımlı $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümeleri için $x \in X$ elemanı için birleşim, kesişim, tümleyen ve kapsama işlemleri aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır (Bellman ve Giertz, 1973)

**Tanım 2.5. Birleşim:** $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümelerinin birleşiminin üyelik fonksiyonu,

$$\mu_{\tilde{A}\cup\tilde{B}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x) \vee \mu_{\tilde{B}}(x) = \max(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)), x \in X \tag{2.9}$$

şeklinde tanımlanır ve Şekil 2.2'deki gibi gösterilmektedir.

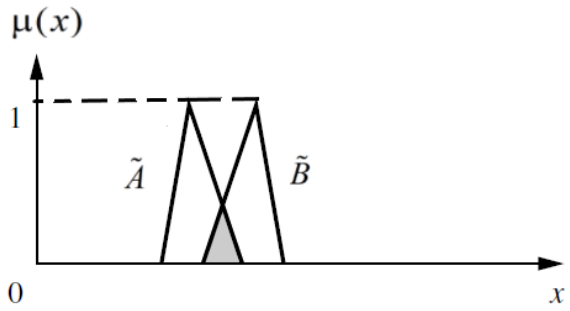



**Şekil 2.2.** $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümelerinin birleşimi

**Tanım 2.6. Kesişim:** $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümelerinin kesişimi,

$$\mu_{\tilde{A}\cap\tilde{B}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x) \wedge \mu_{\tilde{B}}(x) = \min(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)), x \in X \tag{2.10}$$

şeklinde tanımlanır ve Şekil 2.3'deki gibi gösterilmektedir.

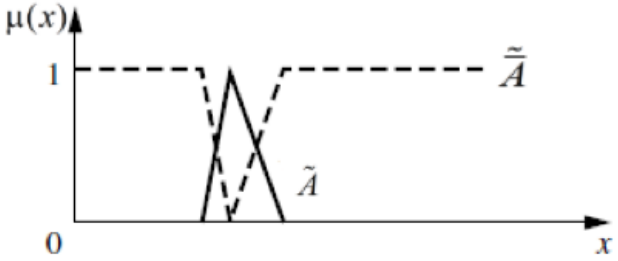



**Şekil 2.3.** $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümelerinin kesişimi

**Tanım 2.7. Tümleyen:** $\tilde{A}$ bulanık kümesinin tümleyeni,

$$\mu_{\bar{\tilde{A}}}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x), x \in X \tag{2.11}$$

şeklinde tanımlanır ve Şekil 2.4'deki gibi gösterilmektedir.




**Şekil 2.4.** Bulanık $\tilde{A}$ kümesinin tümleyeni

**Tanım 2.8. Kapsama:** $\tilde{A}$ **ve** $\tilde{B}$ bulanık kümelerinde $\tilde{A} \subseteq \tilde{B}$ ise,

$$\mu_{\tilde{A}}(x) \leq \mu_{\tilde{B}}(x), x \in X \tag{2.12}$$

şeklinde ifade edilmektedir (Ross, 2004).

## 2.3. Bulanık Sayılar

Bir bulanık sayı, $X$ evrensel kümesinde, dışbükey ve normal bir bulanık küme olarak tanımlanmaktadır (Bojadziev ve Bojadziev, 2007). Bulanık bir kümenin bulanık sayı olabilmesi için,

i) Normal olmalıdır,

ii) Her $\alpha$-kesimi $(0,1]$ aralığında kapalı bir aralık olmalıdır,

iii) Destek kümesi sınırlı olmalıdır (Cheng ve Lin, 2002).

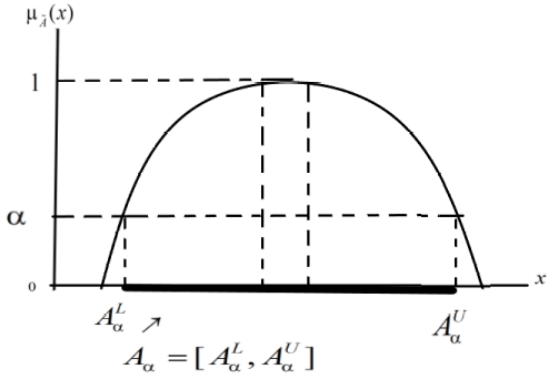
### 2.3.1. Bulanık Sayılar Üzerinde Aritmetik İşlemler

Bulanık sayılar üzerinde aritmetik işlemler üyelik fonksiyonları ya da $\alpha$-kesim yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Burada, $\alpha$-kesim yöntemine göre sırasıyla toplama, çıkarma, çarpma ve bölme işlemleri açıklanmış ve sayısal bir örnek üzerinde gösterilmiştir.

Bir $\tilde{A}$ bulanık kümesinin, $\alpha$-kesim kümesi $X$ evrensel kümesinin bir alt kümesidir ve

$$\tilde{A}_\alpha = \{x \mid \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha \text{ ve } x \in X\} \tag{2.13}$$

biçiminde ifade edilmektedir (Lai ve Hwang, 1992a).




**Şekil 2.5** $\alpha$-kesim kümesinin üyelik fonksiyonu

$\tilde{M}$ ve $\tilde{N}$ bulanık sayılarının $\alpha$-kesim kümeleri, $M_\alpha = \left[ m_\alpha{}^L, m_\alpha{}^U \right]$ ve $N_\alpha = \left[ n_\alpha{}^L, n_\alpha{}^U \right]$ olarak gösterilmektedir. Burada, $m_\alpha{}^L, m_\alpha{}^U, n_\alpha{}^L$ ve $n_\alpha{}^U \in R$ 'dir. $\tilde{M}$ bulanık kümesine ilişkin $\alpha$-kesim kümesinin alt sınırı $m_\alpha{}^L$, üst sınırı $m_\alpha{}^U$ ile gösterilmektedir. Benzer şekilde, $\tilde{N}$ bulanık kümesine ilişkin $\alpha$-kesim kümesinin alt sınırı $n_\alpha{}^L$, üst sınırı $n_\alpha{}^U$ ile gösterilmektedir (Lai ve Hwang, 1992a).

**Toplama işlemi:**

$$M_\alpha + N_\alpha = \left[ m_\alpha{}^L + n_\alpha{}^L, m_\alpha{}^U + n_\alpha{}^U \right] \tag{2.14}$$

**Çıkarma işlemi:**

$$M_\alpha - N_\alpha = \left[ m_\alpha{}^L - n_\alpha{}^U, m_\alpha{}^U - n_\alpha{}^L \right] \tag{2.15}$$

**Çarpma işlemi:**

$$M_\alpha \times N_\alpha = \left[ \min(m_\alpha{}^L.n_\alpha{}^L, m_\alpha{}^L.n_\alpha{}^U, m_\alpha{}^U.n_\alpha{}^L, m_\alpha{}^U.n_\alpha{}^U), \max(m_\alpha{}^L.n_\alpha{}^L, m_\alpha{}^L.n_\alpha{}^U, m_\alpha{}^U.n_\alpha{}^L, m_\alpha{}^U.n_\alpha{}^U) \right] \tag{2.16}$$

**Bölme işlemi:**

$$M_\alpha \div N_\alpha = \left[ \min(m_\alpha{}^L / n_\alpha{}^L, m_\alpha{}^L / n_\alpha{}^U, m_\alpha{}^U / n_\alpha{}^L, m_\alpha{}^U / n_\alpha{}^U), \max(m_\alpha{}^L / n_\alpha{}^L, m_\alpha{}^L / n_\alpha{}^U, m_\alpha{}^U / n_\alpha{}^L, m_\alpha{}^U / n_\alpha{}^U) \right] \tag{2.17}$$

Örneğin, $\tilde{M}$ ve $\tilde{N}$ bulanık sayılarının üyelik fonksiyonları,

$$\mu_M(m)=\begin{cases}0\,, & \text{m}<1 \text{ ya da m}>5\\ \dfrac{m-1}{2}, & 1\le \text{m}\le 3\\ \dfrac{(5-m)}{2}\,, & 3\le \text{m}\le 5\end{cases}$$

$$\mu_N(n)=\begin{cases}0\,, & \text{n}<9 \text{ ya da n}>17\\ \dfrac{(n-9)}{5}, & 9\le \text{n}\le 14\\ \dfrac{(17-n)}{3}, & 14\le \text{n}\le 17\end{cases}$$

biçiminde verilsin. $\alpha$-kesim yöntemine göre $\mu_{\tilde{M}}(m)\ge\alpha$ eşitsizliğinden,

$$\frac{m-1}{2}\ge\alpha \text{ ve } \frac{(5-m)}{2}\ge\alpha \Rightarrow 5-2\alpha\ge m\ge 2\alpha+1$$

olur. Böylece $\tilde{M}$ bulanık kümesi için $\alpha$-kesim kümesi,

$$M_\alpha=\left[m_\alpha{}^L, m_\alpha{}^U\right]=\left[2\alpha+1, 5-2\alpha\right]$$

olarak elde edilir.

Benzer şekilde $\alpha$-kesim yöntemine göre $\mu_{\tilde{N}}(n)\ge\alpha$ eşitsizliğinden,

$$\frac{(n-9)}{5}\ge\alpha \text{ ve } \frac{(17-n)}{3}\ge\alpha \Rightarrow 17-3\alpha\ge n\ge 5\alpha+9$$

olur. Böylece $\tilde{N}$ bulanık kümesi için $\alpha$-kesim kümesi,

$$N_\alpha=\left[n_\alpha{}^L, n_\alpha{}^U\right]=\left[5\alpha+9, 17-3\alpha\right]$$

olarak elde edilir.

$\tilde{M}$ ve $\tilde{N}$ bulanık sayılarının $\alpha$-kesim yöntemine göre toplama, çıkarma, çarpma, bölme işlemlerinin sonuçları,

$$M_\alpha + N_\alpha = \left[(2\alpha+1)+(5\alpha+9),(5-2\alpha)+(17-3\alpha)\right] = \left[7\alpha+10, 22-5\alpha\right]$$

$$M_\alpha - N_\alpha = \left[(2\alpha+1)-(17-3\alpha),(5-2\alpha)-(5\alpha+9)\right] = \left[5\alpha-16, 3\alpha-4\right]$$

$$M_\alpha \times N_\alpha = \begin{bmatrix} min((2\alpha+1).(5\alpha+9),(2\alpha+1).(17-3\alpha),(5-2\alpha).(5\alpha+9),(5-2\alpha).(17-3\alpha)), \\ \max((2\alpha+1).(5\alpha+9),(2\alpha+1).(17-3\alpha),(5-2\alpha).(5\alpha+9),(5-2\alpha).(17-3\alpha)) \end{bmatrix}$$

$$M_\alpha \div N_\alpha = \begin{bmatrix} min((2\alpha+1)/(5\alpha+9),(2\alpha+1)/(17-3\alpha),(5-2\alpha)/(5\alpha+9),(5-2\alpha)/(17-3\alpha)), \\ \max((2\alpha+1)/(5\alpha+9),(2\alpha+1)/(17-3\alpha),(5-2\alpha)/(5\alpha+9),(5-2\alpha)/(17-3\alpha)) \end{bmatrix}$$

olarak elde edilir. Burada $\alpha$'nın çeşitli değerleri için toplama, çıkarma, çarpma ve bölme işlemi sonuçları elde edilir. Örneğin, $\alpha = 0.6$ için,

$M_\alpha + N_\alpha =$ [14.20, 19.00]

$M_\alpha - N_\alpha =$ [-13.00, -2.20]

$M_\alpha \times N_\alpha =$ [26.40, 57.76]

$M_\alpha \div N_\alpha =$ [0.14, 0.31]

### 2.4. Bulanık Sayılarda Durulaştırma

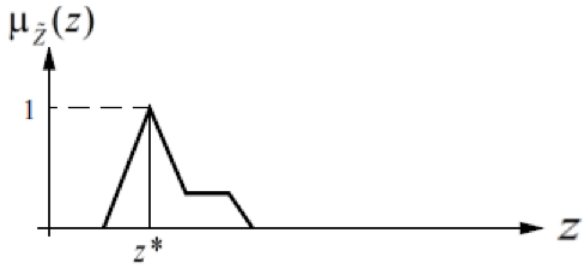
Durulaştırma, bulanık bir kümeyi veya bulanık bir sayıyı kesin değere dönüştürme işlemidir (Chiou ve ark., 2011). En çok kullanılan durulaştırma yöntemleri, en büyük üyelik ilkesi, alan merkezi yöntemi, ağırlıklı ortalama yöntemi ve ortalama en büyük üyelik yöntemi olarak verilebilir.

#### 2.4.1. En büyük üyelik ilkesi

Yükseklik metodu olarak da bilinen bu yöntem tek bir tepe fonksiyonu ile sınırlıdır ve matematiksel olarak

$$\mu_{\tilde{Z}}(z^*) \geq \mu_{\tilde{Z}}(z), z \in Z \qquad (2.18)$$

biçiminde gösterilmektedir (Ross, 2004). Burada, $z$ bulanık değişkenin durulaştırılması sonucu elde edilen kesin değer $z*$'dır ve Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



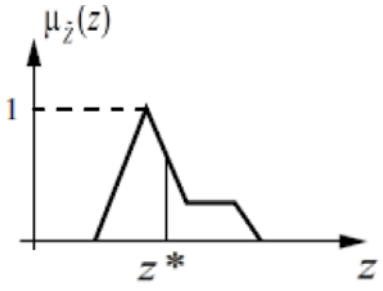

**Şekil 2.6.** En büyük üyelik ilkesine göre durulaştırma

### 2.4.2. Alan Merkezi Yöntemi

Alan merkezi yöntemi, sıklıkla kullanılan durulaştırma yöntemlerden biridir. Ağırlık merkezine dayalı yöntemin matematiksel gösterimi,

$$z^* = \frac{\int z\mu_{\tilde{C}}(z)dz}{\int \mu_{\tilde{C}}(z)dz} \tag{2.19}$$

olarak verilir ve grafiksel olarak Şekil 2.7'de gösterilmiştir (Jager, 1995).




