



## BÜTÜNLEŞİK TEDARİK ZİNCİRİ AĞINDA TESİS YERİ SEÇİMİ İÇİN BULANIK ÇOK AMAÇLI PROGRAMLAMA MODELİ

### FUZZY MULTI-OBJECTIVE PROGRAMMING MODEL FOR FACILITY LOCATION IN AN INTEGRATED SUPPLY CHAIN NETWORK

Hüseyin Ali SARIKAYA<sup>1\*</sup>, Emre ÇALIKAN<sup>2</sup>, Orhan TÜRKBEY<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Savunma Bilimleri Enstitüsü, Kara Harp Okulu, 06654, Ankara.  
alav33@yahoo.com

<sup>2</sup>Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, 06500, Ankara.  
ecaliskan@gazi.edu.tr, turkbey@gazi.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 02.12.2012, Kabul Tarihi/Accepted: 28.05.2013

doi: 10.5505/pajes.2014.98853

\*Yazışılan yazar/Corresponding author

#### Özet

Geleneksel tedarik zinciri ağı tasarım problemleri genellikle tek amaçlı olarak ele alınmıştır. Ancak, tedarik zincirleri gerçek hayatta birbirleri ile çelişen amaçları olan organizasyonların meydana getirdiği karmaşık ağlardır. Bu çalışmada, piyasa taleplerinin belirsiz olduğu bütünleşik bir tedarik zinciri ağındaki birden fazla ölçülemeyen amacı gerçekleştirmek için çok ürünlü, çok aşamalı ve çok dönemli planlama modeli önerilmiştir. Tedarik zinciri planlama modeli, birbiryle çelişen birkaç amacı doyumak için karışık tam sayılı doğrusal olmayan programlama problemi olarak bina edilmiştir. Önerilen model iki amaç fonksiyonundan oluşmaktadır. Birincisi, tedarik zincirindeki sabit tesis açma ve işletme maliyetleri ile mesafelere bağlı olarak belirlenen taşıma maliyetlerinin en azlanmasıdır. İkincisi, Ekonomik Üretim Miktarı (EÜM) modeline göre satın alma, sipariş verme, stok bulundurma ve yok satma maliyetlerinin en azlanmasıdır. Önerilen modelde, karar vericilerin kesin olmayan hedef değerlerini dahil edebilmek için bulanık hedef programlama yaklaşımı kullanılmıştır. Model, GAMS optimizasyon programı kullanılarak çözülmüştür. Çalışmada sunulan uygulama sonuçları, bulanık modelleme ve çözüm yaklaşımlarının daha gerçekçi tedarik zinciri modelleri oluşturulmasında kullanılabileceğini göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Tedarik zinciri ağı, Tesis yeri seçimi, Bulanık hedef programlama.

#### Abstract

Traditional supply chain network design problems are often taken as a single objective. However, supply chains are complex networks formed by organizations having conflicting objectives with each other in real life. In this study, a multi-product, multi-stage and multi-period planning model is proposed to achieve multiple incommensurable goals in an integrated supply chain network with uncertain market demands. The supply chain planning model is constructed as a mixed-integer nonlinear programming problem to satisfy several conflicting objectives with each other. The proposed model consists of two objective functions. The first one is minimizing the fixed opening and operating costs with transportation costs determined depending on distances. Second one is minimizing the purchasing, ordering, inventory and backloging costs according to Economic Production Quantity (EPQ) model. Fuzzy goal programming approach is used in order to include decision maker's imprecise goal values in proposed model. The model is solved using GAMS optimization program. The application results presented in this study, demonstrates that fuzzy modeling and solution approaches could be used in the creation of more realistic models of the supply chain.

**Keywords:** Supply chain network, Facility location, Fuzzy goal programming.

## 1 Giriş

Tedarik zinciri, hammaddenin kabul edilmesinden, ara ve bitmiş ürünlere dönüştürülmesine, bitmiş ürünlerin müşterilere dağıtılmasına kadar işlemler kümesinin yürütüldüğü bir tesisler (üretim tesisleri, dağıtım merkezleri, depolar vb.) ağıdır [1].

Tedarik zinciri ağının tasarlanması, bu ağların ana alt sistemlerinin karmaşıklığı, bu alt sistemler arasındaki etkileşimler ve çok sayıda amaç fonksiyonunun varlığı gibi dış faktörlerin etkileri nedeniyle güç bir görevdir [2]. Bu karmaşıklık, geçmişte bu alandaki araştırmaların çoğunu tedarik zinciri ağının sadece bir parçasına odaklanmayı zorunlu kılmıştır. Bununla birlikte, son zamanlarda dikkatler artan bir şekilde tedarik zinciri ağının performans, tasarım ve analizinin bir bütün olarak ele alınmasına yoğunlaştırılmaktadır.

Günümüzde tedarik zincirinin farklı amaçları olmasına karşın, geleneksel tedarik zincirinde satın alma, üretim, dağıtım, planlama ve diğer fonksiyonlar karar vericiler tarafından birbirinden bağımsız olarak ele alınmıştır. Pazarlardaki

küresel risklerin üstesinden gelebilmek için karar vericiler, farklı amaçların (üretim/dağıtım, tesis yeri seçimi, satın alma, sipariş verme, stok bulundurma ve yok satma maliyetlerinin en azlanması vb.) birbirleri ile entegre edildiği bir mekanizma geliştirmek zorundadırlar.

Bütün tedarik zincirinin optimizasyonu etkili planlama kararları ile başarılabilir. Stratejik seviyede verilen tipik kararlar, üretim ve/veya depolama tesislerinin yerleştirilmesi ile ilgilidir. Üretim/dağıtım ağlarının yerleştirilmesi ve yapılandırılması uzun yıllardır çalışılıyorsa da, çok sayıda önemli gerçek dünya problemleri henüz yeterince ele alınmamıştır. Ayrıca, son birkaç yıl öncesine kadar, tedarik zinciri ağı genellikle en fazla iki kademeye kadar olan tesisler, bu kademelerle talep noktaları arasında bir dağıtım kanalları sistemi ve göreceli olarak basit maliyet yapısı olan tipik bir ağaç yapısından oluşmaktadır. Her ne kadar bu konular literatürde ayrı ayrı ele alınmışsa da, tedarik zinciri planlamasındaki çeşitli endüstriyel projelerden elde edilen tecrübeler, şirketlerin bütün yukarıda belirtilen konuların tedarik zinciri ağında hep birlikte incelenmesini gerektiğini göstermektedir.

## 2 Literatür Araştırması

Tedarik zinciri ağı tasarımı problemi basit tek ürünlü tipten karmaşık çoklu ürün tipine ve doğrusal deterministik modelden karmaşık doğrusal olmayan belirsiz modellere uzanan geniş bir alanda formülasyonu kapsar. Ağ tasarım problemi, bütün tedarik zincirinin uzun dönem boyunca etkin bir şekilde işletilmesi için optimize edilmesi gereken geniş kapsamlı stratejik karar problemlerinden birisidir. Bu problem sayı, yer, kapasite, kullanılacak tesisin tipi, depolar ve dağıtım merkezlerini belirler. Aynı zamanda dağıtım kanallarını, tüketilecek ve üretilecek malzeme ve kalem miktarını ve tedarikçiden müşteriye taşımayı da kurar. Literatürde tedarik zinciri ağı tasarım problemleri ile ilgili değişik çalışmalar vardır. Bunlardan çok aşamalı, çok dönemli, stok kontrollü, lojistik/tedarik zinciri ağı ve tesis yeri seçimi problemleri ile ilgili olanları aşağıdadır.

Cohen ve Lee (1989) tarafından geliştirilen matematiksel model, bu alandaki öncü çalışmalardan biridir [3]. Yaptıkları çalışmada, Ekonomik Sipariş Miktarı (ESM) modeline göre küresel tedarik zinciri planını geliştirmek için deterministik, karışık tam sayılı doğrusal olmayan programlama modeli önermişlerdir. Pyke ve Cohen (1993), üretim tesisi, depo ve perakendecilerden oluşan üç aşamalı bütünleşik bir tedarik zinciri için stokastik alt modeller kullanarak matematiksel bir programlama modeli geliştirmişlerdir [4]. Özdamar ve Yazgaç, (1997) bir merkezi üretim tesisi ile farklı bölgelerde bulunan depolama merkezlerini kapsayan bir sistem için üretim/dağıtım modeli geliştirmişlerdir [5]. Pirkul ve Jayaraman (1998), müşteri talebi memnuniyeti ve kapasite kısıtlarına bağlı maliyetleri en azlamak için belirli sayıda üretim tesisi ve dağıtım merkezinin yerlerini belirlemişlerdir [6]. Syarif ve diğ. belirli bir kapasiteye sahip potansiyel tesislerin kurulmasının sabit maliyeti ile müşteri talebinin tesislerden taşınması maliyetini en azlayan tesislerin ve dağıtım ağının en uygun tasarımını elde etmeye çalışmışlardır. NP-Zor olan karma tam sayılı doğrusal programlama yapısındaki bu problemi çözmek için genetik algoritma tabanlı bir algoritma geliştirmişlerdir [7]. Altıparmak ve diğ. (2006) çok amaçlı bir tedarik zinciri ağı tasarımı için pareto optimal çözüm kümesini bulmak amacıyla genetik algoritmalara dayalı yeni bir çözüm yöntemi önermişlerdir [8]. Thanh ve diğ. (2008) tedarik zinciri boyunca üretim/dağıtım sisteminin tasarlanması ve planlanması için karışık tam sayılı doğrusal olmayan programlamayı önermişlerdir [9].

Paksoy ve diğ. (2009) deterministik, çok aşamalı tedarik zinciri ağının tasarlanmasında çok amaçlı karışık tam sayılı doğrusal olmayan programlama modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada tedarik zinciri ağı tasarımı için; aşamalar arasındaki toplam taşıma maliyetlerinin en azlanması, ESM modeline göre stok bulundurma ve sipariş verme maliyetinin en azlanması, aşamalar arasındaki taşınan malzemelerin azalan varyansı yoluyla gereksiz ve kullanılmayan tesis ve dağıtım merkezi kapasitelerinin en azlanmasından oluşan üç farklı amaç belirlenmiştir [10]. Qin ve diğ. (2009) satıcıların stokastik taleplerinin normal dağıldığı varsayımı altında belirli hizmet seviyesinde tesis yeri, stok ve taşıma maliyetlerinin toplamını en azlamak için karışık tam sayılı doğrusal olmayan model önermişler, problemi çözmek için Birleştirilmiş Tavlama Benzetimi Algoritması geliştirilmişlerdir [11]. Tuzkaya ve Önüt, (2009) tedarikçiler, depolar ve üreticilerden oluşan iki aşamalı bir tedarik zinciri için holonik sistem yaklaşımıyla yok satma ve elde stok bulundurma maliyetlerini en azlayan bir model geliştirmişlerdir [12]. Melo ve diğ. (2009) tesis yeri seçimi ve tedarik zinciri yönetimi (TZY) arasındaki

ilişkiler, TZY'nde tesis düzenleme problemlerinin yeri ve çözüm metodları ile uygulamaları incelemişlerdir [13]. Mula ve diğ. (2010), tedarik zinciri üretim ve taşıma planlaması için matematiksel programlama modellerini gözden geçirmişlerdir [14].

