

## TEDARİK ZİNCİRİ AĞI TASARIMINA BULANIK ULAŞTIRMA MODELİ YAKLAŞIMI

A. İhsan ÖZDEMİR\*  
Gökhan SEÇME\*\*

### ÖZ

Yeni iş çevresindeki belirsizlikler dikkate alındığında; işletmelerin, maliyetlerde, taleplerde ve kapasitelerde meydana gelebilecek belirsizlikleri etkin yönetmesi gerekmektedir. Karar alma süreçlerindeki bu durum karar vericileri subjektiflik altında karar almaya mecbur bırakmıştır. Bu çalışmada tedarik zincirlerinde işletme problemlerinden ulaştırma problemi ele alınarak bu problemde meydana gelebilecek belirsizlikler bulanık doğrusal programlama yöntemi ile çözülmeye çalışılmıştır. Ele alınan problemde sadece amaç fonksiyon katsayılarının bulanık olması (maliyetlerin bulanıklığı), sadece sağ taraf sabitlerinin bulanık olması (taleplerin ve kapasitelerin) ve hem amaç fonksiyonun hem de sağ taraf sabitlerinin bulanık olması sonucunda elde edilen modeller incelenmiştir. Her bir model ile hangi arz merkezinden hangi talep merkezine ne kadar maliyetle taşıma olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ulaştırma Problemi, Bulanık Kümeler, Tedarik Zinciri Ağları.

### FUZZY TRANSPORT MODEL APPROACH TO SUPPLY CHAIN NETWORK DESIGN

#### ABSTRACT

Companies should manage indefinities at costs, demand an capacity effectively, if ambiguities in new business environment are pointed out. This situation on decision process forces decision makers to make desicion subjectively. For this reason, transport model that is one of the business problem in supply chains, is solved by fuzzy linear programming model. Three different models are examined, such as, only objective function has fuzzy coefficients (fuzzy costs), only right hand constants are fuzzy (fuzzy demand and capacities), finally both of them fuzzy. Transportation from which supply point to which demand point and what it costs are determined by each model.

**Key words:** Transportation Model, Fuzzy Sets, Supply Chain Networks.

### GİRİŞ

Günümüz rekabetçi dünyasında organizasyonlar üzerindeki değer yaratmak ve bu değerın müşterilere dağıtımını için daha iyi yollar bulunması baskısı artmaktadır. İşletmeler rekabetin ve işbirliğinin küreselleşmesi, müşteri isteklerinin çeşitlenmesi ve ürün hayat döngülerinin kısalması gibi rekabetçi pazar baskılarıyla karşı karşıya olmalarından dolayı yönetim stratejilerini ayarlamak ve rekabet avantajlarını sürdürmek için etkili metotlar bulma arayışındadırlar. Örneğin, malzeme ihtiyaç planlaması (MRPII) ve kurumsal kaynak planlaması (ERP) operasyonları ve kaynakları bütünleştirmek için kullanılmaktadır. Bu araçların amacı müşteri taleplerini karşılamak için tepki zamanını azaltmak ve müşteri memnuniyetini arttırmaktır. Her bir firmanın yönetsel yeteneği tedarik zinciri üyeleri arasındaki karmaşık işletme ilişkilerinin koordinasyonuna ve bütünleştirilmesine bağlıdır (Chen ve Huang, 2006, 186).

Tedarik zinciri, ham maddelerin elde edilmesi, bu ham maddelerin yarı mamül ve mamullere dönüştürülmesi, perakendeciler ve müşteriler için son ürünlerin dağıtımını ve pazarlamasını yapan bütünleştirilmiş bir sistem olarak görülebilir (Cooper ve Lambert, 2000; Min ve Zhou, 2002).

Son yıllarda bir çok araştırmacı tedarik zinciri yönetimi problemleri ile ilgilenmeye başlamış ve TZY kavramına farklı bakış açıları gösterilmiştir (Christopher vd., 1998:239; Cooper ve Lambert, 2000:70; Lee vd., 1997; Ross, 1997, Richard vd., 2003).