**Şekil 2.7.** Alan merkezi yöntemine göre durulaştırma

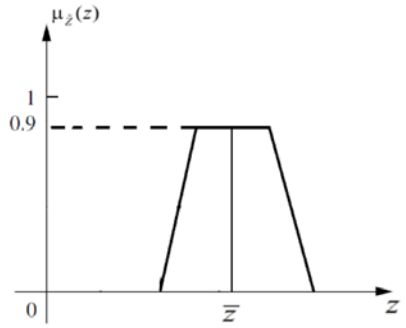
### 2.4.3. Ağırlıklı ortalama yöntemi

Ağırlıklı ortalama yöntemi bulanık uygulamalarda en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Ancak, ağırlıklı ortalama yöntemi ile durulaştırma yapılabilmesi

için üyelik fonksiyonlarının simetrik olması gerekmektedir (Ross, 2004). Bulanık $z$ sayısına ilişkin durulaştırılmış değer,

$$z^* = \frac{\sum \overline{z}\mu(\overline{z})}{\sum \mu(\overline{z})} \tag{2.20}$$

olarak gösterilmektedir. Burada, $\overline{z}$, $z$ değişkeninin ortalamasıdır. Şekil 2.8'de, bulanık $z$ sayısına ilişkin ağırlıklı ortalama yöntemine göre elde edilen durulaştırılmış değer gösterilmiştir.



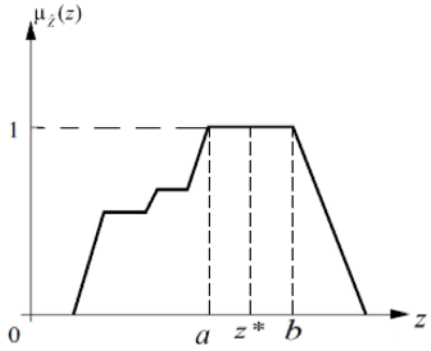

**Şekil 2.8.** Ağırlıklı ortalama yöntemine göre durulaştırma

### 2.4.4. Ortalama en büyük üyelik yöntemi

Ortalama en büyük üyelik yöntemi, en büyük üyelik ilkesi yöntemi ile yakından ilgilidir. Bu yöntemde, maksimum üyelik birden fazla nokta tarafından gerçekleştirilmektedir (Ross, 2004). Ortalama en büyük üyelik yöntemine göre durulaştırma işlemi matematiksel olarak,

$$z^* = \frac{a+b}{2} \tag{2.21}$$

olarak ifade edilmektedir. Burada, $a$ ve $b$ değerleri en büyük üyelik derecesini sağlayan aralıktır. Şekil 2.9.'da ortalama en büyük üyelik yöntemine göre elde edilen durulaştırılmış değer gösterilmiştir.




**Şekil 2.9.** Ortalama en büyük üyelik yöntemine göre durulaştırma (Ross, 2004)

## 2.5. Üyelik Fonksiyonları

Üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{A}}(x)$, $X$ evrensel kümesine ait bir $x$ elemanının $\tilde{A}$ bulanık kümesine ait olma derecesini gösteren ve $x$ elemanını $[0,1]$ aralığındaki reel bir değere dönüştüren bir fonksiyondur ve

$$\mu_{\tilde{A}}(x): X \to [0,1] \tag{2.22}$$

olarak ifade edilir.

Üyelik derecesinin 0 olması $x$ elemanının kümeye üye olmadığını, 1 olması ise kümeye tam üye olduğunu ifade etmektedir (Zadeh, 1996).

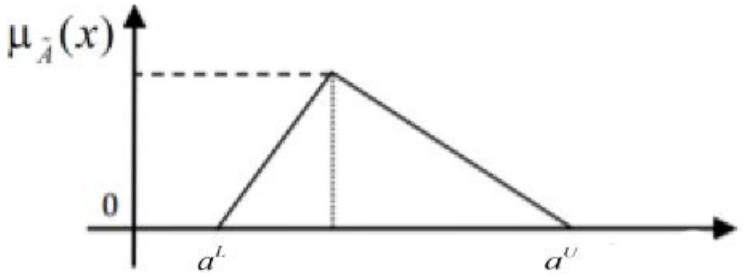
Literatürde, doğrusal ve doğrusal olmayan yapıda birçok üyelik fonksiyonu mevcuttur. Bu kesimde, doğrusal üyelik fonksiyonlarından üçgensel, doğrusal olmayan üyelik fonksiyonlarından ise hiperbolik ve üstel üyelik fonksiyonları ele alınacaktır.

### 2.5.1. Üçgensel Üyelik Fonksiyonu

$\tilde{A}$ bir bulanık küme olmak üzere, üçgensel üyelik fonksiyonu

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \frac{x - a^L}{a^U - a^L} \tag{2.23}$$

eşitliği ile ifade edilmektedir. Burada, $\tilde{A}$ bulanık kümesinin alt sınırı $a^L$, üst sınırı ise $a^U$ ile gösterilmektedir (Yang ve ark., 1991). Şekil 2.10.'da üçgensel üyelik fonksiyonu gösterilmiştir.




**Şekil 2.10.** Üçgensel üyelik fonksiyonu

### 2.5.2. Hiperbolik üyelik fonksiyonu

$\tilde{A}$ bulanık kümesine ilişkin hiperbolik üyelik fonksiyonu,

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \frac{1}{2}\tanh\left(\frac{a^U + a^L}{2} - x\right)\alpha_i + \frac{1}{2} \tag{2.24}$$

olarak ifade edilir. Burada, $\alpha_i = \frac{6}{a^U - a^L}$'dır (Bit, 2004).

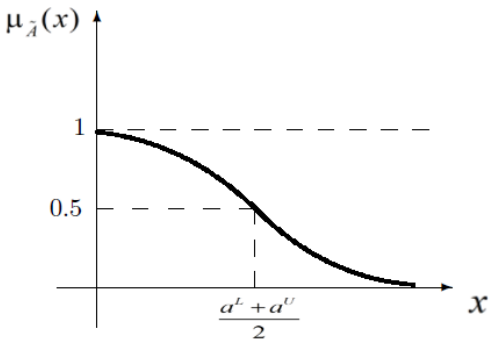
Hiperbolik üyelik fonksiyonu,

i) Kesinlikle azalan,

ii) $x \le \frac{a^U + a^L}{2}$ için içbükey,

iii) $x = \frac{a^U + a^L}{2}$ için $\mu_i^H$=0.5,

iv) $x \ge \frac{a^U + a^L}{2}$ için dışbükey bir fonksiyondur (Bit, 2004). Şekil 2.11.'de hiperbolik üyelik fonksiyonu gösterilmiştir.



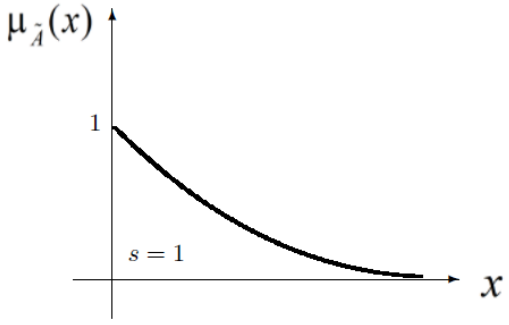

**Şekil 2.11.** Hiperbolik üyelik fonksiyonu

### 2.5.3. Üstel üyelik fonksiyonu

$\tilde{A}$ bulanık kümesine ilişkin üstel üyelik fonksiyonu,

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \frac{e^{-s\psi(x)} - e^{-s}}{1 - e^{-s}} \tag{2.25}$$

biçiminde ifade edilmektedir. Burada, $\psi(x) = \frac{x - a^L}{a^U - a^L}$ ve $s$; karar verici tarafından tanımlanan bir parametredir (Verma ve ark., 1997). Şekil 2.11.'de üstel üyelik fonksiyonu gösterilmiştir.




**Şekil 2.11.** Üstel üyelik fonksiyonu

# 3. BULANIK ÇOK AMAÇLI PROGRAMLAMA

Gerçek hayat problemleri, tek bir amaç fonksiyonundan oluşabildiği gibi birden fazla amaç fonksiyonundan da oluşabilmektedir. Bu tür problemler, çok amaçlı programlama problemleri olarak ele alınmakta ve çok amaçlı programlama yöntemleri ile çözülebilmektedir.

Çok amaçlı programlama problemleri için bulanık programlama yaklaşımı ilk olarak Zimmermann (1978) tarafından tanıtılmış ve daha sonra Leberling (1981) ve Hannan (1981) tarafından genişletilmiştir (Sakawa ve Yano, 1985).

Bulanık çok amaçlı programlama problemleri, amaç fonksiyonları ya da içerdikleri kısıtların yapısı nedeniyle doğrusal ve doğrusal olmayan olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bellman ve Zadeh (1970) tarafından önerilen bulanık çok amaçlı karar verme problemi modeli, Sakawa (1983) tarafından doğrusal ve doğrusal olmayan beş farklı üyelik fonksiyonu için genişletmiştir. Sakawa (1983) tarafından genişletilen farklı üyelik fonksiyonları, çok amaçlı doğrusal olmayan programlama problemlerinin çözümü için uygulanmıştır.

## 3.1. Bulanık Çok Amaçlı Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Programlama

Gerçek dünya karar problemlerinde bir karar verici, probleme ilişkin katsayıların veya parametrelerin kesin değerlerini daima bilemez ve belirsizlikler yer alır. Bu durumda, karar verici bulanık parametreler aracılığıyla problemi eksiksiz olarak modelleyebilmektedir (Sakawa, 2013). Bulanık doğrusal programlama yaklaşımı, Zimmermann (1978) tarafından çok amaçlı doğrusal programlama problemleri için genişletilmiştir.

Tanaka ve ark. (1973), bulanık doğrusal olmayan programlama problemlerini çözmek için bir yöntem önermişlerdir (Jayalakshmi, 2016). Sakawa ve ark. (1984) çok amaçlı doğrusal olmayan programlama problemlerini ele alabilmek için Tanaka ve ark. (1973)'na dayalı bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan programlama yaklaşımını önermiştir (Sakawa, 2013).

Bulanık çok amaçlı programlama problemlerinin genel gösterimi,

$$Min\ Z_i(x) \cong \left(Z_1(x), Z_2(x), ..., Z_k(x)\right)^T \tag{3.1}$$

$$g_j(x) \le 0, \quad j = 1,...,m$$

biçimindedir. Burada,

$Z_i(x)$: $i.$ amaç fonksiyonunu $(i = 1,..,k)$

$x$: karar değişkenlerini,

$g_j(x)$: eşitsizlik kısıtlarını $(j = 1,..,m)$

göstermektedir (Sakawa, 2013).

Eşitlik (3.1)'de verilen bulanık çok amaçlı programlama (BÇAP) modelinde amaç fonksiyonları ve kısıtlar doğrusal yapıda olduğunda bulanık çok amaçlı doğrusal programlama problemi (BÇADP), amaç fonksiyonları ve/veya kısıtların en az birinde doğrusal olmayan yapı olması durumunda ise bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan programlama (BÇADOP) problemi adını almaktadır.

### 3.2. Bulanık Çok Amaçlı Programlama Problemleri için Çözüm Yöntemleri

Bulanık çok amaçlı programlama problemlerinin çözümüne yönelik olarak geliştirilen bazı yöntemler, Zimmermann (1978)'ın Min-Max yaklaşımı, Liang ve Cheng (2009)'in bulanık çok amaçlı yaklaşımı ve Torabi ve Hassini (2008)'nin bulanık çok amaçlı yaklaşımı olarak verilebilir. Bu tez çalışmasında, bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan programlama problemi ele alınmış ve çözüm aşamasında Zimmermann (1978)'ın Min-Max yaklaşımı kullanılmıştır.

Eşitlik (3.1)'de verilen bulanık çok amaçlı programlama probleminin Zimmermann (1978)'ın Min-Max yöntemi ile çözümü aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

**Adım 1.** Eşitlik (3.1)'de verilen bulanık çok amaçlı programlama modeli oluşturulur.

**Adım 2.** Her bir amaç fonksiyonu aynı kısıtlar altında ayrı ayrı çözülerek optimal çözümler elde edilir. Elde edilen optimal çözümler, diğer amaç fonksiyonlarında yerine konur ve amaç fonksiyonu değerleri hesaplanır. Hesaplanan bu amaç fonksiyonu değerleri yardımıyla ödünleşim (pay-off) tablosu oluşturulur. Ödünleşim tablosunda, her bir amaç fonksiyonu için en düşük ($Z_i^L$) ve en yüksek ($Z_i^U$) değerler belirlenir. Eşitlik (3.1)'de verilen BÇAP modelinin genel gösterimine ilişkin ödünleşim tablosu, Çizelge 3.1.'de verilmiştir (Veeramani ve ark., 2011).