Tedarik zinciri ile ilgili yapılan çalışmalarda oluşturulan deterministik modeller belirsiz parametrelerin kesin olarak bilindiğini varsayar ve belirsizliğin bulunduğu ortamda birçok maliyet ve talep doyumunu arasındaki ödünleşmeyi gerçekçi olarak yakalayamaz. Belirsizlik altında tedarik zinciri ile ilgili yapılan çalışmalar sınırlı ve hala gerçek hayat problemlerini yeterince yansıtmaktan uzaktır. Ayrıca, birden fazla amacın çatışan doğası ile çevresel katsayılar ve parametrelerdeki bilginin belirsizliği nedeniyle, tedarik zincirindeki birçok üretim/dağıtım planlama problemleri için geleneksel deterministik yöntemler, etken çözümler elde edebilmek için uygun değildir.

Belirsizlik, etkili bir tedarik zinciri üretim/dağıtım planlama modeli yaklaşımının ortaya koyulabilmesi için ele alınması gereken en önemli husustur. Bir tedarik zincirinde karşılaşılabilecek belirsizlik kaynağı olan parametreler; tedarik süreleri, stok maliyetleri, yok satma maliyetleri ve müşteri talepleridir. Bu parametreleri modelleyebilmek için genellikle stokastik teknikler kullanılmıştır. Bu durumda, belirsizlik kaynakları geçmiş verilerin analiziyle elde edilen olasılık dağılımlarıyla modellenmektedir. Ancak, geçmişe ait veri her zaman bulunamayabileceği gibi güvenilirliği ile ilgili sorunlar da olabilir. Üstelik bu parametreler stokastik yöntemlerle modellenen dahi uygulamada genellikle güçlükler yaşanır.

Giderek kısalan ürün yaşam çevrimleri talepteki değişkenliği ve istatistiksel analizlerin güvenilirliğini sürekli olarak azaltmaktadır. Bu nedenle olasılık teorisi pazar talebini ve stok parametrelerini değerlendirmek için uygun bir yaklaşım olmaktan çıkmıştır. Bunun yanı sıra eldeki verinin yeterliliği ve güvenilirliği ile ölçüm ve veri toplama yöntemlerinden kaynaklanabilecek belirsizlikler de düşünüldüğünde modelleme yaklaşımı olarak olasılık teorisinin yerine olabirlik teorisi kullanılmalıdır [15].

Olabilirlik teorisi frekanslardan yola çıkan olasılık teorisinin aksine bir nesne ile verilen bir özellik arasındaki benzerliğin analiziyle uğraşır. Olabilirlik ile ilgili metodların yanı sıra yönetimin deneyim ve sezgilerine dayalı olarak verdiği kararların etkisi de bu sayede daha iyi modellenilebilir. Bulanık küme teorisi olabirlik kavramını ele alışı ve sözlü ifadeleri modelleyebilmesi nedeniyle belirsizlik ve değişkenliğin yönetimi için bu çalışmada seçilmiş modelleme yaklaşımıdır.

Tedarik zinciri literatürünün kısa geçmişi incelendiğinde bulanık küme teorisinin kullanıldığı çalışmaların son zamanlarda artış gösterdiği anlaşılmaktadır. Petrovic ve diğ. (1999), bulanık ortamda seri bağlı bir tedarik zincirinin davranışını modellemişlerdir. Geliştirdikleri model, tedarik zincirindeki her bir stok için belirsizlik altında, kabul edilebilir maliyetler ile tedarik zincirinin kabul edilebilir bir hizmet düzeyini veren sipariş miktarlarını belirlemektedir. Model, özel amaçlı benzetim programı ile işletilerek sınırlı bir planlama dönemi boyunca seri bağlı tedarik zincirinin performans ölçüleri ve dinamikleri analiz edilmiştir [16]. Chen ve Lee, (2004) belirsiz piyasa talepleri ve ürün fiyatları ile tedarik zinciri ağındaki birden fazla ölçülemeyen amacı gerçekleştirmek için, çok ürünlü, çok kademeli ve çok dönemli planlama modeli önermişlerdir [17]. Talepteki belirsizlik kesikli olasılık senaryoları ile modellenmiş ve satıcı ve

alıcıların ürün fiyatlarında birbiriyle uyuşmayan tercihlerini tanımlamak için bulanık kümeler kullanılmıştır. Wang ve Shu (2005), tedarik zincirindeki belirsizlikleri ele alan ve stok stratejilerini belirleyen alternatif bir çerçeve oluşturabilmek için olabilirlik teorisi ve genetik algoritma yaklaşımını birleştiren bulanık tedarik zinciri modeli sunmuşlardır [18].

Xie ve diğ. (2006), tedarik zincirinin belirsiz müşteri talepleri ile işletildiği ve bulanık küme ile modellendiği sıralı bir tedarik zincirinde stok yönetimi ve kontrolünü sağlamak için iki seviyeli hiyerarşik bir metod tasarlamıştır [19]. Xu ve diğ. (2008) Çin'deki bir likör üreticisi için tedarikçiler, üretim tesisleri, dağıtım merkezleri ve müşterilerden oluşan tedarik zinciri ağ yapısında, açılacak üretim tesisi ve dağıtım merkezlerine karar vermek ve dağıtım stratejisini belirlemek üzere rassal bulanık talepli, çok amaçlı karışık tam sayılı doğrusal olmayan programlama modeli önermişlerdir [20].

Liang (2006), üretim/dağıtım planlama karar problemini çözmek için taşıma maliyetlerini ve toplam teslim zamanını en azlayan bir bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli önermiştir [21]. Ayrıca, belirsizlik altında tedarik zincirinde bulanık hedefler ve kesin kısıtları olan bütünlük üretim/dağıtım planlama karar problemlerini çözmek için bulanık doğrusal programlama yaklaşımını sunmuştur. Bu yaklaşımda karar vericinin bulanık hedeflerini temsil eden parçalı doğrusal üyelik fonksiyonları kullanılmış ve etkileşimli karar verme süreci yoluyla daha esnek bir doktrin başarılmıştır [22]. Liang ve Cheng, her bir işletme maliyeti kategorisi için paranın zaman değerini dikkate alarak, çok ürünlü, çok dönemli bir tedarik zincirindeki bütünlük üretim/dağıtım planlama karar problemini çözmek için yeni bir bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımı önermişlerdir [23]. Işık ve Özdemir (2010) çalışmalarında, çok amaçlı, çok ürünlü ve çok dönemli bulanık bir bütünlük üretim planlama problemini ele almışlar, problemin çözümü için etkileşimli olabilsel doğrusal programlama modeli önermişlerdir [24].

Paksoy ve diğ. (2012), verilerin üçgensel bulanık sayılarla modellendiği çok amaçlı doğrusal programlama metodu ile yenilebilir bir sebze yağı üreticisinin bütünlük tedarik zinciri ağına bulanık küme teorisini uygulamıştır [25]. Paksoy ve Pehlivan (2012), çok aşamalı tedarik zinciri optimizasyonu için üçgensel ve trapezoidal üyelik fonksiyonlarına sahip bir bulanık doğrusal programlama modeli önermişlerdir [26]. Kabak ve Ülengin (2012), uzun dönemli kaynak atama, ürün tedariki ve üretim kararlarının verilebilmesini sağlayan tedarik zinciri ağ yapılandırma kararları için olabilsel doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir [27].

Mula ve diğ. (2010) çok ürünlü, çok aşamalı, belirsiz talepli tedarik zinciri üretim planlamasında bulanık matematiksel programlamanın etkinliğini ispat eden bir çalışma yapmışlardır. Fahimnia ve diğ. (2013), bütünlük üretim/dağıtım planlaması modelleri ve teknikleri üzerine bir inceleme ve eleştiri yapmışlardır [29].

Bu çalışmada, belirsizlik altında, malzeme ihtiyaç kısıtlı, çok ürünlü, çok aşamalı ve çok dönemli bir tedarik zinciri ağındaki birden fazla ölçülemeyen amacı gerçekleştirmek için tedarik zinciri planlama modeli önerilmiştir. Önerilen modelde, karar vericilerin kesin olmayan hedef değerleri ile belirsiz müşteri taleplerini temsil etmek üzere bulanık hedef programlama yaklaşımı kullanılmıştır. Ayrıca, tedarik zinciri literatüründeki benzer çalışmalardan farklı olarak EÜM modeline göre sipariş verme, stok bulundurma ve yok satma maliyetlerine yer verilmiştir.

Dağıtım ağlarının doğası gereği, bu konuda geliştirilen modellerin büyük bir bölümü karışık tam sayılı doğrusal programlama şeklindedir. Ancak, bütünlük tedarik zinciri ağ tasarımı problemlerinde koşullar doğrusal olmayan bir yapı arz ettiğinden, doğrusal olmayan fonksiyonların kullanıldığı bir problem çözüm mantığı uygulanmalıdır. Gerçek hayatta karşılaşılan problemler için geliştirilen karar modellerinin kısıtlarından en az biri veya amaç fonksiyonunun doğrusal olmadığı durumlar için geliştirilen tüm kavram ve teknikler "Doğrusal Olmayan Programlama" adı altında incelenmektedir. Geliştirilen model, gerçek durumları yansıtmaya veya tesis yeri seçimi problemlerinin belirgin yönlerine odaklanma düşüncesi ile birçok ilave özelliği içinde barındırmaktadır. EÜM modelindeki üretim hızı ve talep hızı arasındaki ilişkinin doğrusal olmayan yapısı önerilen modelde doğrusal olmayan programlama yaklaşımını zorunlu kılmaktadır.