Literatürde tedarik zinciri yönetimi veya faaliyetleri ile ilgili net bir tanım yoktur (Tan, 2001). Örneğin, New ve Payne (1995) tedarik zinciri yönetimini bazı organizasyonel sınırları da dikkate alarak hammaddeden son kullanıcıya kadar ki imalat ve tedarik süreçlerinin her bir elemanını birbirine bağlayan bir zincir olarak tanımlamıştır (New ve Payne, 1995:62). Jukka vd. (2001) ise tedarik zincir yönetimini ürün ve hizmetleri son kullanıcılara en düşük maliyet ve en yüksek hizmet seviyesinde sağlayan yeni bir yol olarak tanımlamıştır (Jukka vd., 2001:147). TZY, zincirdeki üyeler arasındaki işbirliğini artırmak suretiyle lojistik zincirinin etkinliğini artıran bütünleşik bir yaklaşımdır (Chen ve Huang, 2006:188). Tedarik zincir yönetimi faaliyetleri iki temel aşamada incelenir, birincisi üretim yerleşimi ve stok kontrol süreçleri, ikincisi ise dağıtım ve lojistik süreci (Benita ve Beamon, 1998:284).

Ürünlerin müşterilere istedikleri miktarlarda ne zaman ve nasıl maliyet etkin şekilde gönderileceğinin önemi daha da artmıştır. Ulaştırma modelleri bu önemli konuyla ilgili güçlü bir çerçeve sağlamaktadır. Bu modeller etkili hareketleri ve hammadde ve mamullerin zamana göre ulaşılabilirliğini sağlarlar.

Tedarik zinciri modellerinin gerçek hayatta uygulanmasına ve tedarik zincirinin yönetimi ve kontrolü için karar destek sistemlerinin geliştirilmesine yönelik gittikçe artan bir ilgi mevcuttur. Fakat, gerçek bir tedarik zinciri belirsiz-

\* Yrd. Doç. Dr. Erciyes Üniversitesi, İİBF, İşletme Bölümü

\*\* Araş. Gör., Nevşehir Üniversitesi, İİBF, İşletme Bölümü

liklerle dolu bir ortamda çalışmaktadır. Farklı kaynak ve çeşitlerdeki belirsizlikler tedarik zinciri boyunca yer almaktadır ve bu durum TZY problemlerini daha da karmaşık hale getirmektedir (Lee vd., 1997; Dejonckheere vd., 2002; Dolgui ve Ould-Louly, 2002; Ouyang ve Chang, 2002).

Piyasaların dinamik yapısından dolayı gerçek tedarik zincirlerinde operasyon zamanlarının, taleplerin ve maliyetlerin belirlenmesi kolay değildir. Bu yüzden, firmalar müşterilerine kesin tarihler veya miktarlar verememektedir. Kesin miktarların verilememesinin tipik uygulamalarından birisi de bulanık ulaştırma problemidir. Tedarik zincirindeki üreticilerle tedarikçiler arasındaki arz talep ilişkisindeki belirsizlikler ve kapasitelerin belirli aralıklarda değişken kullanımı ulaştırma probleminin doğasındaki belirsizliklerdir. Geleneksel olarak problem parametrelerindeki belirsizlikler literatürde olasılık dağılımlarıyla modellenirler (Dolgui ve Ould-Louly, 2002; Dubois vd., 2003). Aslında, kesin olmayan parametreler sadece yöneticilerin tecrübeleri ve sübjektif yargılarına göre belirlenir. Bu yüzden taleplerdeki ve kapasitelerdeki belirsizlikleri göstermede karar vericilerin öznel görüşleri bulanık sayılar ile gösterilmiştir. Taleplerdeki ve kapasitelerdeki bu belirsizlikler dikkate alındığında bulanık ulaştırma problemi yaklaşımı bir tedarik zincirindeki arz talep ve kapasite ilişkilerinin düzenlenmesinde kullanılabilir.

Ulaştırma problemi belirli sayıda düğüm ve bu düğümleri bağlayan oklardan oluşan ağ yapısı kökenli bir doğrusal programlama problemidir. Ulaştırma probleminin maliyet katsayıları ve arz ve talep miktarlara kesin olarak bilindiği durumlarda problemin çözümü için etkili algoritmalar mevcuttur. Bunun yanında bu parametrelerin kesin olarak gösterilemediği durumlarda mevcuttur. Örneğin, birim taşıma maliyeti zaman ölçeğinde farklılaşabilir. Arz ve talepler bazı kontrol edilemeyen faktörlerden dolayı belirsiz olabilir. Karar vermede kesin olmayan bilgilerle sayısal olarak çalışılması için Bellman ve Zadeh (1970) ve Zadeh (1978) bulanıklık kavramını göstermişlerdir.