**Çizelge 3.1.** Ödünleşim tablosu

| **Min** | $Z_1(\mathrm{x})$ | $Z_2(\mathrm{x})$ | **...** | $Z_k(x)$ |
|---|---|---|---|---|
| $Z_1(x)$ | $Z_{11}$ | $Z_{12}$ | ... | $Z_{1k}$ |
| $Z_2(x)$ | $Z_{21}$ | $Z_{22}$ | ... | $Z_{2k}$ |
| . | . | . | | . |
| . | . | . | | . |
| $Z_k(x)$ | $Z_{k1}$ | $Z_{k2}$ | ... | $Z_{kk}$ |
| $Z_i^L$ | $Z_1^L$ | $Z_2^L$ | … | $Z_k^L$ |
| $Z_i^U$ | $Z_1^U$ | $Z_2^U$ | … | $Z_k^U$ |

**Adım 3.** Her bir amaç fonksiyonu için oluşturulan üyelik fonksiyonu $\mu_i(Z_i(x))$, Çizelge 3.1'de verilen $Z_i^L$ ve $Z_i^U$ değerlerinden yararlanarak elde edilmektedir (Liang ve Cheng, 2009). Her bir amaç fonksiyonuna ilişkin üyelik fonksiyonları, Eşitlik (3.1)'de verilen modele kısıtlar olarak eklenir ve tüm amaç fonksiyonları için ortak tatmin seviyesini gösteren $\lambda$ değişkeni yardımı ile

$$
\begin{aligned}
&Max\ \lambda \\
&\lambda \le \mu_i\left(Z_i(x)\right) \quad , i = 1,2,...,m \\
&g_j(x) \le 0, \ \ j = 1,...,m \\
&\mathrm{x} \ge 0 \\
&\lambda \in [0,1]
\end{aligned}
\tag{3.2}
$$

biçiminde verilen tek amaçlı programlama modeline dönüştürülür.

**Adım 4.** Eşitlik (3.2)'de verilen tek amaçlı programlama modelinin çözümü sonucunda optimal çözümler elde edilir (Chakraborty ve ark., 2013)

### 3.2.1. Üçgensel Üyelik Fonksiyonu Altında Zimmermann'ın Min-Max Yaklaşımı ile Çözüm

Eşitlik (3.2)'de verilen problemde ele alınan amaç fonksiyonları minimizasyon biçiminde ise üçgensel üyelik fonksiyonu,

$$\mu_i\left(Z_i(x)\right)=\begin{cases}1\ , & Z_i(x)\le Z_i^{L}\\ \dfrac{Z_i^{U}-Z_i(x)}{Z_i^{U}-Z_i^{L}}\ , & Z_i^{L}\le Z_i(x)\le Z_i^{U}\\ 0\ , & Z_i(x)\le Z_i^{U}\end{cases} \tag{3.3}$$

olarak ve amaç fonksiyonları maksimizasyon biçiminde ise,

$$\mu_i\left(Z_i(x)\right)=\begin{cases}1\ , & Z_i(x)\le Z_i^{L}\\ \dfrac{Z_i(x)-Z_i^{L}}{Z_i^{U}-Z_i^{L}}, & Z_i^{L}\le Z_i(x)\le Z_i^{U}\\ 0\ , & Z_i(x)\le Z_i^{U}\end{cases} \tag{3.4}$$

olarak ifade edilir.

Amaç fonksiyonlarına ilişkin üçgensel üyelik fonksiyonları yardımıyla Eşitlik (3.2)'de verilen model,

$$\begin{aligned}&Max\ \lambda\\ &\lambda\le\frac{Z_i^{U}-Z_i(x)}{Z_i^{U}-Z_i^{L}}\ ,i=1,2,...,k\\ &g_j(x)\le 0,\ \ j=1,...,m\\ &x\ge 0\\ &\lambda\in[0,1]\end{aligned} \tag{3.5}$$

olarak verilen tek amaçlı programlama problemine dönüşür. Eşitlik (3.5)'te verilen problemin çözümü sonucunda elde edilen optimal çözüm, en yüksek ortak tatmin seviyesi $\lambda$'yı veren çözümdür (Sakawa, 2013).

### 3.2.2. Hiperbolik Üyelik Fonksiyonu Altında Zimmermann'ın Min-Max Yaklaşımı ile Çözüm

Eşitlik (3.2)'de verilen modelde ele alınan hiperbolik üyelik fonksiyonu,

$$\mu_i^H(Z_i(x)) = \begin{cases} 1, & Z_i(x) \le Z_i^L \\ \frac{1}{2}\tanh\left(\frac{Z_i^U + Z_i^L}{2} - Z_i\right)\alpha_i + \frac{1}{2}, & Z_i^L \le Z_i(x) \le Z_i^U \\ 0, & Z_i(x) \ge Z_i^U \end{cases} \tag{3.6}$$

olarak ele alınır. Burada, $\alpha_i = \frac{6}{Z_i^U - Z_i^L}$'dır.

Eşitlik (3.6)'da verilen hiperbolik üyelik fonksiyonunun Eşitlik (3.2)'deki modelde yerine konmasıyla,

$$Max\ \lambda$$

$$\lambda - \frac{1}{2}\tanh\left(\frac{Z_i^U + Z_i^L}{2} - Z_i(x)\right)\alpha_i \le \frac{1}{2} \qquad , i = 1,2,...,k \tag{3.7}$$

$$g_j(x) \le 0,\ \ j = 1,...,m$$

$$\lambda \in [0,1]$$

elde edilir. Eşitlik (3.7)'de verilen bu bulanık tek amaçlı doğrusal olmayan programlama modeli,

$$Max\ \lambda$$

$$\tanh\left(\frac{Z_i^U + Z_i^L}{2} - Z_i(x)\right)\alpha_i \ge 2\lambda - 1 \quad , i = 1,2,...,k \tag{3.8}$$

$$g_j(x) \le 0,\ \ j = 1,...,m$$

$$\lambda \in [0,1]$$

olarak da ifade edilmektedir (Leberling, 1981). Eşitlik (3.8)'de verilen modelde gerekli düzenlemeler yapıldığında,

*Max* $\lambda$

$$\left(\frac{Z_i^U + Z_i^L}{2} - Z_i(x)\right)\alpha_i \geq \tanh^{-1}(2\lambda - 1), \quad i = 1, 2, ..., k \tag{3.9}$$

$$g_j(x) \leq 0, \ \ j = 1, ..., m$$

$$\lambda \in [0,1]$$

elde edilir.

Eşitlik (3.9)'da verilen problemin çözülebilmesi için öncelikle doğrusal yapıya dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu nedenle yardımcı değişken olarak $y = \tanh^{-1}(2\lambda - 1)$ değişkeni tanımlanır ve model,

*Max* $\lambda$

$$\left(\frac{Z_i^U + Z_i^L}{2}\right)\alpha_i - \alpha_i Z_i(x) \geq y \quad , \ i = 1, 2, ..., k \tag{3.10}$$

$$g_j(x) \leq 0, \ \ j = 1, ..., m$$

$$y \geq 0$$

$$\lambda \in [0,1]$$

olarak verilen tek amaçlı doğrusal programlama modeline dönüştürülür. Eşitlik (3.10)'da $\lambda = \frac{\tanh(y)}{2} + 0.5$ olduğundan model,

*Max* $y$

$$\alpha_i Z_i(x) + y \leq \left(\frac{Z_i^U + Z_i^L}{2}\right)\alpha_i \quad , \ i = 1, 2, ..., k \tag{3.11}$$

$$g_j(x) \leq 0, \ \ j = 1, ..., m$$

$$y \geq 0$$

$$\lambda \in [0,1]$$

biçiminde gösterilmektedir. Hesaplanan yardımcı değişken $y$'nin değerine göre, ortak tatmin seviyesi $\lambda = \frac{\tanh(y)}{2} + 0.5$ olarak belirlenir. Bulunan ortak tatmin seviyesi $\lambda$, tüm amaç fonksiyonlarının ne derecede sağlandığını göstermektedir (Bit, 2004).

### 3.2.3. Üstel Üyelik Fonksiyonu Altında Zimmermann'ın Min-Max Yaklaşımı ile Çözüm

Eşitlik (3.2)'de verilen modelde ele alınan üstel üyelik fonksiyonu,

$$\mu_i(Z_i(x)) = \begin{cases} 1 \quad , & Z_i(x) \le Z_i^L \\ \dfrac{e^{-s\psi_i(x)} - e^{-s}}{1 - e^{-s}}, & Z_i^L \le Z_i(x) \le Z_i^U \\ 0 \quad , & Z_i(x) \ge Z_i^U \end{cases} \qquad , i = 1, 2, ..., k \tag{3.12}$$

olarak tanımlanmaktadır (Verma ve ark., 1997). Burada, $\psi_i(x) = \frac{Z_i(x) - Z_i^L}{Z_i^U - Z_i^L}$ ve $s$, karar verici tarafından tanımlanan bir parametredir.

Eşitlik (3.12)'de verilen üstel üyelik fonksiyonu Eşitlik (3.2) 'de yerine konduğunda,

$$Max\ \lambda \tag{3.13}$$

$$\lambda \le \frac{e^{-s\psi_i(x)} - e^{-s}}{1 - e^{-s}} \qquad , i = 1, 2, ..., k$$

$$g_j(x) \le 0, \quad j = 1, ..., m$$

$$x_i \ge 0$$

$$\lambda \in [0,1]$$

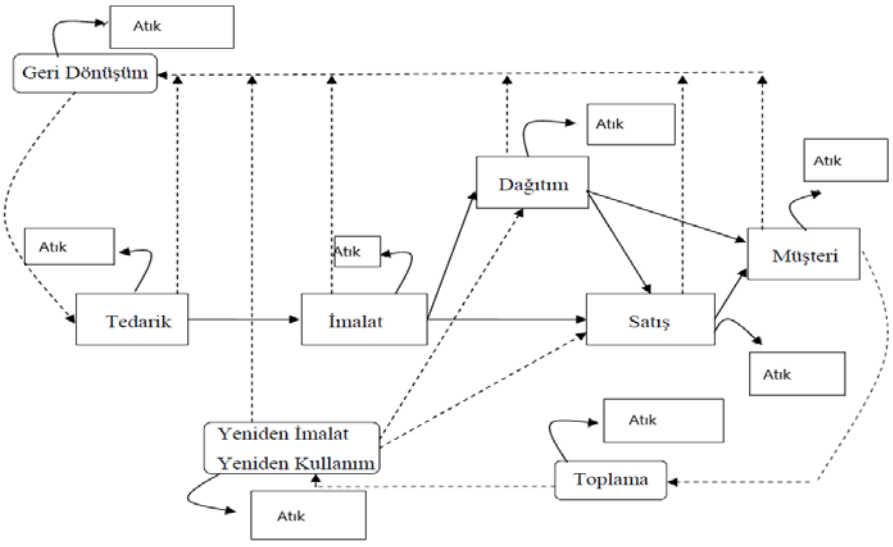
olarak verilen tek amaçlı doğrusal olmayan programlama problemi elde edilmektedir. Eşitlik (3.13)'de verilen problemin çözülmesiyle, en yüksek tatmin seviyesi $\lambda$'ya sahip optimal çözümler elde edilir.

# 4. YEŞİL TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

Tedarik zinciri yönetimi, ürünlerin elde edilmesi, bu ürünlerin ara ve bitmiş mallara dönüştürülmesi ve bu bitmiş malların müşterilere dağıtılması işlevlerinin yerine getirilmesi olarak açıklanmaktadır (Janvier-James, 2012).

Kişiler ve kurumlar 1980'lerden itibaren lojistik hizmetlerinden kaynaklanan çevresel sorunlara dikkat etmeye başlamışlardır. Yeşil tedarik zinciri kavramı, modern lojistik yönetimi ve tedarik zinciri yönetiminin gelişmesi ile birlikte ortaya çıkmıştır (Chunguang ve ark., 2008). Yeşil tedarik zinciri kavramı, 1996 yılında Michigan Üniversitesi Araştırma Topluluğu tarafından tedarik zincirindeki çevresel etkileri ve kaynak kullanımını değerlendirmek amacıyla tanıtılmıştır (Zhang, 2005).

Yeşil tedarik zinciri yönetimi (YTZY), hem çevre yönetimi hem de tedarik zinciri yönetimi literatürüne dayalıdır. Tedarik zincirine "yeşil" sıfatının eklenmesi, tedarik zinciri yönetimi ile doğal çevre arasındaki etkiyi ve ilişkilerin ele alınması anlamına gelmektedir (Srivastava, 2007). Yeşil tedarik zinciri yönetimi, çevreci düşüncenin tedarik zinciri yönetimine entegre edilmesidir. YTZY, ürün tasarımı, malzeme temini ve seçimi, imalat süreci, son ürün teslimatı, ürün ömrünün sonlandırılması gibi tedarik zinciri süreçlerinde ortaya çıkan tehlikeli kimyasal, emisyon, enerji ve katı atıkların en aza indirgenmesini veya ortadan kaldırılmasını amaçlamaktadır (Chin ve ark., 2015). Şekil 4.1'de, temel bir yeşil tedarik zinciri yapısı gösterilmektedir (Beamon, 1999).