Bu makalede tedarik zinciri ağının stratejik planlamasına odaklanılmıştır. Ağ tasarım problemlerinin, literatürde yeterince ilginin gösterilmediği, birçok pratik yanlarını birlikte kavrayan çerçeve bir matematiksel model önerilmiştir. Önerilen modelin çözümünden elde edilen sonuçlar, bulanık modelleme ve çözüm yaklaşımlarının daha gerçekçi tedarik zinciri modelleri oluşturulmasında kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

Çalışmanın giriş bölümünde, çalışmanın bütününe temel teşkil edecek ve okuyucuya TZY'ne ilişkin terminolojiyi açıklayıcı kısa tanımlara yer verilmiş, ikinci bölümde tedarik zinciri modellemesi ile ilgili literatür incelenmiştir. Üçüncü bölümde önerilen bütünlük tedarik zinciri ağına tesis yeri seçimi problemi için bulanık çok amaçlı karışık tam sayılı doğrusal olmayan programlama modeli sunulmuştur. Dördüncü bölümde matematiksel modelin bulanık hedef programlama formülasyonu, çözüm yöntemi ve aşamaları açıklanmıştır. Beşinci bölümde örnek bir problem üzerinde uygulama ve sayısal analiz yapılmış, altıncı bölümde ise sonuç ve ileride yapılabilecek çalışmalar anlatılmıştır.

### 3 Önerilen Matematiksel Model

#### Problem Tanımı

Matematiksel modelin gerçek hayattaki problemleri daha iyi yansıtabilmesi için çok aşamalı, çok dönemli, malzeme ihtiyaç kısıtları ile stok bulundurma ve yok satmayı göz önünde bulunduran, bütünlük tedarik zinciri ağındaki tesis yeri seçimi problemi için bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan programlama modeli tasarlanmıştır.

Buna göre; planlama dönemi başlangıcından sonuna kadar bir firma üretim tesisleri için hammadde/yarı ürün gereksinimlerini belirli sayıdaki tedarikçiler aracılığı ile karşılamaktadır. Her tedarikçinin temin edebileceği hammadde/yarı ürün türü belirli ve kapasiteleri sınırlıdır. Model genel olarak tedarikçiyi seçmek ve sonra hangi tedarikçinin hangi hammaddeyi dağıtacağını ayrıntılı olarak belirlemek zorundadır.

Üretim tesislerine farklı bileşenler şeklinde gelen hammadde/yarı ürünler birtakım işlemlerden geçerek üretim için kullanılmaktadır. Bu ürünler belli oranlarda bir araya getirilerek müşteri bölgelerine ulaşacak bitmiş ürünleri oluşturmaktadır. Bu nedenle müşteri taleplerinin karşılanması için tedarik zincirindeki malzeme ihtiyaç planının bitmiş ürün içindeki hammadde/yarı ürün oranları dikkate alınarak gözden geçirilmesi gerekmektedir.

Ürünler üretim tesislerinden ve dağıtım merkezlerinden geçerek müşterilere ulaşmaktadır. Üretim tesislerinden gönderilen bitmiş ürünlerden belirli bir oranı ise çeşitli nedenlerle (defolu üretim, taşıma sırasında meydana gelen hasarlar vb.) dağıtım merkezlerine teslim edilememektedir. Dönem başlarında müşteri taleplerinde değişimler meydana geldiğinden, üretim tesislerinden dağıtım merkezlerine gönderilen ürünlerden bazıları elde kalmakta, bazıları ise müşteri taleplerini karşılayamamaktadır. Eğer üretim tesislerinden dağıtım merkezlerine gönderilen ürünler o dönem için müşteri taleplerinden fazla ise, firma bir sonraki dönem için elde stok bulundurmakta, bu durumda firma stok bulundurma maliyetine katlanmaktadır. Eğer üretim tesislerinden dağıtım merkezlerine gönderilen ürünler o dönem için müşteri taleplerinden az ise firma karşılamadığı ürün için yok satma maliyetine katlanmak zorunda kalmakta ve yok satılan miktar bir sonraki döneme devredilmektedir.

### Varsayımlar

Tedarikçiler, üretim tesisleri ve dağıtım merkezlerinin sayıları ve kapasiteleri belirlidir.

Müşteriler buldukları konum ve talebe bağlı olarak kendilerine en yakın dağıtım merkezinden hizmet almaktadır.

Her müşteri bölgesi planlama dönemi boyunca yalnız bir dağıtım merkezinden hizmet almaktadır.

Verilen siparişler dönem içinde bir anda alınmaktadır (Temin süresi sıfırdır).

Üretim hızı talep hızından büyüktür.

Yok satmaya izin verilmektedir.

Amaç fonksiyonları da belirsiz aspirasyon seviyelerinin olması nedeniyle bulanık varsayılmıştır.

Klasik EÜM modelinden farklı olarak bu çalışmada ürünler için müşteri taleplerinin bulanık olduğu varsayılmıştır. Tedarik zinciri ağındaki belirsizliklerden en önemlisi de müşteri taleplerindeki belirsizliktir. Burada Klasik EÜM modelinin "talep hızı belirli ve her dönemde sabittir" varsayımı gevşetilmiş ve gerçek dünya durumlarına daha uygun bir EÜM modeli sunulmaya çalışılmıştır.

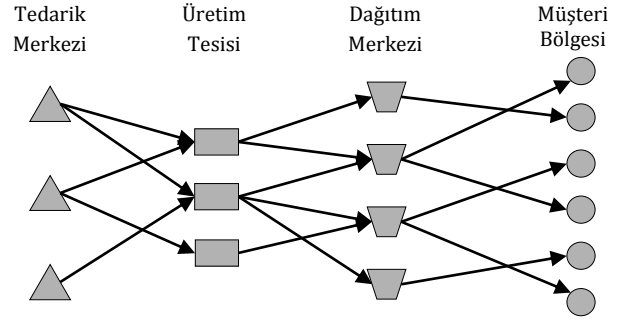
EÜM modeli, ESM modelinin genişletilmiş bir türüdür. Bu modelin varsayımları ESM modelinin varsayımları ile aynıdır. EÜM modelinin çözümü üretim, hazırlık ve stok bulundurma maliyetlerinin toplamını en azlayan üretim miktarının bulunmasını sağlar. Türev alma işlemleri sonucu EÜM denklem (2)'deki gibi bulunur.

Literatürde EÜM modelindeki parametrelerin tamamının veya bir kısmının bulanık ele alındığı pek çok çalışma vardır.

Chang (1999) üretim miktarının üçgensel bulanık sayılarla ifade edildiği bir Bulanık Ekonomik Üretim Miktarı (BEÜM) probleminin çözümü için genelleme ilkesine bağlı bulanık aritmetik işlemler kullanarak bulanık toplam maliyet fonksiyonunu tanımlamış ve elde edilen bulanık toplam maliyeti merkezi durulaştırma yöntemiyle durulaştırmıştır [30]. Daha sonraki bir çalışmada Hsieh (2002), üretim miktarı haricindeki bütün parametrelerin yamuk bulanık sayılarla ifade edildiği bir model ile üretim miktarı da dahil bütün parametrelerin bulanık sayılarla ifade edildiği iki ayrı model önermiştir [31]. Chang ve Chang, (2006) modellerinde, maliyet fonksiyonuna üretim maliyetini de dahil etmiş ve parti büyüklüğüne bağlı birim maliyet yapısını incelemişlerdir. Modellerinde üretim parti büyüklüğü, günlük talep ve günlük üretim hızı parametreleri ve birim ürün maliyet değeri bulanık sayılarla ifade edilmiştir [32]. Chen ve diğ. (2007) çalışmalarında Hsieh (2002)'in modelini genişleterek indirimli

bir fiyattan satılabilen kusurlu ürünler için BEÜM modeli önermişlerdir [33]. Chen ve Chang (2008) BEÜM modelini genişleterek yeniden onarılamayan hasarlı ürünler için çözüm önermişlerdir [34]. BEÜM modelleri için ayrıntılı literatür taraması Behret, (2011)'in çalışmasında mevcuttur [35].

Tedarikçiler, üretim tesisleri, dağıtım merkezleri ve müşterilerden oluşan çok aşamalı tedarik zinciri ağ yapısı aşağıdaki Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1: Önerilen matematiksel modelin tedarik zinciri ağı.

### Notasyon

İndisler:

$i$  : Tedarikçiler,  $i = 1, 2, 3, \dots, I$

$j$  : Üretim tesisi sayısı,  $j = 1, 2, 3, \dots, J$

$k$  : Dağıtım merkezi sayısı,  $k = 1, 2, 3, \dots, K$

$l$  : Müşteri sayısı,  $l = 1, 2, 3, \dots, L$

$r$  : Hammadde çeşitleri,  $r = 1, 2, 3, \dots, R$

$t$  : Dönemler,  $t = 1, 2, 3, \dots, T$

Karar Değişkenleri:

$X_{ijrt}$  =  $t$ . dönemde  $i$  tedarikçisinden  $j$  üretim tesisine gönderilen  $r$ . hammadde miktarı,

$Y_{jkt}$  =  $t$ . dönemde  $j$  üretim tesisinden  $k$  dağıtım merkezine taşınan ürün miktarı,

$Z_{klt}$  =  $t$ . dönemde  $k$  dağıtım merkezinden  $l$  müşterisine gönderilen ürün miktarı.

$$w_{jt} = \begin{cases} 1, & t. \text{ dönemde } j \text{ üretim tesisi açılırsa} \\ 0, & \text{dd.} \end{cases}$$

$$z_{kt} = \begin{cases} 1, & t. \text{ dönemde } k \text{ dağıtım merkezi açılırsa} \\ 0, & \text{dd.} \end{cases}$$

$$v_{klt} = \begin{cases} 1, & t. \text{ dönemde } k \text{ dağıtım merkezinden } l \text{ müşteri bölgesine ürün gönderilirse.} \\ 0, & \text{dd.} \end{cases}$$

Amaç Fonksiyonu Maliyet Katsayıları:

$S_{ij}$  =  $i$  tedarikçisinden  $j$  üretim tesisine hammadde göndermenin birim taşıma maliyeti,

$T_{jk}$  =  $j$  üretim tesisinden  $k$  dağıtım merkezine gönderilen ürünlerin birim taşıma maliyeti,

$U_{kt}$  =  $k$  dağıtım merkezinden  $l$  müşterisine gönderilen ürünlerin birim taşıma maliyeti,

$f_{jt}$  =  $t$ . dönemde üretim tesislerinin sabit maliyeti (açma ve işletme),

$g_{kt}$  =  $t$ . dönemde dağıtım merkezlerinin sabit maliyeti (açma ve işletme),



$C_{ckt}$  =  $t$ . dönemde  $k$  dağıtım merkezindeki satın alma maliyeti,  
 $Co_{kt}$  =  $t$ . dönemde  $k$  dağıtım merkezindeki sipariş verme maliyeti,  
 $Ch_{kt}$  =  $t$ . dönemde  $k$  dağıtım merkezindeki stok bulundurma maliyeti,  
 $\pi_{kt}$  =  $t$ . dönemde  $k$  dağıtım merkezindeki yok satma maliyeti.  
**Teknolojik Katsayılar:**  
 $a_{irt}$  =  $t$ . dönemde  $i$  tedarik merkezinin  $r$ . hammadde kapasitesi,  
 $b_{jt}$  =  $t$ . dönemde  $j$  üretim tesisinin ürün kapasitesi,  
 $C_{kt}$  =  $t$ . dönemde  $k$  dağıtım merkezinin ürün kapasitesi,