Ulaştırma problemi esasında bir lineer program olduğuna göre, basit bir mantığa göre probleme mevcut doğrusal programlama teknikleri uygulanır (Buckly, 1988; Julien, 1994; Para vd., 1999). Ne yazık ki, mevcut tekniklerin çoğu sadece kesin çözümler sağlamaktadır. Julien (1994) ve Parra vd. (1999) nin yöntemi, tüm eşitsizlik kısıtları  $\geq$  veya  $\leq$  tipindeyken amaç değerinin olasılık dağılımını bulabilmektedir. Buna rağmen, ulaştırma probleminin yapısından dolayı bazı durumlarda bu metot amaç değerinin sınırlarını türetebilmek için problem parametrelerinin iyileştirilmesini gerektirmektedir. Bulanık ulaştırma problemini tartışan başka çalışmalar da vardır. Chanas vd. (1996), ulaştırma problemini bulanık arz ve taleplerle incelemişler ve Bellman-Zadeh kriterlerine göre parametrik programlama tekniği ile çözmüşlerdir. Bu metot, amacı ve kısıtları maksimum derecede eşzamanlı olarak sağlayan çözümü türetmektedir.

Chanas ve Kuchta (1996) bulanık maliyet katsayılı bulanık ulaştırma modeli tipini tartışmışlar ve problemi kesin amaç fonksiyonlu iki kriterli ulaştırma modeli problemine dönüştürmüşlerdir. Önerilen yöntem dönüştürülen probleme etkili çözümler sağlayabilmesine rağmen sadece kesin değerler üretilebilmektedir. Verma vd. (1997) çok amaçlı ulaştırma problemini çözmek için hiperbolik ve üstel üyelik fonksiyonları ile bulanık programlama tekniklerini uygulamış, üretilen çözüm bir uzlaşma çözümü olmuştur. Chanas ve Kuchta (1996) metoduna benzer olarak sadece kesin sonuçlar üretilmiştir.

Maliyet katsayıları veya arz ve talep miktarları bulanık sayılar olduğunda, toplam ulaştırma maliyetinin de bulanık olacağı açıktır. Bu çalışmada, parametrelerden en az biri bulanık olduğunda bulanık ulaştırma probleminin bulanık amaç değerini hesaplayabilecek bir çözüm prosedürü gösterilmektedir. Temel düşünce Zadeh'in genişleme prensibinin uygulanmasıdır.

Çalışmanın sonraki bölümünde öncelikle bulanık ulaştırma problemi açıklanmıştır. Üçüncü bölümde genişletme prensibine göre bulanık ulaştırma probleminin yapısı ve dördüncü bölümde de  $\alpha$  kesmelerinin hesaplanması gösterilmiştir. Hesaplamaların anlaşılabilirliği için küçük bir örnek problem üzerinde uygulama yapılmıştır. Son bölümde ise ulaştırma problemine bulanık yaklaşımın sonuçları ve analizlerin kullanımına yönelik sonuçlar açıklanmıştır.

## I. BULANIK KÜMELER VE GÖSTERİMİ

“Bulanıklık” terimi ilk olarak 1962 yılında Zadeh tarafından ortaya atılmıştır. Zadeh (1965) yayınladığı “Fuzzy Sets (Bulanık Kümeler)” adlı makale ile bulanık küme teorisinin temellerini atmıştır. Bulanık küme teorisi ile insan bakışını içeren gerçek dünyaya ait kompleks sistemlerin çözülmesi, daha güçlü ve esnek bir modelin geliştirilmesi ve böylece bir modelin basite indirgenerek çözülmesi amaçlanmıştır (Yalçın Seçme, 2005).

Kesin matematik, kesin ve tam olmayan bilgi ve olaylardan dolayı kompleks sistemlerin modellenmesinde yetersiz kalmaktadır. Bu yetersizliği gidermede kullanılan bir başka yaklaşım ise olasılık teorisidir. Olasılık teorisinin yetersiz kaldığı nokta ise ara değerleri ve tezatlığı/çelişkiyi hesaba katmamasıdır. Bulanık bir kümede oluşan belirsizliği gidermek için kesin sınırlar belirlemek yerine kümede yer alan elemanlar için kısmi üyelikler dikkate alınır. Bulanık kümedeki bir elemanın kısmi üyeliği, elemanın kümeye aitlik derecesini belirleyen üyelik fonksiyonudur.

Klasik bir kümede bir elemanın kümeye üyeliği (aitliği) vardır yada yoktur. Klasik küme sınırları açıkça tanımlanmış olan kesin bir kümedir. Yani  $X$  evrensel bir küme olmak üzere,  $x \in X$  ve  $A \subseteq X$  olan klasik bir küme sonlu olan yada olmayan elemanlardan oluşan bir küme olarak düşünüldüğünde aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\mu_A = \begin{cases} 1 & , x \in A \\ 0 & , x \notin A \end{cases}$$