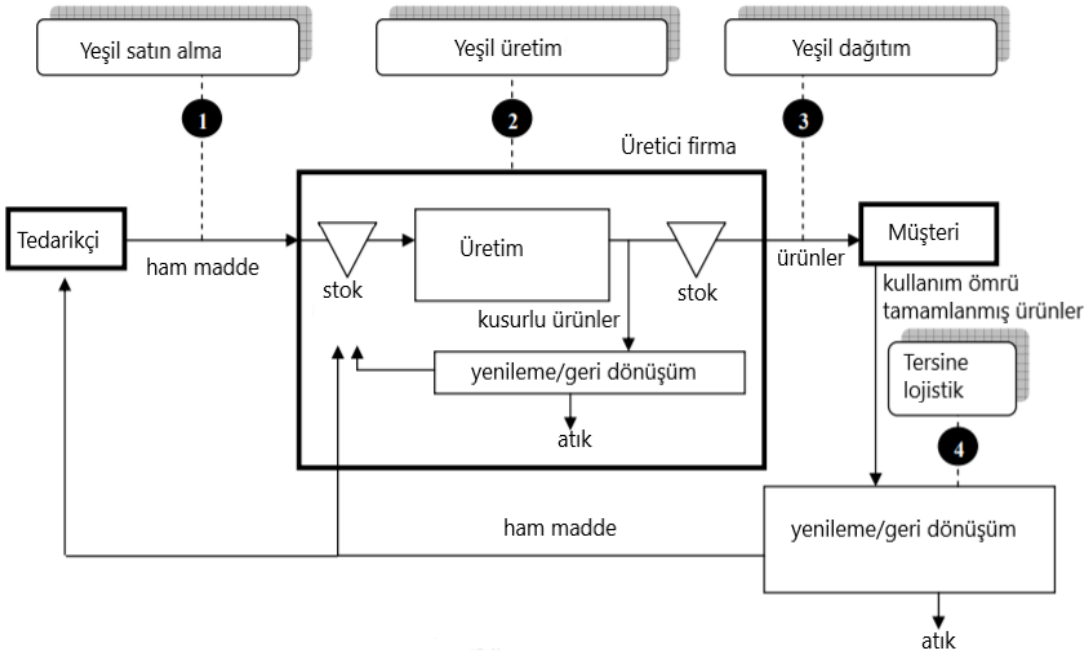

**Şekil 4.1.** Yeşil tedarik zinciri yapısı

Yeşil tedarik zinciri faaliyetleri, işletmenin tedarikçi seçimi ile başlamakta ve sonrasında ürün ya da ürünlerin müşterilere ulaştırılmasıyla devam etmektedir. Son aşamada ise, ömrünü tamamlamış ürünler geri dönüşüme gönderilerek yeniden kullanıma dahil edilerek süreç tamamlanmaktadır. YTYZ uygulanarak, hammaddeden tedarik, üretim, paketleme, nakliye, dağıtım ve tüketime kadar tüm aşamalarda yer alan kirletici maddeler en aza indirgenebilir ve kaynak israfı minimum yapılabilir (Chunguang ve ark., 2008). YTZY, yeşil satın alma, yeşil üretim, yeşil dağıtım ve tersine lojistik uygulamaları ile birlikte ele alınmalıdır ve Şekil 4.2'de verildiği gibi özetlenmektedir (Ninlawan ve ark., 2010).




**Şekil 4.2.** Yeşil tedarik zinciri yönetimi

Yeşil tedarik zinciri yönetiminde yer alan uygulamalar, Şekil 4.3'te ayrıntılı biçimde gösterilmiştir (Ninlawan ve ark., 2010).




**Şekil 4.3.** Yeşil tedarik yönetimindeki uygulamalar

***Yeşil Satın Alma Uygulamaları***

Yeşil satın alma, satın alma fonksiyonunun geri dönüşüm, yeniden kullanım ve kaynak azaltmayı kolaylaştıran tedarik zinciri yönetimi faaliyetlerine dahil edilmesidir (Yen ve Yen, 2012). 1992 yılında Dünya Zirvesi'ndeki Rio Deklarasyonunda üretim prensiplerine yeşil satın alımlar dahil edilmiştir (Ho ve ark., 2010). Yeşil satın alma, YTZY'nin etkinliği için oldukça önemlidir. Bu uygulama, çevre denetimi ve tedarikçilerin çevre sertifikalarının değerlendirilmesi gibi girişimlerle gerçekleştirilmektedir (de Paula Alvarenga ve ark., 2013).

Başarılı yeşil satın alma uygulamalarından birisi, satın alma firmasının satın alınan ürünün kullanım ömrünün tamamlandıktan sonra büyük bir kısmını geri dönüştürerek hammadde kullanımını azaltmayı amaçlamasıdır. Örneğin, Wal Mart firması, tüketicileri için geri dönüşümlü motor yağı değişimi sağlayarak ve ardından her yıl yaklaşık 200 milyon galon kullanılmış motor yağı elde ederek çok yüksek ekonomik fayda elde etmiştir (Min ve Galle, 2001).

***Yeşil Üretim Uygulamaları***

Yeşil üretim, nispeten düşük çevresel etkiye sahip hammaddeleri kullanan, yüksek derecede verimli, az atık üreten ya da hiç atık üretmeyen üretim süreçleri olarak tanımlanmaktadır (Ninlawan ve ark., 2010). Yeşil üretim, çevresel açıdan sağlıklı ürünler ile müşteri taleplerinin karşılanması, geri dönüşüm planlarının geliştirilmesi, malzeme kullanımının en aza indirilmesi ve düşük çevresel etkiye sahip malzeme seçimini kapsamaktadır (Johansson ve Winroth, 2009).

Yeşil üretim genel olarak,

i) Geri dönüşüm,
ii) Atıktan kaynağa, örneğin Biomass Pelet yakıt,
iii) Doğada çözünebilen malzemeler,
iv) Alternatif enerji, örneğin rüzgar ve güneş,
v) Enerji verimliliği, örneğin, LEED ve otomatik kapılar alanları ile ilgilidir (Jian, 2013).

Yeşil üretimin faydalarından bazıları ise,

i) Üretim döngülerindeki malzeme atıklarının kontrol edilmesi ve azaltılması,
ii) Sermayenin korunması ve para tasarrufunun sağlanması,

iii) Üretkenliği arttırılması ve maliyet tasarrufunun arttırılması olarak verilmektedir.

Yeşil üretime örnek olarak, ayakkabı şirketleri arasında kendisini yeşil olarak pazarlayan ilk firma olan Nike verilebilir. Nike firması, israfı azalttığını ve çevre dostu malzemeler kullandığını vurgulamak için Air Jordan ayakkabılarını tasarlamıştır. Bu ayakkabıların özelliği, zararlı tutkal ve yapıştırıcı kullanımının önemli ölçüde azaltılarak üretilmiş olmasıdır (Singh, 2013).

***Yeşil Dağıtım Uygulamaları***

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli raporuna göre, dünyadaki enerji israfı ve $CO_2$ emisyonu konusunda harekete geçilmezse bu yüzyıl içerisinde, dünyanın ortalama sıcaklığı 1,4°C dereceden 5,8°C dereceye yükselecektir (Trappey ve ark., 2012).

Düşük maliyeti, yüksek esnekliği ve daha hızlı olmasından dolayı şirketler, karayolu taşımacılığına yönelmektedirler. Taşımacılık sektöründe karayolu taşımacılığı, tek başına toplam $CO_2$ emisyonlarının yaklaşık %40'ını oluşturmaktadır. Bu nedenle, şirketler açısından yeşil dağıtım uygulamaları zorunlu bir görev haline gelmiştir (Salimifard ve ark., 2012).

Yeşil dağıtım uygulamaları, yeşil ambalaj ve yeşil lojistikten oluşmaktadır. Boyut, şekil ve malzeme gibi ambalajlama özellikleri dağıtım üzerinde etkilidir. Yeniden düzenlenmiş yükleme düzenleriyle daha iyi paketleme yapılarak depodaki alan kullanımını artırabilmekte ve gereken taşıma miktarı azaltılabilmektedir (Chunguang ve ark., 2008).

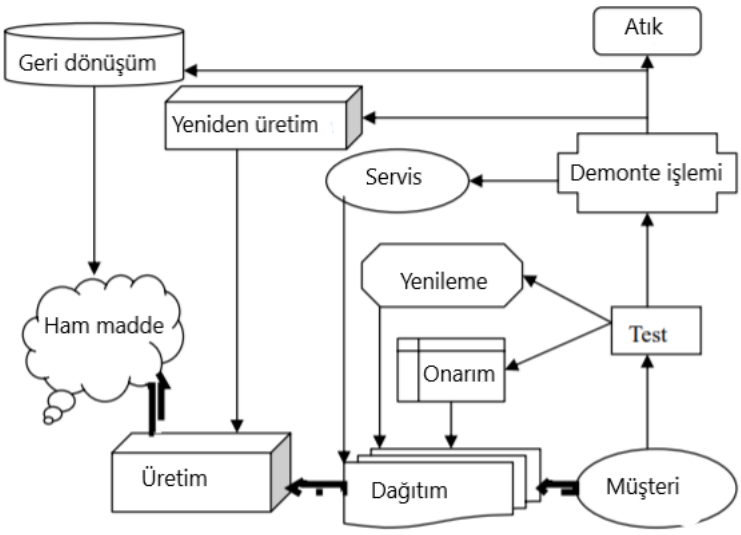
Karayolu taşımacılığı sektöründe en uygun maliyetli yakıt koruma ve buna bağlı olarak $CO_2$ emisyonunu azaltma önlemlerinden birisi, sürücü eğitimidir. Bu eğitimden uzun vadede fayda elde edebilmek için, şirketler genellikle sürücülerin sürüş performansını yakından takip etmek ve sürücülere yakıtı verimli bir şekilde kullanmaları için teşvikler vermek zorundadırlar (McKinnon, 2010). Yeşil lojistik adına yapılan bir diğer faaliyet ise, en uygun rotayı belirlemektir. Özellikle karayolu taşımacılığında yakıt tasarrufu ve buna bağlı olarak $CO_2$ emisyonunun azaltılması için en kısa ve en uygun rotanın belirlenmesi oldukça önemlidir (Salimifard ve ark., 2012). Daha maliyetli olsa da teknolojik yeniliklerden ve yöntemlerden yararlanmak $CO_2$ emisyonunu azaltma konusunda yüksek verim

sağlamaktadır. Örneğin, Amerikalı perakende satış mağazalar zinciri Wal-Mart firması, 2005 yılında kamyon filosunun verimliliğini 2015 yılına kadar iki katına çıkarmak için bir hedef sunmuştur. Wal-Mart'ın bu hedefe yönelik ilk adımı, 7.000 yardımcı güç ünitesi (APU) satın alıp uzun mesafe yapan kamyonlarına takmak olmuştur. Firma, yardımcı güç üniteleri sayesinde yıllık yakıt maliyetlerinde 25 milyon $ tasarruf etmiş ve filo verimliliğini iki kat yükselterek meydana gelecek 13 milyon tonluk $CO_2$ emisyonunu önlenmiştir (Gereffi ve ark., 2008). Firmaların/şirketlerin bu tür hedefler belirlemesi, enerji tasarrufuna ve doğanın korunmasına olduğu gibi ekonomiye de olumlu yönde katkıda bulunmaktadır. Örneğin, Amerika'da 2015 yılındaki toplam enerji tüketimi 2008 yılına göre % 2,5 oranında daha düşük iken ekonomisi % 10 büyümüştür (Rosenfeld, 2000).

## ***Tersine Lojistik Uygulamaları***

Tersine lojistik, ambalaj ve ürünlerden kaynaklanan tehlikeli veya tehlikesiz atıkların azaltılması ve yeniden kullanımı ile ilgili lojistik yönetim becerileri ve faaliyetlerini ifade etmektedir (Kroon ve Vrijens, 1995).

Bir başka tanıma göre tersine lojistik, kullanılmış ürünlerin yeniden kullanımı, parçalarının veya malzemelerin toplanması, sökülmesi ve işlenmesi dahil olmak üzere ürün ve malzeme ile ilgili tüm işlemleri ifade etmektedir (Ravi ve Shankar, 2005). Tersine lojistik uygulamaları, Şekil 4.4'de gösterilmiştir (Ji, 2006).




**Şekil 4.4.** Tersine lojistik uygulamaları

Tersine lojistik uygulamalarında, ürün yaşam döngüsünün çeşitli aşamalarında verimli bilgi ve teknolojik sistem çok önemli bir gerekliliktir. Ürün geliştirme sürecinde dikkat edilmesi gereken en önemli hususlar, hammadde içeriği ve ürün yapısıdır (Ji, 2006).

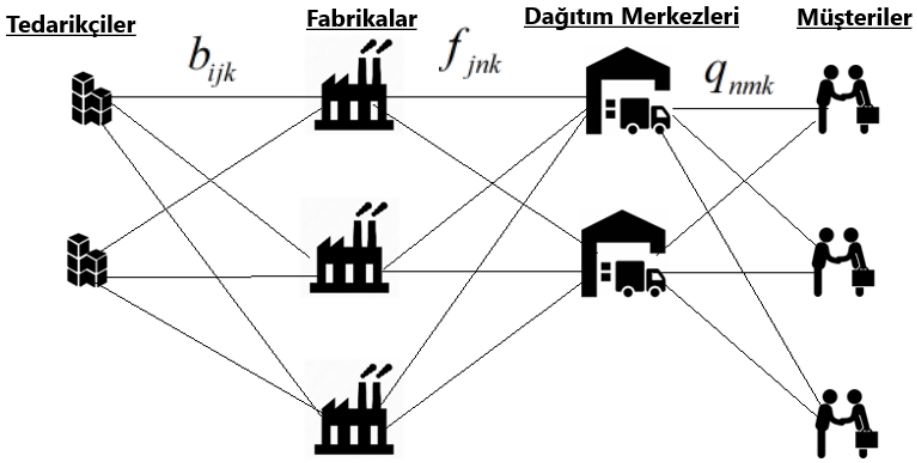
Yeşil lojistikten farklı olarak tersine lojistik, ikinci el pazarlama, ürün iadesi ve pazarlama iadesini de kapsamaktadır. Tersine lojistik ve yeşil lojistiğin ortak noktaları ise geri dönüşüm, yeniden üretim ve yeniden kullanılabilir ambalaj kullanımı olarak verilebilir.