$\delta_r$  = Birim bitmiş ürün içindeki  $r$ . hammaddenin kullanım miktarı,  
 $\gamma_{jkt}$  =  $t$ . dönemde  $j$  üretim tesisinden  $k$  dağıtım merkezine gönderilemeyen ürünlerin oranı,

Genel Veriler :

$d_{lt}$  =  $t$ . dönemde  $l$  müşteri bölgesinin ürün talebi,  
 $P_t$  =  $t$ . dönemde açılacak toplam üretim tesisi sayısının üst sınırı,  
 $W_t$  =  $t$ . dönemde açılacak toplam dağıtım merkezi sayısının üst sınırı.

$$\text{Min } f_1 = \sum_{ijrt} S_{ij} X_{ijrt} + \sum_{jkt} T_{jk} Y_{jkt} + \sum_{klt} U_{kl} Z_{klt} + \sum_{jt} f_{jt} w_{jt} + \sum_{kt} g_{kt} z_{kt} \quad (1)$$

$\text{Min } f_2 = \text{Hazırlık (Sipariş)} + \text{Üretim (Satın Alma)} + \text{Stok Bulundurma} + \text{Yok Satma Maliyeti}$

$$= \sum_{klt} C_{ckt} \cdot Z_{klt} + \sum_t Co_{kt} \cdot \left[ \frac{\sum_{klt} Z_{klt}}{2 \sum_{klt} Co_{kt} \sum_{klt} Z_{klt} (Ch_{kt} + \pi_{kt})} + \frac{\sum_{klt} Ch_{kt} \cdot Z_{klt}}{2 \sum_{klt} Co_{kt} \sum_{klt} Z_{klt} (Ch_{kt} + \pi_{kt})} \right] \cdot \left[ \frac{2 \sum_{klt} Co_{kt} \sum_{klt} Z_{klt} (Ch_{kt} + \pi_{kt})}{\sum_{klt} Ch_{kt} \cdot \pi_{kt} \left( 1 - \frac{\sum_{klt} Z_{klt}}{\sum_{jkt} Y_{jkt}} \right)} \left( 1 - \frac{\sum_{klt} Z_{klt}}{\sum_{jkt} Y_{jkt}} \right) - \frac{2 \sum_{klt} Co_{kt} \sum_{klt} Z_{klt} Ch_{kt}}{\sum_{klt} (Ch_{kt} + \pi_{kt}) \left( 1 - \frac{\sum_{klt} Z_{klt}}{\sum_{jkt} Y_{jkt}} \right)} \right]^2$$

$$\left( \frac{1}{\sum_{jkt} Y_{jkt} - \sum_{klt} Z_{klt}} + \frac{1}{\sum_{klt} Z_{klt}} \right) + \frac{\sum_{kt} \pi_{kt}}{2} \cdot \left[ \frac{2 \sum_{klt} Co_{kt} \sum_{klt} Z_{klt} Ch_{kt}}{\sum_{klt} (Ch_{kt} + \pi_{kt}) \left( 1 - \frac{\sum_{klt} Z_{klt}}{\sum_{jkt} Y_{jkt}} \right)} \right] \cdot \left[ \frac{\sum_{klt} Z_{klt}}{2 \sum_{klt} Co_{kt} \sum_{klt} Z_{klt} (Ch_{kt} + \pi_{kt})} \left( \frac{1}{\sum_{jkt} Y_{jkt} - \sum_{klt} Z_{klt}} + \frac{1}{\sum_{klt} Z_{klt}} \right) \right]$$

Kısıtlar:

$$\sum_j X_{ijrt} \leq a_{irt} \quad \forall_i \in I, \quad \forall_r \in R, \quad \forall_t \in T \quad (3)$$

$$\sum_i X_{ijrt} - \delta_r \sum_k Y_{jkt} = 0 \quad \forall_i \in I, \quad \forall_r \in R, \quad \forall_t \in T \quad (4)$$

$$\sum_k Y_{jkt} \leq b_{jt} w_{jt} \quad \forall_j \in J, \quad \forall_t \in T \quad (5)$$

$$\sum_j w_{jt} \leq P_t \quad \forall_t \in T \quad (6)$$

$$\sum_j Y_{jkt} - \gamma_{jkt} \sum_j Y_{jkt} \geq \sum_l Z_{klt} \quad \forall_k \in K, \quad \forall_t \in T \quad (7)$$

$$Z_{klt} \geq d_{lt} v_{klt} \quad \forall_k \in K, \quad \forall_l \in L, \quad \forall_t \in T \quad (8)$$

$$\sum_l Z_{klt} \leq c_{kt} z_{kt} \quad \forall_k \in K, \quad \forall_t \in T \quad (9)$$

$$\sum_k z_{kt} \leq W_t \quad \forall_t \in T \quad (10)$$

$$\sum_l v_{klt} = 1 \quad \forall_k \in K, \quad \forall_t \in T \quad (11)$$

$$w_{jt}, z_{kt}, v_{klt} \in \{0,1\} \quad (12)$$

$$X_{ijrt}, Y_{jkt}, Z_{klt} \geq 0 \quad \forall_{i,j,k,l,r,t} \quad (13)$$

Geliştirilen bulanık çok amaçlı programlama modelinde birbiriyle çatışan iki amaç vardır. Birinci amaç, tedarik zincirindeki sabit tesis açma ve işletme maliyetleri ile uzaklıklara bağlı olarak belirlenen taşıma maliyetlerinin en azlanmasından oluşmaktadır. İkinci amaç; EÜM modeline göre hazırlık, üretim, stok bulundurma ve yok satma maliyetlerinin en azlanmasıdır.

Kısıt (3), gönderilen hammadde/yarı ürünlerin tedarik merkezinin kapasitesini aşamayacağını garanti etmektedir. Kısıt (4), tedarik merkezlerinden üretim tesislerine gönderilen hammadde/yarı ürünlerin bitmiş ürün üretmek için gerekli olan hammadde/yarı ürün kadar olmasını garanti etmektedir (Birinci aşama denge kısıtı). Kısıt (5), üretim tesislerinden gönderilen ürünlerin açık olan tesislerin kapasitesinden fazla olmamasını garanti eder. Kısıt (6), her bir dönem için açılacak toplam üretim tesisi sayısının üst sınırını belirlemektedir. Kısıt (7), üretim tesislerinde üretilen ürünler ile dağıtım merkezlerine gönderilemeyen defolu ürün miktarının toplamının en az dağıtım merkezine gönderilen miktar kadar olmasını sağlar (İkinci aşama denge kısıtı). Kısıt (8), dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine gönderilen ürün miktarının en az müşteri talebi kadar olmasını garanti etmektedir. (Talep kısıtı). Kısıt (9), dağıtım merkezi kapasite

kısıttır. Kısıt (10), her bir dönem için açılacak toplam dağıtım merkezi sayısının üst sınırını belirlemektedir. Kısıt (11), bir müşteri noktasının planlama dönemi boyunca açık olan en uygun dağıtım merkezinden yalnızca bir kez hizmet almasını sağlamaktadır. Kısıt (12) ve (13), işaret kısıtlarıdır.

#### 4 Önerilen Matematiksel Modelin Bulanık Hedef Programlama Formülasyonu

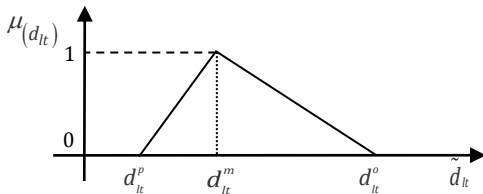
##### 4.1 Bulanık Talep Kısıtını Çözüm Yöntemi

Belirsizliği ele alış tarzı bulanıklık yaklaşımını diğerlerinden farklı yapmaktadır. Diğer belirsizlik metodlarının aksine bulanık matematiksel programlama, belirsiz parametreleri bulanık sayılar ve bunlarla ilişkili kısıtları bulanık kümeler olarak ele alır. Bir kısıtın doyum derecesi, üyelik fonksiyonu değerinin bir ölçüde kısıt ihlali anlamına geldiği, kısıtların üyelik fonksiyonu cinsinden tanımlanır. Bu şekilde bir miktar kısıt ihlaline izin verilmektedir.

Bulanık hedef programlama için geliştirilen çözüm yaklaşımlarının birçoğunda bulanık hedefler, işlemsel kolaylık sağlaması nedeniyle Zimmermann tipi üyelik fonksiyonları ile nitelenmiştir. Bulanık matematiksel programlama Zimmermann (1978;1991) tarafından, karar vericinin ulaşmak istediği amaç fonksiyonunun değeri için bir istek seviyesi (hedef aralığı-aspirasyon seviyesi) kurulabileceğini ve kısıtların her birinin bir bulanık küme olarak modellenebileceğini ortaya atarak yaygınlaştırılmıştır [36], [37].

Önerilen modelde belirsiz talep parametreleri üçgensel bulanık sayılar ile gösterilmiştir. Üçgensel bulanık sayılar, bu parametrelerin kötümser, beklenen ve iyimser değerlerini gösterecek şekilde tanımlanmıştır. Böylece bulanık bir talep kısıtı oluşturulmuştur. Lai ve Hwang, (1992;1994) matematiksel işlemleri daha etkin yapabilmek için üyelik fonksiyonlarını simetrik üçgensel fonksiyonlar ile göstermiştir. Buna göre talepteki belirsizliği temsil etmek üzere  $\tilde{d}_{it}^m$  üçgenin modal noktası olup hedefin en olası değerini,  $\tilde{d}_{it}^p$  ve  $\tilde{d}_{it}^o$  ise sağ ve sol ayakların ortaya olan mesafeleri olup, hedefin  $\tilde{d}_{it}^m$ 'den sapma miktarını (en kötümser ve en iyimser değerlerini) gösterir. Talep kısıtı için üçgensel üyelik fonksiyonu  $\mu_{(d_{it})}$  ile gösterilir [38], [39].

Üçgensel bulanık sayılar, verilerin kolay elde edilebilmesi, bulanık aritmetik işlemlerin basitliği ve esnekliğinden kaynaklanan hesaplamaya kolaylığı nedeniyle literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır (Bkz, [38], [39], [21], [22], [23], [40], [41]). Üçgensel üyelik fonksiyonunun grafik gösterimi Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2: Üçgensel bulanık sayı  $\mu_{(d_{it})}$  dağılımı.