Eşitlikte,  $\mu_A(x): X \rightarrow (0,1)$  klasik kümelerde üyelik fonksiyonu ya da üyelik derecesini göstermektedir. Bu eşitliğe göre eğer  $\mu_A(x)=1$  ise “x elemanı A kümesinin üyesidir ya da A kümesine aittir”,  $\mu_A(x)=0$  ise “ x elemanı A kümesinin üyesi değildir ya da A kümesine ait değildir” şeklinde ifade edilir. Klasik kümede kümeye üye olanlar ve olmayanlar arasındaki ayrım esnek bir özellikte değildir. Klasik bir kümede bir elemanın bir kümeye üyeliği kesin olarak tanımlanır ve bu tanımlanmada üyelik fonksiyonu 0 ya da 1’den farklı bir değer alamaz ve değer kümesi  $\{0,1\}$  aralığında olup iki elemanlıdır.

Bulanık kümelerde üyelik derecesi ise 0’dan 1’e herhangi bir değer olabilir ve bu durum bulanık kümelerden klasik kümelerin ayrılmasını sağlar.  $A \subseteq X$  kümesinin üyelik derecesi  $[0,1]$  gerçel sayılar aralığı kabul edilirse A kümesi “bulanık küme” olarak adlandırılır ve klasik bir A kümesinden farklı bir gösterimle üzerine “~” simgesini alarak  $\tilde{A}$  ile gösterilir. Burada “0” sayısı ilgili nesnenin kümenin elemanı olmadığını, “1” sayısı ise ilgili nesnenin kümenin elemanı olduğunu gösterir. Bu iki değer (0 ve 1) arasında yer alan değerler ise, ilgili nesnenin kümeye aitlik derecesini ya da kısmi üyeliğini belirtir. Yani bulanık bir kümede kümenin elemanı olmayan nesnelere kümenin elemanı olan nesnelere doğru esnek ve dereceli bir geçişe izin verilir (Özkan, 2002; 10).

## A. BULANIK SAYILAR

Bulanık kümelerin nicel anlamlı üyelik fonksiyonları bulanık sayılar ya da bulanık aralık olarak görülebilir. Bulanık sayıları bu şekilde görmemiz için, bulanık sayıların “verilen gerçel sayıya yakın sayılar” veya “gerçel sayıların verilmiş bir aralığı civarındaki sayılar” örneğinde olduğu gibi yaklaşık sayılar ya da aralıkların sezgisel kavramalarını yakalamaları gerekir. Bu kavramlar bulanık değişkenlerin durumlarının karakterize edilmesi için gereklidir. Bunun sonucu olarak da bulanık kontrol, karar verme, yaklaşık muhakeme (approximate reasoning), optimizasyon ve bulanık olasılıklı istatistikler gibi bir çok uygulamalarda önemli bir rol oynarlar.

## B. ÜÇGENSEL VE YAMUKSAL BULANIK SAYILAR

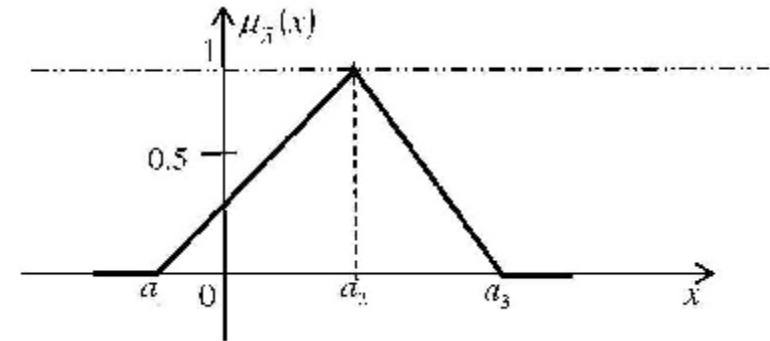
Üçgen sel ve yamuksal bulanık sayılar uygulamada en çok kullanılan ve bulanık sayılar içinde en önemli olan sayılardır. Bu sayılar, isimlerini üyelik fonksiyonlarının biçimlerinden almaktadırlar.

Gerçel sayı doğrusunda tanımlı olan (Şekil 1) üçgen sel bir bulanık sayı, aşağıda belirtilen üyelik fonksiyonu ile parametrik olarak ifade edilir (Kaufmann ve Gupta, 1988):

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x; a_1, a_2, a_3) = \begin{cases} 0 & , x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1} & , a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2} & , a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0 & , x > a_3 \end{cases}$$

Burada,  $a_2$  parametresi üyelik derecesinin 1’e eşit olduğu noktayı verir.  $a_1$  ve  $a_3$  parametreleri ise, üçgen sel bulanık sayının üyelik derecesinin 0 olduğu değerleri veya kanat açıklıklarını göstermektedir.