# 5. BULANIK ÇOK AMAÇLI DOĞRUSAL OLMAYAN PROGRAMLAMA PROBLEMİNİN FARKLI ÜYELİK FONKSİYONLARI ALTINDA İNCELENMESİ: YEŞİL TEDARİK ZİNCİRİ AĞI ÖRNEĞİ

Bu bölümde, tedarikçiler, fabrikalar, dağıtım merkezleri ve müşteriler arasındaki taşıma maliyetini ve $CO_2$ emisyonunu minimum yapan bir yeşil tedarik zinciri (YTZ) ağı ele alınmıştır. Ele alınan YTZ ağı için oluşturulan model, literatürde yer alan genel yeşil tedarik zinciri modellerinden farklı olarak bulanık parametrelere sahip çok amaçlı doğrusal olmayan programlama problemidir.

Oluşturulan bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan programlama probleminde, toplam taşıma maliyetlerinin minimum yapılması ve aynı zamanda taşıma sırasında meydana gelen $CO_2$ emisyon miktarının minimum düzeye indirilmesi amaçlanmıştır. Problemde, ürünlerin hangi güzergahta, hangi miktarda ve hangi araç türüyle taşınması gerektiğini belirlemek için farklı üyelik fonksiyonları altında GAMS paket programı kullanılarak optimal çözümlerin elde edilmesi amaçlanmıştır.

Ele alınan YTZ ağında, iki tedarikçi firma, üç fabrika, iki dağıtım merkezi, üç müşteri kitlesi ve iki farklı araç türü yer almaktadır. Oluşturulan yeşil tedarik zinciri ağı, Şekil 5.1'de gösterilmiştir.




**Şekil 5.1.** Uygulamada ele alınan yeşil tedarik zinciri ağı

Probleme ilişkin indisler ve karar değişkenleri

$i$: tedarikçiler *(i=1,2)*

$j$: fabrikalar *(j=1,2,3)*

$n$: dağıtım merkezleri *(n=1,2)*

$m$: müşteriler *(m=1,2,3)*

$k$: taşıt türleri *(k=1,2)*

$b_{ijk}$: $i$. tedarikçiden $j$. fabrikaya $k$ taşıtı ile giden ürün miktarı

$f_{jnk}$: $j$. fabrikadan $n$. dağıtım merkezine $k$ taşıtı ile giden ürün miktarı

$q_{nmk}$: $n$. dağıtım merkezinden $m$ .müşteriye $k$ taşıtı ile giden ürün miktarı

$$y_{nmk} = \begin{cases} 1, & n.\,dağıtım\ merkezi\ m.\,müşteriye\ k\ taşıtı\ ile\ hizmet\ sağlıyorsa \\ 0, & diğer \end{cases}$$

Probleme İlişkin Parametreler;

$h_k$ : $k$ .taşıt türünün taşıma kapasitesi

$t_{ijk}$ : $i$. tedarikçiden $j$. fabrikaya $k$ taşıtı ile giden ürünün birim taşıma maliyeti

$a_{jnk}$ : $j$. fabrikadan dağıtım merkezine giden ürünün birim taşıma maliyeti

$c_{nmk}$ : $n$. dağıtım merkezinden müşteriye giden ürünün birim taşıma maliyeti

$CO_2$: Taşıtların km başına ürettiği $CO_2$ miktarı

$p$ : Müşteri talebi

$\tilde{W}(n)$: $n$. dağıtım merkezinin bulanık kapasitesi

$\tilde{D}(j)$: $j$. fabrikanın bulanık kapasitesi

$\tilde{S}up(i)$: $i$ .tedarikçinin bulanık kapasitesi

$dis_{ij}$: $i$ .tedarikçi ve $j$. fabrika arasındaki uzaklık (km)

$dis_{jn}$: $j$. fabrika ve $n$. dağıtım merkezi arasındaki uzaklık (km)

$dis_{nm}$: $n$. dağıtım merkezi ve $m$. müşteri arasındaki uzaklık (km)

Probleme İlişkin Amaç Fonksiyonları

$$Z_1 = \sum_{i=1}^{2}\sum_{j=1}^{3}\sum_{k=1}^{2} t_{ijk} \times b_{ijk} + \sum_{j=1}^{3}\sum_{n=1}^{2}\sum_{k=1}^{2} a_{jnk} \times f_{jnk} + \sum_{n=1}^{2}\sum_{m=1}^{3}\sum_{k=1}^{2} c_{nmk} \times q_{nmk} \qquad (5.1)$$

$$Z_2 = \sum_{i=1}^{2}\sum_{j=1}^{3}\sum_{k=1}^{2}\frac{b_{ijk}}{h_k}\times Co_{2(ijk)}\times dis_{ij} + \sum_{j=1}^{3}\sum_{n=1}^{2}\sum_{k=1}^{2}\frac{f_{jnk}}{h_k}\times Co_{2(jnk)}\times dis_{jn} + \sum_{n=1}^{2}\sum_{m=1}^{3}\sum_{k=1}^{2}\frac{q_{nmk}}{h_k}\times Co_{2(nmk)}\times dis_{nm} \quad (5.2)$$

Eşitlik (5.1) ‘de verilen birinci amaç fonksiyonunda, tedarikçiler, fabrikalar, dağıtım merkezleri ve müşteriler arasındaki taşıma maliyetlerinin minimum yapılması amaçlanmıştır.

Eşitlik (5.2)’de verilen ikinci amaç fonksiyonunda, nakliyede kullanılan iki farklı araç tipi için emisyon miktarının minimum yapılması amaçlanmıştır.

Probleme ilişkin kısıtlar

$$\sum_{k=1}^{2}\sum_{m=1}^{3} y_{nmk} = 1 \qquad ,\forall n \quad (5.3)$$

$$\sum_{k=1}^{2}\sum_{j=1}^{3} f_{jnk} = \sum_{k=1}^{2}\sum_{m=1}^{3} q_{nmk} \qquad ,\ \forall n \quad (5.4)$$

$$q_{nmk} = p \times y_{nmk} \qquad ,\forall n,m,k \quad (5.5)$$

$$\sum_{n=1}^{2} f_{jnk} \le \tilde{D}(j) \qquad ,\forall j,k \quad (5.6)$$

$$\sum_{k=1}^{2}\sum_{n=1}^{2} y_{nmk} \times p \le \tilde{W}(n) \qquad ,\forall m \quad (5.7)$$

$$\sum_{j=1}^{3} b_{ijk} \le \tilde{S}up(i) \qquad ,\ \forall i,k \quad (5.8)$$

$$\sqrt{\sum_{j=1}^{3}\left(\sum_{n=1}^{2}\frac{f_{jnk}}{\tilde{D}(j)} - \frac{\sum_{n=1}^{2} f_{jnk}}{\sum_{j=1}^{3}\tilde{D}(j)}\right)^2} \le 0.7 \qquad ,\forall k \quad (5.9)$$

$$\sqrt{\sum_{n=1}^{2}\left(\sum_{m=1}^{3}\frac{q_{nmk}}{\tilde{W}(n)} - \frac{\sum_{m=1}^{3} q_{nmk}}{\sum_{n=1}^{2}\tilde{W}(n)}\right)^2} \le 0.7 \qquad ,\forall k \quad (5.10)$$

$$b_{ijk} \le h_k \qquad ,\ \forall i,j,k \quad (5.11)$$

$$f_{jnk} \le h_k \qquad ,\ \forall j,n,k \quad (5.12)$$

$$q_{nmk} \le h_k \quad ,\forall n,m,k \tag{5.13}$$

$$b_{ijk} \ge 0 \quad ,\forall i,j,k \tag{5.14}$$

$$f_{jnk} \ge 0 \quad ,\ \forall j,n,k \tag{5.15}$$

$$q_{nmk} \ge 0 \quad ,\ \forall n,m,k \tag{5.16}$$

Her bir müşteri kitlesinin taleplerinin karşılandığı kısıt Eşitlik (5.3)'te, dağıtım merkezlerinin müşteri taleplerini karşıladığı kısıtlar Eşitlik (5.4) ve Eşitlik (5.5)'de gösterilmiştir.

Fabrikalara ilişkin kapasite kısıtı Eşitlik (5.6)'da, dağıtım merkezlerine ilişkin kapasite kısıtı Eşitlik (5.7)'de, tedarikçilere ilişkin kapasite kısıtı ise Eşitlik (5.8)'de gösterilmiştir.

Eşitlik (5.9) ve Eşitlik (5.10)'da fabrika ve dağıtım merkezleri için maksimum kapasite kullanımı kısıtı verilmiştir. Bu kısıtların sağlanabilmesi için değişkenliğin yani standart sapmanın minimum olması gerekmektedir. Oluşturulan bu iki kısıt, ayrı ayrı amaç fonksiyonu olarak ele alınıp diğer kısıtlar altında çözüldüğünde minimum sapma 0.7 olarak hesaplanmıştır. Böylece, maksimum kullanım kapasitesi oranı 0.7 olarak belirlenmiş ve sağ taraf sabiti olarak alınmıştır.

Taşınan ürünler için taşıt kapasitesi kısıtları Eşitlik (5.11), Eşitlik (5.12) ve Eşitlik (5.13)'te, taşınan ürünlerin negatif olmaması kısıtları ise Eşitlik (5.14), Eşitlik (5.15) ve Eşitlik (5.16)'da gösterilmiştir.

Tedarikçiler, fabrikalar ve dağıtım merkezlerine ilişkin bulanık kapasiteler ile kesin müşteri talebinin kg cinsinden miktarları Çizelge 5.1.'de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.1.**Tedarikçiler, fabrikalar, dağıtım merkezlerine ilişkin bulanık kapasiteler ve kesin müşteri talep miktarları (kg)

| **Tedarikçiler** $\tilde{S}up(i)$ | **Fabrikalar** $\tilde{D}(j)$ | **Dağıtım Merkezleri** $\tilde{W}(n)$ | **Müşteriler** ( $p$ ) |
|---|---|---|---|
| (5500,6000) | (5500,6500) | (6200,7000) | 2750 |
| (5400,6000) | (920,1080) | (6100,7900) | 2750 |
| - | (2000,3000) | - | 2750 |

Taşıt türlerine ilişkin kg cinsinden kapasite miktarları ve km başına kg cinsinden $CO_2$ emisyon miktarları, Çizelge 5.2'de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.2.**Taşıt türlerine ilişkin kapasite ve km başına $CO_2$ emisyon miktarları (kg)

| **Taşıt Türü** | **Kapasite ( $h_k$ )** (kg) | $CO_2$ (kg/km) |
|---|---|---|
| **Kamyonet** | 3000 | 0.000263 |
| **Kamyon** | 5000 | 0.000657 |

Taşıt türlerine bağlı olarak $CO_2$ emisyon miktarları ve taşıma maliyetleri farklılık göstermektedir. Çizelge 5.3'te taşıt türleri için tedarikçilerden fabrikalara ₺ cinsinden birim başına ürün taşıma maliyetleri gösterilmiştir.

**Çizelge 5.3.**Taşıt türleri için tedarikçilerden fabrikalara birim başına ürün taşıma maliyetleri (₺)

| $t_{ijk}$ | **Taşıt Türü** | **Fabrika 1** | **Fabrika 2** | **Fabrika 3** |
|---|---|---|---|---|
| **Tedarikçi 1** | **Kamyonet** | 0.7 | 0.4 | 0.6 |
| | **Kamyon** | 0.4 | 0.6 | 0.5 |
| **Tedarikçi 2** | **Kamyonet** | 0.3 | 0.2 | 0.1 |
| | **Kamyon** | 0.5 | 0.7 | 0.3 |

Taşıt türleri için fabrikalardan dağıtım merkezlerine ₺ cinsinden birim başına taşıma maliyetleri Çizelge 5.4'de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.4.** Taşıt türleri için fabrikalardan dağıtım merkezlerine birim başına taşıma maliyetleri (₺)

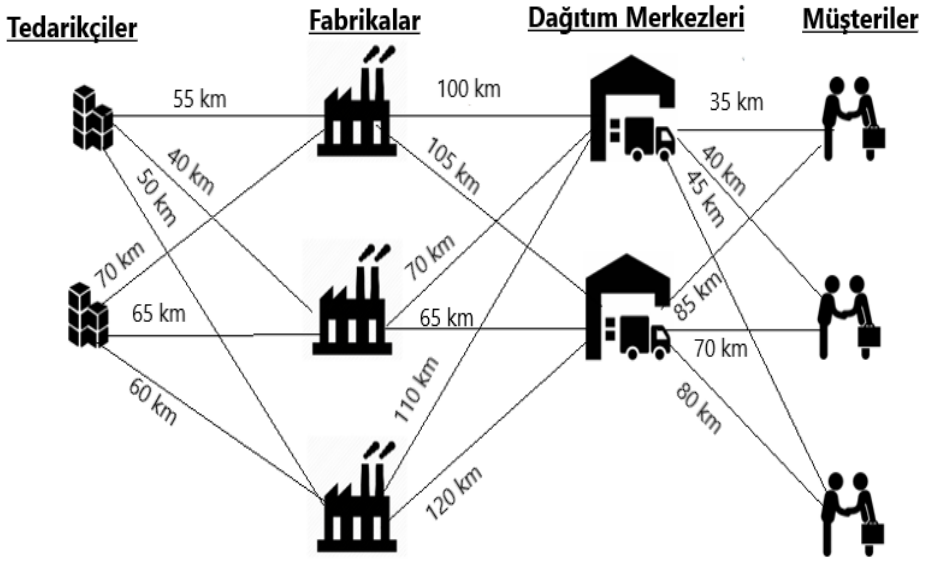
| $a_{jnk}$ | **Taşıt Türü** | **Dağıtım Merkezi 1** | **Dağıtım Merkezi 2** |
|---|---|---|---|
| **Fabrika 1** | **Kamyonet** | 1.5 | 1.2 |
| | **Kamyon** | 1.2 | 1.6 |
| **Fabrika 2** | **Kamyonet** | 1.3 | 1.6 |
| | **Kamyon** | 1.3 | 1.7 |
| **Fabrika 3** | **Kamyonet** | 1.4 | 1.3 |
| | **Kamyon** | 1.4 | 1.5 |

Taşıt türleri için dağıtım merkezlerinden müşterilere ₺ cinsinden birim başına taşıma maliyetleri Çizelge 5.5'te gösterilmiştir.