Yukarıda formüle edilen orijinal bulanık çok amaçlı programlama modelindeki Kısıt (8)'den anımsanacağı üzere, müşteri talebi  $d_{it}$  en çok olası ve en az olası değerlere sahip üçgensel bulanık sayıdır. Bu çalışmada  $d_{it}$  değerini duru hale getirmek için Lai ve Hwang (1992) tarafından önerilen ağırlıklı ortalama metodu kullanılmıştır [38]. Eğer kabul edilebilir en küçük üyelik derecesi,  $\alpha$ , verilirse, buna karşılık gelen denk talep kısıtı aşağıdaki şekilde olur:

$$Z_{klt} \geq (w_1 d_{lt,\alpha}^p + w_2 d_{lt,\alpha}^m + w_3 d_{lt,\alpha}^o) \cdot v_{klt} \quad \forall_k, \forall_l, \forall_t \quad (14)$$

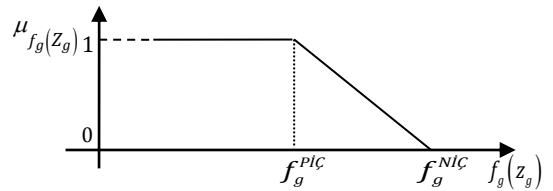
Burada, en kötümser, en olası ve en iyimser değerleriyle  $w_1+w_2+w_3=1$ 'dir. Uygulamada ağırlıklar karar vericinin tecrübe ve bilgisine göre belirlenir. Bu çalışmada bulanık talep kısıtı için  $w_1=4/6$ ,  $w_2=w_3=1/6$  olan, Lai ve Hwang, (1992)'ın önerdikleri en olası değer kavramı benimsenmiştir. Bunun temel nedeni, en olası değer genellekle en önemli olması ve böylece daha fazla ağırlık almasıdır [38].

Gerçek hayatta bir karar verici, önerilen yaklaşımı kullanırken uygun bir  $\alpha$ -kesim seviyesini belirlemek zorundadır.  $\alpha$ -kesim seviyesindeki bir değişiklik, hedef değeri ve dolayısıyla çıktı sonuçlarını etkileyecektir.  $\alpha$ -kesim değeri ve üç kritik noktanın göreceli ağırlıkları, karar vericinin tecrübe ve bilgisine dayalı olarak subjektif bir şekilde ayarlanabilir.

##### 4.2 Bulanık Çok Amaçlı Programlama Modelinin Çözüm Yöntemi

Bu çalışmada geliştirilen bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan programlama modeli, bütün amaçları temsil etmek üzere doğrusal üyelik fonksiyonlarını kullanarak, bulanık aritmetik işlemlerdeki hesaplama kolaylığı ve esnekliğini ortaya koymaktadır. Amaç fonksiyonlarının doğrusal tekdüze azalan üyelik fonksiyonları ile grafik gösterimi Şekil 3'te verilmiştir.

$$f_g(z_g) = \begin{cases} 1, & z_g \leq z_g^{PIÇ}, \\ \frac{z_g^{NİÇ} - z_g}{z_g^{NİÇ} - z_g^{PIÇ}}, & z_g^{PIÇ} < z_g < z_g^{NİÇ}, \\ 0, & z_g \geq z_g^{NİÇ} \end{cases} \quad g=1,2,\dots,K \quad (15)$$



Şekil 3: Doğrusal tekdüze azalan üyelik fonksiyonunun grafik gösterimi.

Burada,  $g$ 'inci amaç fonksiyonu için  $Z_g^{PIÇ}$  ve  $Z_g^{NİÇ}$  sırasıyla pozitif ideal çözüm (PIÇ, alt sınır) ve negatif ideal çözüm (NİÇ, üst sınır)'ü göstermektedir. Doğrusal üyelik fonksiyonları, karar vericiden amaç fonksiyon değeri aralığını  $[Z_g^{PIÇ}, Z_g^{NİÇ}]$  seçmesi istenerek belirlenebilir. Bir amaç fonksiyonu için olası değer aralığı, karar verici ve/veya uzmanın bilgi ve tecrübesine dayanarak tahmin edilebilir ve karar vericinin denk üyelik fonksiyon derecesi normalde  $[0,1]$  aralığındadır.

Bütün bulanık kümeleri birleştirmek için Bellman ve Zadeh (1970)'in bulanık karar verme minimum işlemcisi kullanılır. Diğer bir deyişle, belirlenen üyelik fonksiyonlarını kullanarak, bütünleşik tedarik zinciri ağında tesis yeri seçimi problemi için bulanık çok amaçlı karışık tam sayılı doğrusal olmayan programlama modeli,  $\lambda$  karar değişkeninde gösterilen aşağıdaki optimizasyon problemine dönüştürülür [42].

Max  $\lambda$

s.t.

$$\lambda \leq f_g(z_g) \quad \forall_g$$

$$\text{Kısıt (3-7), (9-11), (14)} \quad (16)$$

$$w_{jt}, z_{kt}, v_{klt} \in \{0,1\}$$

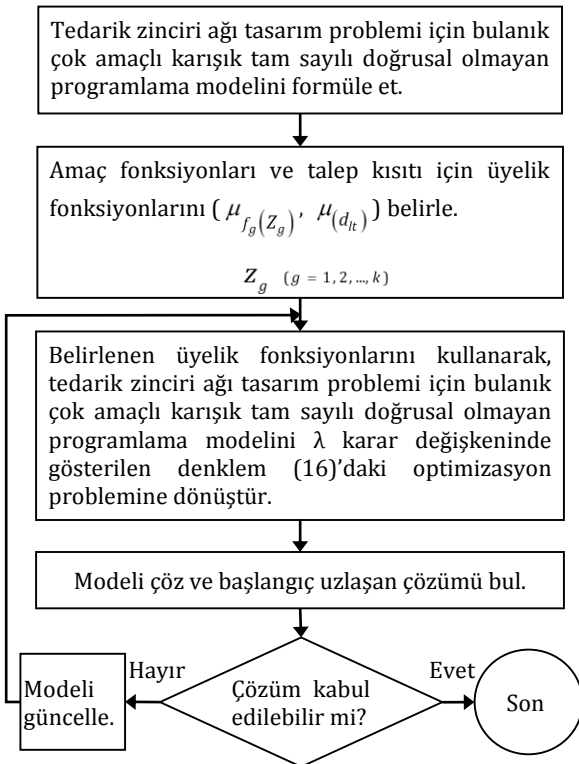
$$X_{ijr}, Y_{jkt}, Z_{klt} \geq 0 \quad \forall_{i,j,k,l,r,t}$$

$$0 \leq \lambda \leq 1$$

#### 4.3 Önerilen Modelin Çözüm Algoritması

- Adım 1 : Bulanık çok amaçlı bütünleşik tedarik zinciri ağında tesis yeri seçimi problemini çözmek için orijinal çok amaçlı doğrusal olmayan programlama (DOP) modelini formüle et,
- Adım 2 : Kabul edilebilir en küçük üyelik derecesi  $\alpha$ 'yı belirle, daha sonra ağırlıklı ortalama metodunu kullanarak bulanık eşitsizlik kısıtlarını duru hale getir,
- Adım 3 : Her bulanık amaç için Pozitif İdeal Çözüm (PİÇ) ve Negatif İdeal Çözümü (NİÇ) belirle ve bunlara karşılık gelen doğrusal tekdüze azalan/artan üyelik fonksiyonlarını tanımla,
- Adım 4 : Bütün bulanık kümeleri birleştirmek için minimum işlemcisi kullanarak yardımcı değişken  $\lambda$ 'yı ata ve orijinal problemi denk sıradan DOP problemine dönüştür,
- Adım 5 : Sıradan tek amaçlı DOP modelini çöz ve başlangıç uzlaşan çözümü elde et.
- Adım 6 : Bulanık karar verme sürecini uygula ve güncelleştir. Eğer karar verici başlangıç çözümünü yeterli bulmaz ise, model, tercih edilen bir doyurucu çözüm elde edilinceye kadar güncelleştirilir

Geliştirilen modelin akış diyagramı Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4: Önerilen matematiksel modelin akış diyagramı.

## 5 Uygulama ve Sayısal Analiz

### 5.1 Örnek Problem Uygulaması

Bu bölümde örnek bir problem üzerinden anlatılan model için gerçek hayattaki endüstriyel durumu yansıtan küçük

parametreler kümesi oluşturulmuştur. Model ile ilgili tesislerin ürün kapasite aralıkları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Tesislerin ürün kapasiteleri (Birim).

Tesisler	Aralık
Tedarik Merkezleri	500-1000
Üretim Tesisleri	300-500
Dağıtım Merkezleri	200-400

Ürün taşıma maliyetleri, 100 km'de harcanan yakıt miktarının, yakıtın litre fiyatı ve tesisler arasındaki uzaklıkların çarpılması ile belirlenmiştir. Tesisler arasındaki uzaklıklar sırasıyla tedarik merkezleri ile üretim tesisleri arası 100-380 km., üretim tesisleri ile dağıtım merkezleri arası 70-220 km., dağıtım merkezleri ile müşteri bölgeleri arası 10-60 km aralığında rassal tekdüze dağılımdan üretilmiştir. Ürün taşıma maliyetleri, 100 km'de harcanan yakıt miktarının, yakıtın litre fiyatı ve tesisler arasındaki uzaklıkların çarpılması ile belirlenmiştir. Modelde bir birim bitmiş ürün üretmek için kullanılacak hammadde/yarı ürün miktarı 3-5 birim arasında, üretim tesislerinden dağıtım merkezlerine gönderilen bitmiş ürünlerden çeşitli nedenlerle (defolu üretim, taşıma sırasında meydana gelen hasarlar vb.) teslim edilemeyen belirli bir oranı temsil etmek üzere modele dahil edilen fire oranı 0.1-0.4 birim arasında, müşteri bölgelerindeki talepler ise her dönem için 100-150 birim ürün olacak şekilde rassal tekdüze dağılımdan üretilmiştir. Diğer maliyet parametreleri ve aralıkları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Maliyet parametreleri (TL).

Parametreler	Aralık
Üretim Tesisi Açma ve İşletme Maliyeti	700-950
Dağıtım Merkezi Açma ve İşletme Maliyeti	190-350
Satın Alma Maliyeti	50-70
Sipariş Verme Maliyeti	200-300
Stok Bulundurma Maliyeti	5-35
Yok Satma Maliyeti	20-40

Önerilen modelin çözüm yordamının kolay anlaşılmasını sağlamak için, 3 dönemi kapsayan, her dönemde en fazla 3 tedarikçi, 2 üretim tesisi, 2 dağıtım merkezinin açık olduğu, planlama dönemi boyunca toplam 5 müşteri bölgesine hizmet veren küçük boyutlu örnek test problemi oluşturulmuştur.

Yukarıda parametre aralıkları verilen ve boyutları tanımlanan bütünleşik tedarik zinciri ağında tesis yeri seçimi problemini çözmek için önerilen bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan programlama modelinin etkileşimli çözüm aşamaları aşağıda sunulmuştur.

İlk önce; çok aşamalı, çok dönemli ve çok amaçlı bütünleşik tedarik zinciri ağında tesis yeri seçimi problemini çözmek için orijinal bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan programlama modeli denklem (1-14)'teki gibi formüle edilerek kısıt (14) kullanılır ve  $\alpha=0.5$  kesim katsayısında bulanık eşitsizlik kısıtı duru hale getirilir. Daha sonra; karar vericinin her bulanık sayının üçgensel dağılımının en olası değerini kesin değer olarak belirlediği varsayımı ile örnek problem, amaç fonksiyonlarının alt ve üst sınırlarını belirlemek için, Lai ve Hwang (1992) tarafından önerilen yöntem kullanılarak durulaştırılan talep kısıtı ile birlikte diğer kısıtlar altında her amaç tek başına çözülür. Bulanık amaç fonksiyonlarının tekdüze azalan doğrusal üyelik fonksiyonları denklem (15) yoluyla gösterimi aşağıdadır:

$$f_1(z_1) = \begin{cases} 1, & z_1 \leq 51771.768, \\ \frac{84938.424 - z_1}{33166.656}, & 51771.768 < z_1 < 84938.424 \\ 0, & z_1 \geq 84938.424 \end{cases} \quad (17)$$

$$f_2(z_2) = \begin{cases} 1, & z_2 \leq 32949.862, \\ \frac{36707.484 - z_2}{3757.622}, & 36707.484 < z_2 < 32949.862 \\ 0, & z_2 \geq 36707.484 \end{cases} \quad (18)$$

Son olarak; bütün bulanık kümeleri birleştirmek için minimum işlemcisi kullanılarak yardımcı değişken  $\lambda$  atanır ve orijinal problem denk sıradan doğrusal olmayan programlama problemine dönüştürülür. Tablo 3, örnek test probleminin tek amaçlı doğrusal olmayan programlama modelinden elde edilen en iyi çözümleri, her bulanık amaç için karşılık gelen aralık değerleri ve elde edilen başlangıç uzlaşan çözümlerini göstermektedir. Önerilen model kullanılarak elde edilen

başlangıç çözümlerinin amaç fonksiyon değerleri  $Z_1=56133.798$  ve  $Z_2=33465.219$  TL olur.

Ayrıca, eğer karar verici başlangıç çözümünü yeterli bulmaz ise model, tercih edilen bir doyurucu çözüm elde edilinceye kadar güncelleştirilebilir. Önerilen yaklaşımda karar vericinin, elde edilen çözümlerin amaç fonksiyon değerlerine dayanarak, bu çözümlerini iyileştirmek istediğini ve bulanık amaç fonksiyonlarının alt ve üst sınırlarını güncelleştirdiğini varsayalım. Bu durumda, iyileştirilmiş çözümlerin amaç fonksiyon değerleri  $Z_1=56107.198$  ve  $Z_2=33465.219$  TL elde edilir. Önerilen modelin başlangıç çözümleri ile iyileştirilmiş çözümlerinin amaç fonksiyon değerlerinin karşılaştırılması Tablo 4'te gösterilmiştir.

Önerilen çok amaçlı doğrusal olmayan programlama modeli, GAMS-DICOPT çözücüsü ile Windows XP Pro Intel i3 işlemci 3,20 GHz, 3 GB RAM özelliklerine sahip bilgisayar ile çözülmüştür.

Tablo 3: Amaç fonksiyonlarının çözümleri ve aralık değerleri.

Amaç Fonk.	DOP-1 (Min $Z_1$ )	DOP-2 (Min $Z_2$ )	(PİÇ, NİÇ)	Başlangıç Çözümü (Max $\lambda$ )
$\lambda$	100 %	100 %	-	0.8286
Z1 (TL)	51771.768*	84938.424	(51771.768, 84938.424)	56133.798
Z2 (TL)	36707.484	32949.862*	(32949.862, 36707.484)	33465.219

\*: Sıradan tek amaçlı doğrusal olmayan programlama modeli ile elde edilen en iyi çözümleri ifade etmektedir.

Tablo 4: Bulanık amaçların alt ve üst sınır değerleri.

Karar Değişkeni	Başlangıç Çözümü	İyileştirilmiş Çözüm
$(Z_g^{PİÇ}, Z_g^{NİÇ})$	$(Z_1^{PİÇ}, Z_1^{NİÇ})=(51771.768, 84938.424)$ $(Z_2^{PİÇ}, Z_2^{NİÇ})=(32949.862, 36707.484)$	$(Z_1^{PİÇ}, Z_1^{NİÇ})=(51771.768, 56133.798)$ $(Z_2^{PİÇ}, Z_2^{NİÇ})=(32949.862, 33465.219)$
Z1 (TL)	56133.798	56107.198
Z2 (TL)	33465.219	33465.219
$\lambda$	0.8286	0.00000012163

## 5.2 Sayısal Analiz

Bulanık çok amaçlı tedarik zinciri problemi için önerilen modeldeki çözüm yaklaşımını kullanmanın birkaç nedeni şöyle açıklanabilir. İlk olarak, önerilen model etken çözüm vermektedir. Bir uç nokta (uygun çözüm) vektörü  $\bar{x} \in S$  ( $S$  uygun çözüm bölgesidir.) ve buna karşılık gelen amaç fonksiyonu  $Z_g(\bar{x})$  yalnızca ve yalnızca onu baskılayan başka hiçbir uygun çözüm  $x \in S$  öyle ki  $Z_g(x) \leq Z_g(\bar{x}) \forall g$  ve  $Z_g(x) < Z_g(\bar{x})$  en az bir  $g$  için,  $g=1,2, \dots, k$  mevcut değilse bir etken çözümdür [43]. Bu çalışmada, doğrusal üyelik fonksiyonları ve minimum işlemcisinin kullanıldığı, bulanık matematiksel programlama için etken çözümler veren Bellman ve Zadeh (1970)'in bulanık karar verme kavramı [42] ile Zimmermann (1978)'in bulanık programlama metodu benimsemiştir. Ayrıca, Zimmermann (1976;1978) en çoklayan çözümün bulanık kümeleri birleştiren minimum işlemcisi için neden her zaman etken çözüm verdiğini açıklamıştır [36], [44]. Tablo 3'te gösterildiği gibi, durulaştırılmış talep kısıtı ile birlikte diğer kısıtlar altında birinci amaç fonksiyonu tek başına çözüldüğünde  $Z_1=51771.768$ ,  $Z_2=36707.484$  elde edilirken, aynı kısıtlar altında ikinci amaç fonksiyonu tek başına çözüldüğünde  $Z_1=84938.424$ ,  $Z_2=32949.862$  elde edilmiştir. Önerilen bulanık çok amaçlı matematiksel programlama modeli kullanılarak elde edilen başlangıç çözümleri ( $Z_1=56133.798$  ve  $Z_2=33465.219$ ), tek amaçlı doğrusal olmayan programlama modelleri DOP-1 ve DOP-2 yoluyla bulunan en iyi çözümler ile karşılaştırıldığında, yine bir etken çözüm olduğunu göstermektedir.

İkincisi, geleneksel deterministik modeller, birden fazla amacın çatışan doğası ve gerçek hayat bütünleşik tedarik zinciri planlama problemlerinin parametreleri ile ilgili belirsizlik nedeniyle etkili çözümler elde etmenin uygun yöntemleri değildir. Önerilen modelden elde edilen çözümler ise, Tablo 3 ve 4'te görüldüğü gibi, birbirine bağımlı amaç fonksiyonları arasındaki çatışma ve etkileşimli ödünleşmeyi sağlayarak gerçek hayat problemlerine daha yakın çözümler vermektedir. Böylece önerilen model; bir tarafta uzaklıklara bağlı toplam maliyet ve sabit açma/işletme maliyetlerini, diğer tarafta satın alma, sipariş verme, stok bulundurma ve yok satma maliyetlerini eşzamanlı olarak en azlamaktadır.

Önerilen modelin diğer bir avantajı, bütünleşik tedarik zinciri ağındaki tesis yeri seçimi problemini çözmek için bulanık hedeflerde doğrusal üyelik fonksiyonları ile bulanık talep kısıtında üçgensel dağılımı ( $\alpha=0.5$  kesim seviyesinde, ağırlıklı ortalama yöntemi) benimseyerek, model formülasyonu ve aritmetik işlemler açısından büyük hesaplama kolaylığı ve esneklik sağlamaktadır. Burada formüle edilen orijinal bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan programlama problemi, bulanık kümeleri birleştirmek için minimum işlemcisi kullanan Zimmermann, (1976;1978)'in bulanık hedef programlama yöntemine dayanarak denk doğrusal olmayan programlama problemine dönüştürülmüştür [36], [44].

Ayrıca; başlangıç ve iyileştirilmiş çözümlerin karşılaştırılması, bulanık amaç fonksiyonlarının alt ve üst sınırlarındaki değişimlerin hesaplama sonuçlarını etkilediğini göstermektedir. Tablo 3 ve 4'te bulanık amaçların alt ve üst sınırları için başlangıç değerleri  $(Z_1^{PİÇ}, Z_1^{NİÇ})=(51771.768,$



84938.424) TL ve  $(Z_2^{PİC}, Z_2^{NİC})=(32949.862, 36707.484)$  TL. Başlangıç çözümlerinin nihai amaç fonksiyon değerleri  $Z_1=56133.798$  TL ve  $Z_2=33465.219$  TL'dir. Bu bulgu göstermektedir ki, önerilen modelin uygulanmasında her bulanık amaç fonksiyonu için karşılık gelen doğrusal üyelik fonksiyonlarının etkili şekilde belirlenebilmesi için karar vericinin bulanık amaç fonksiyonlarının uygun alt ve üst sınırlarını belirlemesi gerekmektedir. Uygulamada, her bulanık amaç fonksiyonu için sıradan tek amaçlı doğrusal olmayan programlama çözümleri çoğunlukla amaç fonksiyonlarının alt ve üst sınırları için başlangıç noktaları olarak kullanılmıştır. Başlangıç çözümlerinden elde edilen sonuçların da aralığın içinde kaldığı görülmektedir.