**Çizelge 5.5.**Taşıt türleri için dağıtım merkezlerinden müşterilere birim başına taşıma maliyetleri (₺)

| $c_{nmk}$ | **Taşıt Türü** | **Müşteri 1** | **Müşteri 2** | **Müşteri 3** |
|---|---|---|---|---|
| **Dağıtım Merkezi 1** | **Kamyonet** | 0.6 | 0.7 | 0.4 |
| | **Kamyon** | 0.3 | 0.4 | 0.6 |
| **Dağıtım Merkezi 2** | **Kamyonet** | 0.5 | 0.3 | 0.6 |
| | **Kamyon** | 0.8 | 0.4 | 0.9 |

Tedarikçi, fabrika, dağıtım merkezi ve müşteriler arasındaki km cinsinden uzaklıklar, Şekil 5.2'de gösterilmiştir.




**Şekil 5.2.** Tedarikçi ve fabrikalar arasındaki ( $dis_{ij}$ ), fabrika ve dağıtım merkezileri arasındaki ( $dis_{jn}$ ) , dağıtım merkezi ve müşteriler arası ( $dis_{nm}$ ) uzaklıklar

Çözüm aşamasında, ilk olarak bulanık parametreler ortalama en büyük üyelik yöntemi ile durulaştırılarak kesin değerlere dönüştürülmüştür. Ardından, amaç fonksiyonları, Eşitlik (5.3)-Eşitlik(5.16)'de verilen kısıtlar altında ayrı ayrı çözülmüştür. Birinci amaç fonksiyonunun ( $Z_1$ ) çözümünden elde edilen optimal değişken değerleri ikinci amaç fonksiyonunda yerine konmuştur. İkinci amaç fonksiyonunun ( $Z_2$ ) çözümünden elde edilen optimal değişken değerleri birinci amaç fonksiyonunda yerine konmuştur. Böylece, Çizelge 5.6.'da verilen ödünleşim tablosu elde edilmiştir.

**Çizelge 5.6.** Probleme ilişkin ödünleşim tablosu

| Min | $Z_1$ | $Z_2$ |
|---|---|---|
| $Z_1$ | 16380 | 0.186 |
| $Z_2$ | 18617.408 | 0.152 |
| $Z_i^L$ | 16380 | 0.152 |
| $Z_i^U$ | 18617.408 | 0.186 |

Oluşturulan bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan programlama problemine Zimmermann (1978)'ın Min-Max yaklaşımı uygulanmıştır. Çözüm aşamasında üçgensel, hiperbolik ve üstel üyelik fonksiyonları kullanılarak optimal çözümler elde edilmiştir.

**Üçgensel Üyelik Fonksiyonu ile Çözüm**

Oluşturulan YTZ ağı modeli için oluşturulan modelde verilen amaç fonksiyonları için ele alınan doğrusal üçgensel üyelik fonksiyonu,

$$\mu_i(Z_i)=\begin{cases}1 & ,Z_i \le Z_i^L \\ \dfrac{Z_i^U - Z_i}{Z_i^U - Z_i^L} & ,Z_i^L \le Z_i \le Z_i^U \\ 0 & ,Z_i \le Z_i^U\end{cases} \qquad ,i=1,2 \tag{5.17}$$

biçimindedir. Eşitlik (5.17)'te $Z_1$ ve $Z_2$,

$$Z_1=\sum_{i=1}^{2}\sum_{j=1}^{3}\sum_{k=1}^{2} t_{ijk}\times b_{ijk}+\sum_{j=1}^{3}\sum_{n=1}^{2}\sum_{k=1}^{2} t_{ijk}\times b_{ijk}+\sum_{n=1}^{2}\sum_{m=1}^{3}\sum_{k=1}^{2} c_{nmk}\times q_{nmk} \tag{5.18}$$

$$Z_2=\sum_{i=1}^{2}\sum_{j=1}^{3}\sum_{k=1}^{2}\frac{b_{ijk}}{h_k}\times Co_{2(ijk)}\times dis_{ij}+\sum_{j=1}^{3}\sum_{n=1}^{2}\sum_{k=1}^{2}\frac{f_{jnk}}{h_k}\times Co_{2(jnk)}\times dis_{jn}+\sum_{n=1}^{2}\sum_{m=1}^{3}\sum_{k=1}^{2}\frac{q_{nmk}}{h_k}\times Co_{2(nmk)}\times dis_{nm} \tag{5.19}$$

olarak ele alınır. Çizelge 5.6'da verilen ödünleşim tablosundan yararlanarak birinci ve ikinci amaç fonksiyonlarına ilişkin üyelik fonksiyonları,

$$\mu_1(Z_1)=\begin{cases}1, & Z_1 \le 16380 \\ \dfrac{18617.408 - Z_1}{18617.408 - 16380}, & 16380 \le Z_1 \le 18617.408 \\ 0, & Z_1 \le 18617.408\end{cases} \tag{5.20}$$

ve

$$\mu_2(Z_2)=\begin{cases}1, & Z_2 \le 0.152\\ \dfrac{0.186-Z_2}{0.186-0.152}, & 0.152 \le Z_2 \le 0.186\\ 0, & Z_2 \le 0.186\end{cases} \tag{5.21}$$

olarak oluşturulmuştur. Eşitlik (5.1)-(5.16)'de verilen problem, ortak tatmin seviyesi $\lambda$'nın modele eklenmesiyle, tek amaçlı doğrusal olmayan programlama modeline dönüştürülür ve

$$Max\ \lambda \tag{5.22}$$

$$\lambda \le \frac{18617.408 - Z_1}{18617.408 - 16380}$$

$$\lambda \le \frac{0.186 - Z_2}{0.186 - 0.152}$$

$$\sum_{k=1}^{2}\sum_{m=1}^{3} y_{nmk} = 1 \qquad ,\forall n$$

$$\sum_{k=1}^{2}\sum_{j=1}^{3} f_{jnk} = \sum_{k=1}^{2}\sum_{m=1}^{3} q_{nmk} \qquad ,\ \forall n$$

$$q_{nmk} = p \times y_{nmk} \qquad ,\forall n,m,k$$

$$\sum_{n=1}^{2} f_{jnk} \le \tilde{D}(j) \qquad ,\forall j,k$$

$$\sum_{k=1}^{2}\sum_{n=1}^{2} y_{nmk} \times p \le \tilde{W}(n) \qquad ,\forall m$$

$$\sum_{j=1}^{3} b_{ijk} \le \tilde{S}up(i) \qquad ,\ \forall i,k$$

$$\sqrt{\sum_{j=1}^{3}\left(\sum_{n=1}^{2}\frac{f_{jnk}}{\tilde{D}(j)} - \frac{\sum_{n=1}^{2} f_{jnk}}{\sum_{j=1}^{3}\tilde{D}(j)}\right)^2} \le 0.7 \qquad ,\forall k$$

$$\sqrt{\sum_{n=1}^{2}\left(\sum_{m=1}^{3}\frac{q_{nmk}}{\tilde{W}(n)}-\frac{\sum_{m=1}^{3}q_{nmk}}{\sum_{n=1}^{2}\tilde{W}(n)}\right)^2}\le 0.7 \qquad ,\forall k$$

$$\begin{aligned}
&b_{ijk}\le h_k && ,\ \forall i,j,k\\
&f_{jnk}\le h_k && ,\ \forall j,n,k\\
&q_{nmk}\le h_k && ,\forall n,m,k\\
&b_{ijk}\ge 0 && ,\forall i,j,k\\
&f_{jnk}\ge 0 && ,\ \forall j,n,k\\
&q_{nmk}\ge 0 && ,\ \forall n,m,k
\end{aligned}$$

elde edilir. Eşitlik (5.22)'de verilen problemin optimal çözümü sonucunda ortak tatmin seviyesi $\lambda$ =0.80 olarak hesaplanmıştır.

**Hiperbolik Üyelik Fonksiyonu ile Çözüm**

Oluşturulan modelde verilen amaç fonksiyonları için ele alınan doğrusal olmayan hiperbolik üyelik fonksiyonu,

$$\mu_i^H(Z_i)=\begin{cases}1, & Z_i\le Z_i^L\\ \frac{1}{2}\tanh\left(\frac{Z_i^U+Z_i^L}{2}-Z_i\right)\alpha_i+\frac{1}{2}, & Z_i^L\le Z_i\le Z_i^U\\ 0, & Z_i\ge Z_i^U\end{cases} \quad ,i=1,2 \qquad (5.23)$$

biçimindedir. Burada, $\alpha_1=\frac{6}{Z_1^U-Z_1^L}=0.0026$ ve $\alpha_2=\frac{6}{Z_2^U-Z_2^L}=176.470$ 'tir.

Çizelge 5.6'da verilen ödünleşim tablosundan yararlanarak birinci ve ikinci amaç fonksiyonlarına ilişkin üyelik fonksiyonları,

$$\mu_1^H(Z_1)=\begin{cases}1, & Z_1\le 16380\\ \frac{1}{2}\tanh\left(\frac{34997.408}{2}-Z_1\right)0.0026+\frac{1}{2} & ,16380\le Z_1\le 18617.408\\ 0, & Z_1\ge 18617.408\end{cases} \qquad (5.24)$$

$$\mu_2^H(Z_2)=\begin{cases}1, & Z_2 \le 0.152 \\ \frac{1}{2}\tanh\left(\frac{0.338}{2}-Z_2\right)0.0026+\frac{1}{2} & ,0.152 \le Z_2 \le 0.186 \\ 0\,, & Z_2 \ge 0.186\end{cases} \quad (5.25)$$

olarak oluşturulur. Eşitlik(5.1)-(5.16) verilen problem ortak tatmin seviyesi $\lambda$'nın modele eklenmesiyle problem,

$$Max\ \lambda \quad (5.26)$$

$$\lambda \le \frac{1}{2}\tanh\left(\frac{34997.408}{2}-Z_1\right)0.0026+\frac{1}{2}$$

$$\lambda \le \frac{1}{2}\tanh\left(\frac{0.338}{2}-Z_2\right)0.0026+\frac{1}{2}$$

Eşitlik(5.3)-Eşitlik(5.16)

biçiminde tek amaçlı doğrusal olmayan programlama problemine dönüştürülür. Eşitlik (5.26)' de verilen problemin optimal çözümü sonucunda ortak tatmin seviyesi $\lambda$ =0.97 olarak elde edilmiştir.

**Üstel Üyelik Fonksiyonu ile Çözüm**

Oluşturulan modelde verilen amaç fonksiyonları için ele alınan doğrusal olmayan üstel üyelik fonksiyonu,

$$\mu_i(Z_i)=\begin{cases}1, & Z_i \le Z_i^L \\ \frac{e^{-s\psi_i}-e^{-s}}{1-e^{-s}}, & Z_i^L \le Z_i \le Z_i^U \\ 0, & Z_i \ge Z_i^U\end{cases} \quad ,i=1,2 \quad (5.27)$$

biçimindedir. Burada $s$=1 ve $\psi_1=\frac{Z_1-16380}{2237.408}$ ve $\psi_2=\frac{Z_2-0.152}{0.034}$'tür.

Çizelge 5.6'da verilen ödünleşim tablosundan yararlanarak birinci ve ikinci amaç fonksiyonlarına ilişkin üyelik fonksiyonları,

$$\mu_1(Z_1)=\begin{cases}1, & Z_1 \le 16380\\ \dfrac{e^{-\frac{Z_1-16380}{2237.408}}-e^{-1}}{1-e^{-1}}, & 16380 \le Z_1 \le 18617.408\\ 0, & Z_1 \ge 18617.408\end{cases} \quad (5.28)$$

$$\mu_2(Z_2)=\begin{cases}1, & Z_2 \le 16380\\ \dfrac{e^{-\frac{Z_2-0.152}{0.034}}-e^{-1}}{1-e^{-1}}, & 16380 \le Z_2 \le 18617.408\\ 0, & Z_2 \ge 18617.408\end{cases} \quad (5.29)$$

olarak elde edilir. Ortak tatmin seviyesi $\lambda$'nın modele eklenmesiyle problem, tek amaçlı doğrusal olmayan programlama modeline dönüşür ve

$$Max\ \lambda \quad (5.30)$$

$$\lambda \le \frac{e^{-\frac{Z_1-16380}{2237.408}}-e^{-1}}{1-e^{-1}}$$

$$\lambda \le \frac{e^{-\frac{Z_2-0.152}{0.034}}-e^{-1}}{1-e^{-1}}$$

Eşitlik(5.3)-Eşitlik(5.16)

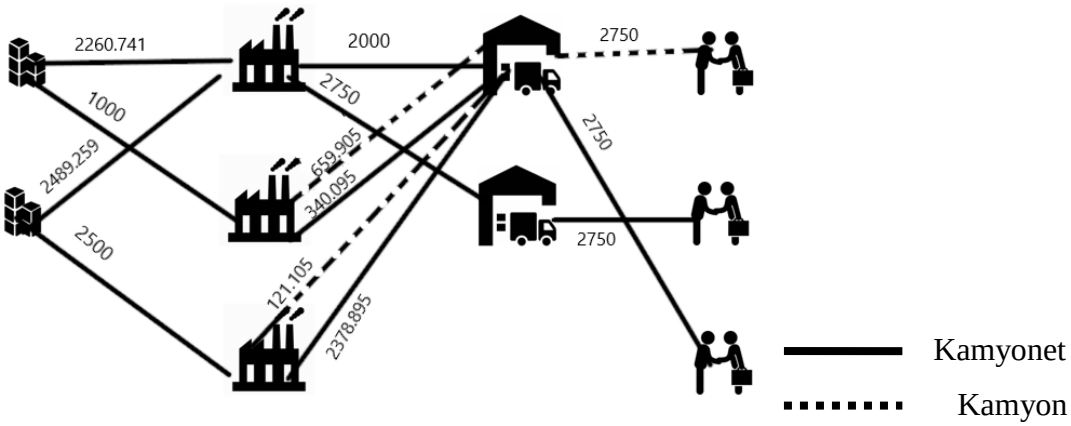
olarak elde edilir. Eşitlik (5.30)'da verilen problemin optimal çözümü sonucunda ortak tatmin seviyesi $\lambda$=0.72 olarak hesaplanmıştır.