Önerilen yaklaşımda karar vericinin, başlangıç çözümünün amaç fonksiyon değerlerine dayanarak, daha iyi bir çözüm elde etmek istediği ve bulanık amaç fonksiyonlarının alt ve üst sınırlarını yenilediği varsayılmıştır. Tablo 5, önerilen modelin çözümünden elde edilen sonuçları göstermektedir. Bulanık

amaç fonksiyonlarının alt ve üst sınırları başlangıç çözümünün amaç fonksiyon değerlerine bağlı olarak  $(Z_1^{PİC}, Z_1^{NİC})=(51771.768, 56133.798)$  TL ve  $(Z_2^{PİC}, Z_2^{NİC})=(32949.862, 33465.219)$  TL olarak güncelleştirilmiştir. Son olarak iyileştirilmiş çözümler  $Z_1=56133.798$  TL ve  $Z_2=33465.219$  TL elde edilmiştir. Buna bağlı olarak  $Q^*=374.590$  ve  $b^*=1.642$  birim elde edilmiştir. İyileştirilmiş çözümden elde edilen sonuçlara göre; her dönemde açılacak tesisler ve sayıları ile hangi müşterinin hangi dağıtım merkezinden hangi dönemde hizmet alacağı da Tablo 5'te ayrıca gösterilmiştir.

Bu durumda daha iyi bir etken çözüm elde edilmiştir. Bütünleşik tedarik zinciri ağında çok amaçlı üretim/dağıtım planlama problemi için, karar verici normalde tercih edilen etken çözümün mümkün olduğunca amaç fonksiyonunun en iyi alt sınırına (PİC, tek amaçlı doğrusal olmayan programlama çözümü) yakın olanını seçecektir.

Tablo 5: Önerilen matematiksel modelin çıktı sonuçları.

Karar Değişkeni	Çıktı Sonuçları
Amaç fonksiyonu ve $\lambda$ değeri	$Z_1= 56107.198$ TL, $Z_2= 33465.219$ TL, $\lambda= 0.00000012163$
$X_{ijrt}$ (birim)	$X_{1212}=178.4$ , $X_{1213}= 944$ , $X_{1232}= 786.000$ , $X_{1223}= 556$ , $X_{121}=178.444$ , $X_{1232}= 786$ , $X_{1233}= 457.019$ , $X_{3321}= 299.741$ , $X_{3322}= 275.704$ , $X_{3331}= 512$ , $X_{3332}= 528$
$Y_{jkt}$ (birim)	$Y_{213}= 119.407$ , $Y_{232}= 137.778$ , $Y_{233}= 160.167$ , $Y_{322}= 114.815$ , $Y_{331}= 115.96$
$Z_{klt}$ (birim)	$Z_{153}= 107.467$ , $Z_{222}= 103.333$ , $Z_{311}= 104.367$ , $Z_{333}= 128.133$ , $Z_{342}= 124$
$V_{klt}$ (0,1)	$V_{153}= V_{222}= V_{311}= V_{333}= V_{342}= 1$ , diğerleri 0
$w_{jt}$ (0,1)	$w_{22}= w_{23}= w_{31}= w_{32}= 1$ , diğerleri 0
$z_{kt}$ (0,1)	$Z_{13}= Z_{21}= Z_{22}= Z_{31}= Z_{32}= Z_{33}=1$ , diğerleri 0
$Q^*$ (EÜM)	374.590 birim.
$b^*$ (Yok satılan miktar)	1.642 birim.

Oluşturulan modelin etkinliği ve geçerliliği, gerçek durumların modele mümkün olduğu kadar doğru bir şekilde yansıtılmasına bağlıdır. Önerilen modelin performansı ile ilgili kabul edilebilir bir güven seviyesini başarabilmek ve çözüm yordamının tutarlı sonuçlar verdiği test edebilmek için aynı veri setleri ile oluşturulan farklı boyutlu örnek test problemleri çözülmüştür. Örnek test problemlerinin hesaplama sonuçları Tablo 6'da verilmiştir.

Test problemlerinin çözümlerinden de anlaşılacağı üzere, problemin büyüklüğü arttıkça problemi çözmek için gerekli zaman ve toplam sistem maliyeti artmaktadır. Bütünleşik tedarik zinciri ağında tesis yeri seçimi problemlerinin karmaşıklığı NP-Zor problemler sınıfına girer ve lojistik tesislerin sayısı, yerleri ve bunlara müşteri taleplerinin atanmasının eşzamanlı belirlenmesi genel bir bakış açısını gerektirir. Tesis yeri seçimi problemlerini optimal şekilde çözmek için geliştirilen algoritmalar kombinatoryal olarak patlamaktadır ve bu tür problemleri pratik uygulamalarda istendiği gibi defalarca çözmek için gereken kaynaklar kısıtlayıcıdır. Bu nedenle, önerilen bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan programlama modelini makul bir sürede çözmek için sezgisel yöntemler geliştirilmelidir.

Sonuç olarak, önerilen model karar vericiye doyurucu tercih edilen bir çözüm elde edilinceye kadar bulanık/belirsiz veri ile ilgili parametreleri güncelleştirme imkânı sağlayan, bulanık karar verme sürecini kolaylaştıran sistematik bir çerçeve sağlamaktadır. Daha da önemlisi bu çalışmada ele alınan çözüm yaklaşımı, çözüm süreci boyunca tercih edilen doyurucu etken bir çözüme ulaşıncaya kadar karar vericinin arama yönünün belirlenmesini sağlar.

## 6 Sonuç

Tedarik zinciri ağ tasarımı modellemesine olan ilgi ve bu konulardaki araştırma alanları son yıllarda küresel pazarların ortaya çıkması, müşteri taleplerinin hızla artması, giderek artan sistem maliyetleri vb. nedenlerle büyük artış göstermiştir. Küresel pazarlarda, sürekli rekabet halindeki işletmeler dikkatlerini iş süreçlerinin etkinliği ve etkililiği üzerinde yoğunlaştırmışlardır. Planlama, kontrol ve tasarım gibi birçok stratejik fonksiyonu bünyesinde barındıran TZY'nin önemi daha iyi kavranmaya başlanmıştır.

Bu çalışmada; tedarikçiler, üretim tesisleri, dağıtım merkezleri ve müşteri bölgelerinden oluşan çok aşamalı, çok dönemli bütünleşik bir tedarik zinciri ağında tesis yeri seçimi problemi için malzeme ihtiyaç kısıtları ile üretim tesislerinden gönderilen bitmiş ürünlerin fire oranlarını da göz önüne alan bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan programlama modelinin tasarım ve optimizasyonu ele alınmıştır.

Önerilen modelin temel avantajı, karar vericinin tercih edilen etken çözümü elde etmek için çözüm süreci esnasında arama yönünü ayarlayan sistematik bir çerçeve sunmasıdır.

Bu çalışmada önerilen bulanık çok amaçlı programlama modeli, benzer çalışmalardan farklı olarak çok aşama, çok dönem, EÜM modeline göre yıllık toplam satın alma, sipariş verme, stok bulundurma ve yok satma maliyetlerini de modele dahil ederek gerçek hayat durumlarını daha iyi yansıtmaktadır. Ayrıca, tedarik zincirinin pek çok unsurunu içine alan bu karmaşık ağ yapısına sahip modelin bulanık hedef programlama yaklaşımı kullanılarak çözümü mümkün hale gelmiştir. Bulanık hedef programlama modeli, sistemin

çıkartılmasının en iyilenmesinin yanında en iyi çıktıyı veren girdi bileşiminin belirlenmesine ve optimal bir sistemin tasarlanmasına yardımcı olabilmektedir. Problemdeki bulanık hedeflerin istek seviyelerinin belirlenmesi için, model her bir amaç için ayrı ayrı çözümler elde edilmiş ve üyelik fonksiyonlarının alt ve üst sınırları belirlenmiştir.

Gelecekte bu konu ile ilgili yapılacak çalışmalarda, hedeflere ilişkin erişim düzeyleri (istek seviyeleri) ve toleransların (üyelik fonksiyonlarının alt ve üst sınırları) karar verici tarafından belirlenmesi ile daha farklı sonuçların elde edilmesi

mümkün olacaktır. Yapılan çalışmada sadece hedeflerin erişim düzeyleri ile talep kısıtı bulanık olarak incelenmiştir, hedeflerin katsayılarının veya diğer kısıtların da bulanık olduğu durumların incelenmesi literatüre farklı uygulamalar kazandırılması açısından önem taşımaktadır. Ayrıca, problem büyüklüğü arttıkça üssel olarak artan çözüm zamanı nedeniyle, bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan programlama modelini makul bir sürede çözmek için sezgisel yöntemler geliştirilebilir.

Tablo 6: Örnek test problemlerinin hesaplama sonuçları.