Eşitlik (5.1) – Eşitlik (5.16)'de verilen bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan programlama probleminin üçgensel, hiperbolik ve üstel üyelik fonksiyonları altında çözümünden elde edilen optimal çözüm değerleri Çizelge 5.7'de verilmiştir.

**Çizelge 5.7.** BÇADOP probleminin farklı üyelik fonksiyonları altında çözümüne ilişkin sonuçlar

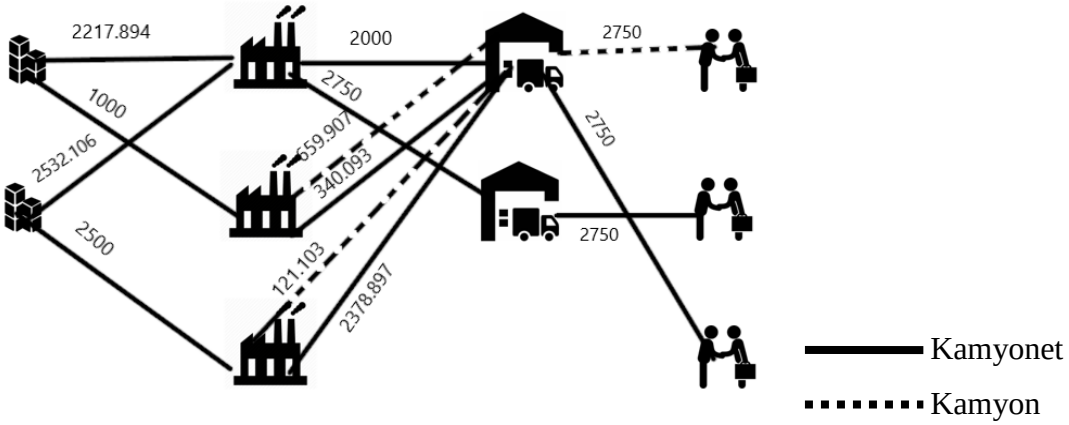
| | **Üyelik Fonksiyonları** | | |
|---|---|---|---|
| **Amaç Fonksiyonları** | **Üçgensel** | **Hiperbolik** | **Üstel** |
| $Z_1$ | 16829.296 | 16812.158 | 16829.296 |
| $Z_2$ | 0.159 | 0.159 | 0.159 |
| **Ortak Tatmin Seviyesi** | | | |
| $\lambda$ | 0.80 | 0.97 | 0.72 |
| **Karar değişkenleri** | | | |
| $b_{111}$ | 2260.741 | 2217,894 | 2260,741 |
| $b_{121}$ | 1000 | 1000 | 1000 |
| $b_{211}$ | 2489,259 | 2532,106 | 2489,259 |
| $b_{231}$ | 2500 | 2500 | 2500 |
| $f_{111}$ | 2000 | 2000 | 2000 |
| $f_{121}$ | 2750 | 2750 | 2750 |
| $f_{211}$ | 340,095 | 340,093 | 340,119 |
| $f_{212}$ | 659,905 | 659,907 | 659,881 |
| $f_{311}$ | 2378,895 | 2378,897 | 2378,880 |
| $f_{312}$ | 121,105 | 121,103 | 121,120 |
| $q_{112}$ | 2750 | 2750 | 2750 |
| $q_{131}$ | 2750 | 2750 | 2750 |
| $q_{221}$ | 2750 | 2750 | 2750 |

Üçgensel üyelik fonksiyonu altında elde edilen optimal çözüm değerleri Şekil 5.3.'te gösterilmiştir.



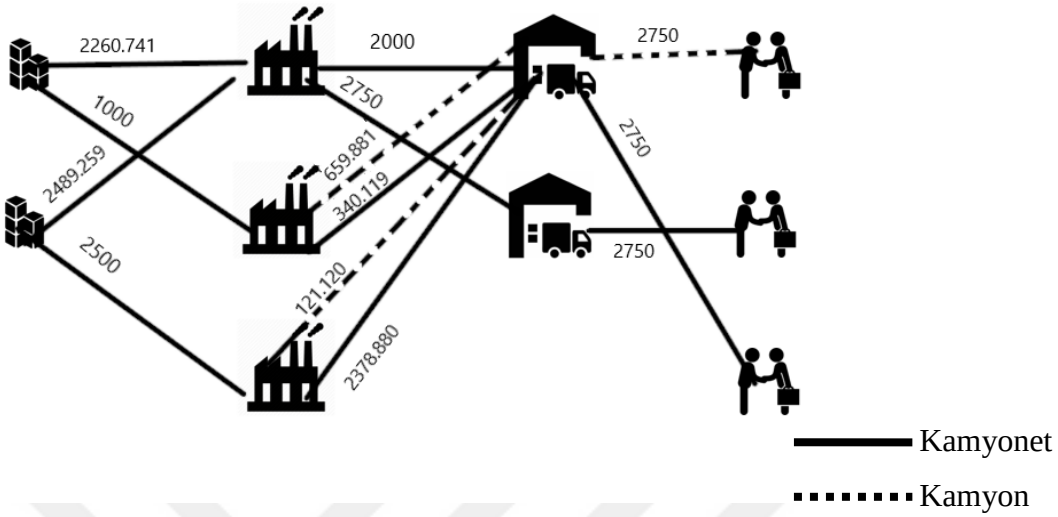

**Şekil 5.3.** Üçgensel üyelik fonksiyonuna göre oluşturulan optimal dağıtım

Hiperbolik üyelik fonksiyonu altında elde edilen optimal çözüm değerleri Şekil 5.4'te gösterilmiştir.




**Şekil 5.4.** Hiperbolik üyelik fonksiyonuna göre oluşturulan optimal dağıtım

Üstel üyelik fonksiyonu altında elde edilen optimal çözüm değerleri Şekil 5.5'te gösterilmiştir.




**Şekil 5.5.** Üstel üyelik fonksiyonuna göre oluşturulan optimal dağıtım

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, bir yeşil tedarik zinciri ağı için bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan programlama modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan modelde, amaç fonksiyonları doğrusal, kısıtlar ise doğrusal olmayan ifadeler içermektedir. İki tedarikçi, üç fabrika, iki dağıtım merkezi, üç müşteri kitlesi ve iki taşıt türünün yer aldığı modelde, toplam taşıma maliyetinin ve toplam $CO_2$ emisyon miktarının minimum yapılması amaçlanmıştır.

Oluşturulan model, örnek bir uygulama üzerinde gösterilmiş ve üçgensel, üstel ve hiperbolik üyelik fonksiyonları altında GAMS paket programı yardımı ile çözülmüştür. Literatür incelendiğinde, yapılan çalışmalarda genellikle bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modellerinin ele alındığı ve çözüm aşamasında doğrusal üyelik fonksiyonlarından üçgensel üyelik fonksiyonun kullanıldığı görülmüştür. Bu tez çalışmasının literatüre katkısı, yeşil tedarik zinciri ağı için oluşturulan bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan programlama probleminin çözümünde hem doğrusal hem de doğrusal olmayan üyelik fonksiyonlarının ele alınmış olmasıdır.

Optimal çözümler incelendiğinde, hiperbolik üyelik fonksiyonu kullanılarak elde edilen ortak tatmin seviyesinin $\lambda$=0.97 olduğu görülmüştür. Bu değer, üstel ve üçgensel üyelik fonksiyonları altında çözümü sonucunda hesaplanan değere göre daha yüksek bir ortak tatmin seviyesidir. Modelde yer alan birinci amaç fonksiyonunda, toplam taşıma maliyetinin en küçük yapılması istenmektedir. Üçgensel ve üstel üyelik fonksiyonları altında çözüldüğünde hesaplanan toplam taşıma maliyeti 16829.296 ₺ iken hiperbolik üyelik fonksiyonu altında çözüldüğünde 16812.158 ₺ olarak elde edilmiştir. Burada, hiperbolik üyelik fonksiyonu altındaki çözümden elde edilen toplam taşıma maliyetinin üçgensel ve üstel üyelik fonksiyonlarına göre yaklaşık 17 ₺ daha düşük olduğu görülmüştür. Modelde yer alan ikinci amaç fonksiyonunda ise toplam $CO_2$ emisyon miktarının en küçük yapılması istenmektedir. Üçgensel, üstel ve hiperbolik üyelik fonksiyonları altındaki çözüm sonucunda elde edilen toplam $CO_2$ emisyon miktarı aynıdır ve 0.159 kg bulunmuştur. Genel olarak, farklı üyelik fonksiyonları ele alınarak elde edilen optimal çözümler karşılaştırıldığında, amaç fonksiyonları ve değişken değerleri arasında büyük farklılıklar görülmemiştir. Bu tez çalışmasında ele alınan problem için, doğrusal olmayan üstel ve hiperbolik üyelik fonksiyonlarının, doğrusal üçgensel üyelik fonksiyonundan elde edilen sonuçlar kadar iyi olduğu görülmüştür. Doğrusal olmayan hiperbolik üyelik fonksiyonu, doğrusal üçgensel üyelik fonksiyonuna

göre modeli daha yüksek tatmin seviyesine ulaştırmış ve başarılı bir yeşil tedarik zinciri ağı oluşturulmasını sağlamıştır. Her ne kadar uygulama kolaylığı nedeniyle doğrusal üyelik fonksiyonlarının daha çok tercih edildiği ve gerçek hayat problemlerinde daha fazla uygulandığı görülse de doğrusal olmayan üyelik fonksiyonlarının da iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Daha sonra yapılacak çalışmalarda, daha büyük boyutlu tedarik zinciri ağı modelleri ele alınarak karşılaştırmalar yapılabilir. Modele, doğrusal ya da doğrusal olmayan yapıdaki farklı kısıtlar veya amaç fonksiyonları eklenebilir. Bunların yanı sıra, diğer bulanık çok amaçlı programlama çözüm yöntemleri kullanılarak üçgensel, üstel ve hiperbolik dışındaki üyelik fonksiyonları altında çözümler elde edilip karşılaştırmalar yapılması önerilebilir.

**KAYNAKLAR**


Amid, A., Ghodsypour, S., & O'Brien, C. (2006). Fuzzy multiobjective linear model for supplier selection in a supply chain. *International Journal of Production Economics, 104*(2), 394-407.

Azadeh, A., Raoofi, Z., & Zarrin, M. (2015). A multi-objective fuzzy linear programming model for optimization of natural gas supply chain through a greenhouse gas reduction approach. *Journal of Natural Gas Science and Engineering, 26*, 702-710.

Beamon, B. M. (1999). Designing the green supply chain. *Logistics Information Management, 12*(4), 332-342.

Bellman, R., & Giertz, M. (1973). On the analytic formalism of the theory of fuzzy sets. *Information Sciences, 5*, 149-156.

Bellman, R. E., & Zadeh, L. A. (1970). Decision-making in a fuzzy environment. *Management Science, 17*(4), B-141-B-164.

Bit, A. (2004). Fuzzy programming with hyperbolic membership functions for multiobjective capacitated transportation problem. *Opsearch, 41*(2), 106-120.

Bit, A., Biswal, M., & Alam, S. (1993). Fuzzy programming approach to multiobjective solid transportation problem. *Fuzzy Sets and Systems, 57*(2), 183-194.

Bojadziev, G., & Bojadziev, M. (2007). *Fuzzy logic for business, finance, and management,* (Vol. 23), *World Scientific,*Singapore.

Chakraborty, M., Skowron, A., Maiti, M., & Kar, S. (2013). Facets of uncertainties and applications. *ICFUA, Kolkata, India*, 309-310.

Chang, N.-B., & Wei, Y. (2000). Siting recycling drop-off stations in urban area by genetic algorithm-based fuzzy multiobjective nonlinear integer programming modeling. *Fuzzy sets and systems, 114*(1), 133-149.

Chen, G., & Pham, T. T. (2000). Introduction to fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy control systems, *CRC press*, Boca Raton.

Cheng, C.-H., & Lin, Y. (2002). Evaluating the best main battle tank using fuzzy decision theory with linguistic criteria evaluation. *European Journal of Operational Research, 142*(1), 174-186.

Cheng, H., Huang, W., Zhou, Q., & Cai, J. (2013). Solving fuzzy multi-objective linear programming problems using deviation degree measures and weighted max–min method. *Applied Mathematical Modelling, 37*(10-11), 6855-6869.

Chin, T. A., Tat, H. H., & Sulaiman, Z. (2015). Green supply chain management, environmental collaboration and sustainability performance. *Procedia CIRP, 26*, 695-699.