Sıra Nu.	i	j	k	l	t	Amaç Fonksiyonu/İşlem Süresi	DOP-1 (Min Z <sub>1</sub> )	DOP-2 (Min Z <sub>2</sub> )	(PİÇ/NİÇ)	Başlangıç Çözümü	İyileştirilmiş Çözüm
1	4	3	3	7	3	$\lambda$	100%	100%	-	0.953145	0.000193
						Z1 (TL)	74648.49	139568.05	(74648.49, 139568.05)	77690.32	77689.73
						Z2 (TL)	47920.71	46151.88	(47920.71, 46151.88)	46234.76	46234.74
						İşl. Sür. (sn.)	0.05	0.033	-	0.12	0.14
2	7	5	6	20	15	$\lambda$	100%	100%	-	0.790379	0.00019
						Z1 (TL)	146116.08	317435.34	(146116.08, 317435.34)	182028.28	182021.45
						Z2 (TL)	137459.18	116040.06	(137459.17, 116040.06)	120529.97	120529.119
						İşl. Sür. (sn.)	867.233	3.553	-	12.04	10.5
3	6	7	7	20	10	$\lambda$	100%	100%	-	0.871119	0.000157
						Z1 (TL)	175181.74	422969.67	(175181.74, 422969.67)	207116.82	207111.80
						Z2 (TL)	136740.21	116231.56	(136740.21, 116231.56)	118874.73	118874.31
						İşl. Sür. (sn.)	384.357	3.107	-	15.07	14.34
4	6	7	5	20	15	$\lambda$	100%	100%	-	0.896392	0.001494
						Z1 (TL)	204296.18	468759.09	(204296.18, 468759.09)	231696.70	231650.60
						Z2 (TL)	131416.06	113990.06	(131416.06, 113990.06)	115795.54	115792.84
						İşl. Sür. (sn.)	124.312	2.982	-	20.87	13.52
5	6	5	5	20	15	$\lambda$	100%	100%	-	0.841104	0.000063
						Z1 (TL)	138148.49	365079.99	(138148.49, 365079.99)	174207.05	174204.77
						Z2 (TL)	137921.70	120337.14	(137921.70, 120337.14)	123045.85	123027.56
						İşl. Sür. (sn.)	167.485	2.593	-	33.43	16.29
6	10	20	10	20	10	$\lambda$	100%	100%	-	0.916535	0.000056
						Z1 (TL)	147965.50	393234.18	(147965.50, 393234.18)	168436.79	168435.64
						Z2 (TL)	142523.99	113555.51	(142523.99, 113555.51)	115973.36	115973.22
						İşl. Sür. (sn.)	1000.038	10.807	-	635.34	752.61
7	15	15	10	20	10	$\lambda$	100%	100%	-	0.961742	0.000105
						Z1 (TL)	166139.23	457706.20	(166139.23, 457706.20)	177294.13	177292.96
						Z2 (TL)	138111.29	115361.04	(138111.29, 115361.04)	116231.43	116231.34
						İşl. Sür. (sn.)	292.407	72.494	-	787.52	906.69
8	10	10	15	30	10	$\lambda$	100%	100%	-	0.896946	0.000235
						Z1 (TL)	217919.26	596010.61	(217919.26, 596010.61)	256883.16	256874.01
						Z2 (TL)	214085.11	169627.09	(214085.11, 169627.09)	174208.68	174207.60
						İşl. Sür. (sn.)	1003.295	1000.04	-	1000.76	1000.74
9	20	10	10	30	15	$\lambda$	100%	100%	-	0.924042	0.000683
						Z1 (TL)	162896.89	476884.77	(162896.89, 476884.77)	186746.95	186730.63
						Z2 (TL)	196875.46	169992.13	(196875.46, 169992.13)	172034.15	172032.75
						İşl. Sür. (sn.)	1001.693	28.812	-	1000.85	1000.84
10	15	20	20	40	20	$\lambda$	100%	100%	-	0.934947	0.002802
						Z1 (TL)	345495.66	1037988.43	(345495.66, 1037988.43)	390544.66	390418.44
						Z2 (TL)	271573.85	217832.35	(271573.85, 217832.35)	221328.42	221318.62
						İşl. Sür. (sn.)	1003.129	248.287	-	1002.71	1003.44

## 7 Kaynaklar

- [1] Bramel, J. ve Simchi-Levi, D., "The logic of logistics: theory, algorithms, and applications for logistics management", *Springer Series in Operations Research*, New York, 1997.
- [2] Gümüş, A. T., Güneri, A. F. ve Keleş, S., "Supply chain network design using an integrated neuro-fuzzy and MILP approach: A comparative design study", *Expert Systems with Applications*, 36 (10), 12570-12577, 2009.
- [3] Cohen, M.A. ve Lee, H.L., "Resource deployment analysis of global manufacturing and distribution networks", *Journal of Manufacturing and Operations Management*, 2, 81-104, 1989.
- [4] Pyke, D.F. ve Cohen, M.A., "Performance characteristics of stochastic integrated production distribution systems", *European Journal of Operational Research*, 68 (1), 23-48, 1993.
- [5] Özdamar, L. ve Yazgaç, T., "Capacity driven due date settings in make-to-order production systems", *International Journal of Production Economics*, 49 (1), 29-44, 1997.
- [6] Pirkul, H. ve Jayaraman, V., "A multi-commodity, multiplant, capacitated facility location problem: Formulation and efficient heuristic solution", *Computers Operations Research*, 25, 869-878, 1998.
- [7] Syarif, A., Yun, Y.S. ve Gen, M., "Study on multi-stage logistic chain network: a spanning tree-based genetic algorithm approach", *Computer and Industrial Engineering*, 43, 299-314, 2002.
- [8] Altıparmak, F., Gen, M., Lin, L. ve Paksoy, T., "A genetic algorithm approach for multi-objective optimization of supply chain networks", *Computers and Industrial Engineering*, 51, 197-216, 2006.
- [9] Thanh, P. N., Bostel, N. ve Pe'ton, O., "A dynamic model for facility location in the design of complex supply chains", *International Journal of Production Economics*, 113, 678-693, 2008.
- [10] Paksoy, T., Özceylan, E. ve Weber, G.W., "A multi-objective mixed integer programming model for multi echelon supply chain network design and optimization", *System Research and Information Technologies*, METU, 2009.
- [11] Qin, J., Shi, F., Miao, L. ve Tan, G., "Optimal model and algorithm for multi-commodity logistics network design considering stochastic demand and inventory control", *Systems Engineering-Theory & Practice*, 29 (4), 2009.
- [12] Tuzkaya, U. ve Önüt S., "A holonic approach based integration methodology for transportation and warehousing functions of the supply network", *Computers and Industrial Engineering*, 56, 708-723, 2009.
- [13] Melo, M.T., Nickel, S. ve Saldanha-da-Gama, F., "Facility location and supply chain management-A review", *European Journal of Operational Research*, 196, 401-412, 2009.
- [14] Mula, J., Pedro, D. ve Poler, R., "The effectiveness of a fuzzy mathematical programming approach for supply chain production planning with fuzzy demand", *International Journal of Production Economics*, 128, 136-143, 2010.
- [15] Zimmermann, H.J., "An application oriented view of modelling uncertainty", *European Journal of Operational Research*, 122, 190-198, 2000.
- [16] Petrovic, D., Roy, R. ve Petrovic, R., "Supply chain modeling using fuzzy sets", *International Journal of Production Economics*, 59, 443, 1999.
- [17] Chen, L. ve Lee, W., "Multi objective optimization of multi echelon supply chain networks with uncertain product demands and prices", *Computers and Chemical Engineering*, 28, 1131-1144, 2004.
- [18] Wang, J. ve Shu, Y.F., "Fuzzy decision modeling for supply chain management", *Fuzzy Sets and Systems*, 150, 107-127, 2005.
- [19] Xie, Y., Petrovic D. ve Burnham, K., "A heuristic procedure for the two-level control of serial supply chains under fuzzy customer demand", *International Journal of Production Economics*, 102 (1), 37-50, 2006.
- [20] Xu, J., Liu, Q. ve Wang, R., "A class of multi-objective supply chain networks optimal model under random fuzzy environment and its application to the industry of Chinese liquor", *Information Sciences*, 178 (8), 2022-2043, 2008.
- [21] Liang, T.F., "Distribution planning decisions using interactive fuzzy multi-objective linear programming", *Fuzzy Sets and Systems*, 157, 1303-1316, 2006.
- [22] Liang, T.F., "Applying fuzzy goal programming to production/transportation planning decisions in a supply chain", *International Journal of Systems Science*, 38, 293-304, 2007.
- [23] Liang, T.F., "Integrating production-transportation planning decision with fuzzy multiple goals in supply chains", *International Journal of Production Research*, 46 (15), 1477-1497, 2008.
- [24] Işık, A.T. ve Özdemir, M., "Bütünleşik üretim planlamasında etkileşimli olabilirlikçi doğrusal programlama modeli ve bir uygulama", *DEÜ İşletme Fakültesi Dergisi*, 11 (2), 81-117, 2010.
- [25] Paksoy, T., Pehlivan, Y.P. ve Özceylan, E., "Application of fuzzy optimization to a supply chain network design: A case study of an edible vegetable oils manufacturer" *Applied Mathematical Modelling*, 36, 2762-2776, 2012.
- [26] Paksoy, T. ve Pehlivan, Y.P., "A fuzzy linear programming model for the optimization of multi-stage supply chain networks with triangular and trapezoidal membership functions" *Journal of the Franklin Institute*, 349, 93-109, 2012.
- [27] Kabak, Ö. ve Ülengin, F., "Possibilistic linear-programming approach for supply chain networking decisions", *European Journal of Operational Research*, 209, 253-264, 2011.
- [28] Mula J., Pedro D., Madranoreo M.D. ve Vicens E., "Mathematical programming for supply chain production and transport planning", *European Journal of Operational Research*, 204, 377-390, 2010.
- [29] Fahimnia, B., Farahani, R.Z., Marian, R. ve Luong, L., "A review and critique on integrated production-distribution planning models and techniques", *Journal of Manufacturing Systems*, 32, 1-19, 2013.
- [30] Chang, S.C., "Fuzzy production inventory for fuzzy product quantity with triangular fuzzy number", *Fuzzy Sets and Systems*, 107 (1), 37-57, 1999.
- [31] Hsieh, C.H., "Optimization of fuzzy production inventory models", *Information Sciences*, 146, 29-40, 2002.
- [32] Chang, P.T. ve Chang, C.H., "An elaborative unit cost structure-based fuzzy economic production quantity model", *Mathematical and Computer Modeling*, Cilt 43, Sayı 11/12, 1337-1356, 2006.
- [33] Chen, S.H., Wang, C.C. ve Chang, S.M., "Fuzzy economic production quantity model for items with imperfect

- quality”, *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 3 (1), 85-95, 2007.
- [34] Chen, S.H. ve Chang, S.M., “Optimization of fuzzy production inventory with unrepairable defective products” model for items with imperfect quality”, *International Journal of Production Economics*, 113, 887-894, 2008.
- [35] Behret, H., “Üretim sistemlerinde bulanık tek dönemli stok kontrol modelleri, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi, 2011.
- [36] Zimmermann, H.J., “Fuzzy programming and linear programming with several objective functions”, *Fuzzy Sets and Systems*, 1, 45-55, 1978.
- [37] Zimmerman, H.J., *Fuzzy Sets Theory and Its Applications*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1991.
- [38] Lai, Y.J. ve Hwang, C.L., “Interactive fuzzy linear programming”, *Fuzzy Sets and Systems*, 45, 169-183, 1992.
- [39] Lai, Y.J. ve Hwang, C.L., “Fuzzy multiple objective decision making, methods and applications”, *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, Springer, Berlin, 1994.
- [40] Liang, T.F. ve Cheng, H.W., “Application of fuzzy sets to manufacturing/distribution planning decisions with multi-product and multi-time period in supply chains”, *Expert Systems with Applications*, 36, 3367-3377, 2009.
- [41] Liang, T.F., “Application of fuzzy sets to manufacturing/distribution planning decisions in supply chains”, *Information Sciences*, 181, 842-854, 2011.
- [42] Bellman, R.E. ve Zadeh, L.A., “Decision-making in a fuzzy environment”, *Management Science*, 17 (4), 141-164, 1970.
- [43] Hannan, E.L., “On Fuzzy Goal Programming”, *Decision Sciences*, 12 (3), 522-531, 1981.
- [44] Zimmermann, H.J., “Description and optimization of fuzzy systems”, *International Journal of General Systems*, 2, 209-215, 1976.