Chiou, T.-Y., Chan, H. K., Lettice, F., & Chung, S. H. (2011). The influence of greening the suppliers and green innovation on environmental performance and competitive advantage in Taiwan. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 47*(6), 822-836.

Chunguang, Q., Xiaojuan, C., Kexi, W., & Pan, P. (2008, December). Research on green logistics and sustainable development. In *2008 International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering* (Vol. 3, pp. 162-165). IEEE.

de Paula Alvarenga, T. H., Assumpção, J. J., Sartori, S., de Souza Campos, L. M., Maldonado, M. U., & Forcellini, F. A. (2013). Green supply chain management and business process management: a union for sustainable process in a furniture factory. *Asian Journal of Business and Management Sciences, 4*(2), 1-13.

Fares, M., & Kaminska, B. (1995). FPAD: A fuzzy nonlinear programming approach to analog circuit design. *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 14*(7), 785-793.

Gereffi, G., Dubay, K., Haraldsdottir, K., & Romero, Y. (2008). Auxiliary Power Units. *Manufacturing Climate Solutions*, 37-47.

Hannan, E. L. (1981). On fuzzy goal programming. *Decision sciences, 12*(3), 522-531.

Hansen, B. (1996). Fuzzy Logic and linear programming find optimal solutions for meteorological problems. *Term Paper for Fuzzy Coursa at Technical University of Nova Scotia*, 5-15.

Ho, L. W., Dickinson, N. M., & Chan, G. Y. (2010). *Green procurement in the Asian public sector and the Hong Kong private sector.* Paper presented at the Natural Resources Forum.

Hu, K.-J. (2017). Fuzzy goal programming technique for solving flexible assignment problem in PCB assembly line. *Journal of Information and Optimization Sciences, 38*(3-4), 423-442.

Jager, R. (1995). *Fuzzy logic in control*. PhD dissertation, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands

Janvier-James, A. M. (2012). A new introduction to supply shains and supply chain management: definitions and theories perspective. *International Business Research, 5*(1), 194-207.

Jayalakshmi, M. (2016). A short investigation on fuzzy linear programming problems. *International Journal of Advanced Science and Research,*1(3), 21-23

Ji, G. (2006). Market-motivated value systems, reverse logistics and the evaluation model for the third party reverse logistics providers. *International Logistics and Trade, 4*(1), 53-92.

Jian, C. Y. (2013). *The role of green manufacturing in reducing carbon dioxide emissions.* Paper presented at the 2013 Fifth International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation.

Johansson, G., & Winroth, M. (2009). *Lean vs. Green manufacturing: Similarities and differences.* Paper presented at the Proceedings of the 16th International Annual EurOMA Conference, Implementation Realizing Operations Management Knowledge, Göteborg, Sweden.

Kannan, D., Khodaverdi, R., Olfat, L., Jafarian, A., & Diabat, A. (2013). Integrated fuzzy multi criteria decision making method and multi-objective programming approach for supplier selection and order allocation in a green supply chain. *Journal of Cleaner Production, 47*, 355-367.

Kroon, L., & Vrijens, G. (1995). Returnable containers: an example of reverse logistics. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 25*(2), 56-68.

Kuwano, H. (1996). On the fuzzy multi-objective linear programming problem: Goal programming approach. *Fuzzy sets and systems, 82*(1), 57-64.

Lai, Y.-J., & Hwang, C.-L. (1992a). Fuzzy mathematical programming *Fuzzy Mathematical Programming* (pp. 74-186): Springer.

Lai, Y.-J., & Hwang, C.-L. (1992b). A new approach to some possibilistic linear programming problems. *Fuzzy Sets and Systems, 49*(2), 121-133.

Leberling, H. (1981). On finding compromise solutions in multicriteria problems using the fuzzy min-operator. *Fuzzy Sets and Systems, 6*(2), 105-118.

Li, M., Fu, Q., Singh, V. P., Ma, M., & Liu, X. (2017). An intuitionistic fuzzy multi-objective non-linear programming model for sustainable irrigation water

allocation under the combination of dry and wet conditions. *Journal of Hydrology, 555*, 80-94.

Liang, T.-F. (2006). Distribution planning decisions using interactive fuzzy multi-objective linear programming. *Fuzzy Sets and Systems, 157*(10), 1303-1316.

Liang, T.-F., & Cheng, H.-W. (2009). Application of fuzzy sets to manufacturing/distribution planning decisions with multi-product and multi-time period in supply chains. *Expert systems with applications, 36*(2), 3367-3377.

Maity, G., & Kumar Roy, S. (2016). Solving a multi-objective transportation problem with nonlinear cost and multi-choice demand. *International Journal of Management Science and Engineering Management, 11*(1), 62-70.

McKinnon, A. (2010). Green logistics: the carbon agenda. *Electronic Scientific Journal of Logistics, 6*(1),42-60.

Min, H., & Galle, W. P. (2001). Green purchasing practices of US firms. *International Journal of Operations & Production Management*, *21*(9), 1222-1238.

Mohammed, A., & Wang, Q. (2017). The fuzzy multi-objective distribution planner for a green meat supply chain. *International Journal of Production Economics, 184*, 47-58.

Ninlawan, C., Seksan, P., Tossapol, K., & Pilada, W. (2010). *The implementation of green supply chain management practices in electronics industry*. Paper presented at the Proceedings of the international multiconference of engineers and computer scientists.

Orlovski, S., Rinaldi, S., & Soncini -Sessa, R. (1
reservoir management. *Water Resources Research, 20*(11), 1506-1514.

Ravi, V., & Shankar, R. (2005). Analysis of interactions among the barriers of reverse logistics. *Technological Forecasting and Social Change, 72*(8), 1011-1029.

Rosenfeld, D. (2000). Suppression of rain and snow by urban and industrial air pollution. *Science, 287*(5459), 1793-1796.

Ross, T. J. (2004). *Fuzzy logic with engineering applications*,(Vol.2),Wiley, *New York*,.

Sakawa, M. (1983). Interactive computer programs for fuzzy linear programming with multiple objectives. *International Journal of Man-Machine Studies, 18*(5), 489-503.

Sakawa, M. (1985). Interactive fuzzy goal programming for multiobjective nonlinear programming problems. *Electronics and Communications in Japan (Part I: Communications), 68*(11), 49-56.

Sakawa, M. (2013). *Fuzzy sets and interactive multiobjective optimization*. New York: Springer Science & Business Media.

Sakawa, M., & Yano, H. (1985). Interactive fuzzy decision-making for multi-objective nonlinear programming using reference membership intervals. *International Journal of Man-Machine Studies, 23*(4), 407-421.

Sakawa, M., & Yano, H. (1989). An interactive fuzzy satisficing method for multiobjective nonlinear programming problems with fuzzy parameters. *Fuzzy Sets and Systems, 30*(3), 221-238.

Sakawa, M., & Yano, H. (1994). A fuzzy dual decomposition method for large-scale multiobjective nonlinear programming problems. *Fuzzy sets and systems, 67*(1), 19-27.

Sakawa, M., Yumine, T., & Nango, Y. (1984). Interactive fuzzy decision making for multiobjective nonlinear programming problems. *Electronics and Communications in Japan (Part I: Communications), 67*(4), 31-38.

Salimifard, K., Shahbandarzadeh, H., & Raeesi, R. (2012). *Green transportation and the role of operation research.* Paper presented at the Int. Conf. Traffic Transp. Eng.(ICTTE 2012).

Sasaki, M., & Gen, M. (2003). A method of fuzzy multi-objective nonlinear programming with GUB structure by hybrid genetic algorithm. *International Journal of Smart Engineering System Design, 5*(4), 281-288.

Shaw, K., Shankar, R., Yadav, S. S., & Thakur, L. S. (2012). Supplier selection using fuzzy AHP and fuzzy multi-objective linear programming for developing low carbon supply chain. *Expert systems with applications, 39*(9), 8182-8192.

Shirkouhi, S.-N., Shakouri, H., Javadi, B., & Keramati, A. (2013). Supplier selection and order allocation problem using a two-phase fuzzy multi-objective linear programming. *Applied Mathematical Modelling, 37*(22), 9308-9323.

Singh, G. (2013). Green: the new colour of marketing in India. *ASCI Journal of Management, 42*(2), 52-72.

Slowiński, R. (2012). *Fuzzy sets in decision analysis, operations research and statistics* (Vol. 1): Springer Science & Business Media.

Srivastava, S. K. (2007). Green Supply-Chain Management: A State-of-the-art Literature Review. *International Journal of Management Reviews, 9*(1), 53-80.

Su, T.-S. (2017). A fuzzy multi-objective linear programming model for solving remanufacturing planning problems with multiple products and joint components. *Computers & Industrial Engineering, 110*, 242-254.

Tanaka, H., Okuda, T., & Asai, K. (1973). Fuzzy-Mathematical Programming. *Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers, 9*(5), 607-613.

Torabi, S. A., & Hassini, E. (2008). An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning. *Fuzzy sets and systems, 159*(2), 193-214.

Trappey, A. J., Trappey, C., Hsiao, C., Ou, J. J., Li, S., & Chen, K. W. (2012). An evaluation model for low carbon island policy: The case of Taiwan's green transportation policy. *Energy Policy, 45*, 510-515.

Veeramani, C., Duraisamy, C., & Nagoorgani, A. (2011). Solving Fuzzy Multi-Objective Linear Programming Problems With Linear Membership Functions. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5*(8), 1163-1171.

Verma, R., Biswal, M., & Biswas, A. (1997). Fuzzy programming technique to solve multi-objective transportation problems with some non-linear membership functions. *Fuzzy sets and systems, 91*(1), 37-43.

Wang, R.-C., & Liang, T.-F. (2004). Application of fuzzy multi-objective linear programming to aggregate production planning. *Computers & Industrial Engineering, 46*(1), 17-41.

Wang, Y., Li, Z., Wang, C., & Wang, H. (2013). Concurrent multi-scale modelling and updating of long-span bridges using a multi-objective optimisation technique. *Structure and Infrastructure Engineering, 9*(12), 1251-1266.

Wang, E.-J., Lin, C.-Y., & Su, T.-S. (2016). Electricity monitoring system with fuzzy multi-objective linear programming integrated in carbon footprint labeling system for manufacturing decision making. *Journal of Cleaner Production, 112*, 3935-3951.

Yang, T., Ignizio, J. P., & Kim, H.-J. (1991). Fuzzy programming with nonlinear membership functions: piecewise linear approximation. *Fuzzy Sets and Systems, 41*(1), 39-53.

Yen, Y.-X., & Yen, S.-Y. (2012). Top-management's role in adopting green purchasing standards in high-tech industrial firms. *Journal of Business Research, 65*(7), 951-959.

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control, 8*(3), 338-353. Zadeh, L. A. (1988). Fuzzy logic. *Computer, 21*(4), 83-93.

Zadeh, L. A. (1996). Fuzzy sets *Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, And Fuzzy Systems: Selected Papers by Lotfi A Zadeh* (pp. 394-432): World Scientific.

Zeng, X., Kang, S., Li, F., Zhang, L., & Guo, P. (2010). Fuzzy multi-objective linear programming applying to crop area planning. *Agricultural Water Management, 98*(1), 134-142.

Zhang, H. C. (2005). Study on the performance assessment of green supply chain. In *2005 IEEE international conference on systems, man and cybernetics* (Vol. 1, pp. 942-947). IEEE.

Zimmermann, H.-J. (1978). Fuzzy programming and linear programming with several objective functions. *Fuzzy sets and systems, 1*(1), 45-55.

Zimmermann, H.-J. (2011). *Fuzzy set theory—and its applications*: Springer Science & Business Media.

# ÖZGEÇMİŞ

## KİŞİSEL BİLGİLER


| | | |
|---|---|---|
| **Adı Soyadı** | **:** | Özlem AKARÇAY |
| **Uyruğu** | **:** | Türkiye Cumhuriyeti |
| **Doğum Yeri ve Tarihi** | **:** | 01.02.1992 |
| **Telefon** | **:** | 5079956683 |
| **Faks** | **:** | |
| **e-mail** | **:** | Ozlemm.akarcay7@gmail.com |


## EĞİTİM

| **Derece** | | **Adı, İlçe, İl** | **Bitirme Yılı** |
|---|---|---|---|
| Lise | : | **Balçova Nevvar Salih İşgören Lisesi** | **2010** |
| Üniversite | : | **Ege Üniversitesi** | **2015** |
| Yüksek Lisans | : | **Selçuk Üniversitesi** | |
| Doktora | : | | |

## İŞ DENEYİMLERİ

| **Yıl** | **Kurum** | **Görevi** |
|---|---|---|
| 2018-devam ediyor | **KTO Karatay Üniversitesi** | **Proje Asistanı** |

## UZMANLIK ALANI

İstatistik
Yöneylem Araştırması

## YABANCI DİLLER

İngilizce
Almanca

## YAYINLAR


Akarçay, Ö., Yapıcı Pehlivan, N., 2019, Bulanık Çok Amaçlı Doğrusal Olmayan Programlama Problemlerinin Çeşitli Üyelik Fonksiyonları Altında İncelenmesi: Yeşil Tedarik Zinciri Örneği, *Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi 2019, Bildiri Özetleri Kitabı,*28.

Akarçay, Ö., Yapıcı Pehlivan, N., 2018, Comparison of Fuzzy Multi-objective Nonlinear Programming Models Under Different Membership Functions, *International Conference on Operations Research, (OR2018-Belgium), Abstract Book,*73.

Akarçay, Ö., Yaşar, E., 2018, Determining optimal routing solution of a patrol car, *The Thrid International Conference On Computational Mathematics And Engineering Science(CMES2018, Kıbrıs), Abstract Book,*290.