Şekil 1: Üçgen sel Bulanık Sayı

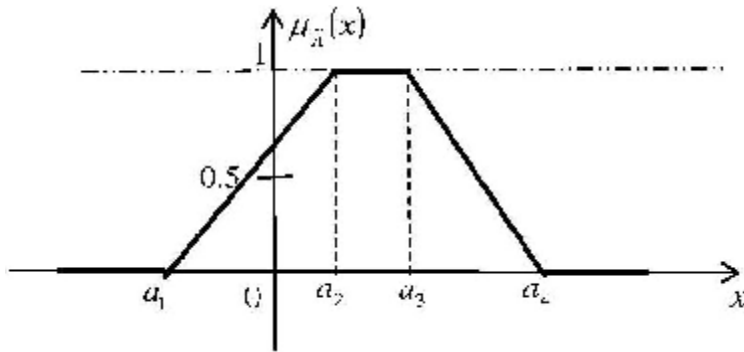


Gerçel bir sayı doğrusu üzerinde yer alan (Şekil 2) yamuksal bir bulanık sayı ise parametrik olarak aşağıdaki gibi ifade edilir(Kaufmann; Gupta 1988):

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x; a_1, a_2, a_3, a_4) = \begin{cases} 0 & , x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1} & , a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1 & , a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2} & , a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0 & , x > a_4 \end{cases}$$

Burada,  $a_1$  ve  $a_4$  parametreleri yamuksal bir bulanık sayının kanat açıklıklarının veya üyelik derecesinin 0 olduğu elemanları göstermektedir.  $a_2$  ve  $a_3$  parametreleri ise, üyelik derecesi bir olan elemanları yani bu sayının kernel kümesini ifade etmektedir.

Şekil 2: Yamuksal Bir Bulanık Sayı



## II. BULANIK ULAŞTIRMA PROBLEMİ

Klasik ulaştırma problemlerinde amaç fonksiyonu katsayılarının, modeldeki sağ taraf sabitlerinin ya da değişkenlerin katsayılarının bulanık olarak seçilmesi durumunda artık yeni model bulanık ulaştırma modeli olarak adlandırılır.

### A. BULANIK ULAŞTIRMA PROBLEMİNİN YAPISI

Bir ulaştırma problemi  $m$  adet üretim/tedarik merkezi,  $n$  adet talep merkezinden oluşur ve  $s_j > 0$  adet ürün  $i$  üretim merkezinden  $d_j > 0$  adet  $j$  talep merkezine gönderilecek ürün miktarını göstermektedir. Üretim merkezi  $i$  den talep merkezi  $j$  ye yapılacak her bağlantının bir birim taşıma maliyeti  $c_{ij}$  vardır. Problem, üretim merkezlerinden talep merkezlerine taşıma maliyetini en küçükleyecek, talebi karşılayabilecek ve geçerli olacak ürün miktarını bulmaktır.

$x_{ij}$   $i$  üretim merkezinden  $j$  talep merkezine taşınacak birimleri göstermek üzere, problemin genel matematiksel gösterimi aşağıdaki gibi olur.

$$\begin{aligned} Z = \min & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \\ \text{s.t.} & \sum_{i=1}^m x_{ij} \leq s_i, \quad i = 1, \dots, m, \\ & \sum_{j=1}^n x_{ij} \geq d_j, \quad j = 1, \dots, n \\ & x_{ij} \geq 0, \quad \forall i, j. \end{aligned}$$

Eğer parametrelerden  $c_{ij}$ ,  $s_i$  veya  $d_j$  herhangi biri bulanıksa toplam ulaştırma maliyeti  $Z$  de bulanık hale gelir. (1) verilen genel ulaştırma problemi de bulanık ulaştırma problemi haline dönüşür.

Birim taşıma maliyeti  $c_{ij}$ , arz  $s_i$  ve talep  $d_j$  nin yaklaşık olarak bilindiğini ve konveks bulanık küme olarak  $\tilde{C}_{ij}$ ,  $\tilde{S}_i$  ve  $\tilde{D}_j$ , olarak gösterildiğini farz edelim. Bu durumda eğer  $m_A(Ix_1 + (1-I)x_2) \geq \min\{m_{\tilde{A}}(x_1), m_{\tilde{A}}(x_2)\}$ ,  $x_1, x_2 \in X$ ,  $I \in [0,1]$  ise  $\tilde{A}$  bulanık kümesi de konvekstir.  $m_{\tilde{C}_{ij}}$ ,  $m_{\tilde{S}_i}$  ve  $m_{\tilde{D}_j}$  üyelik fonksiyonlarını ve  $\tilde{C}_{ij}$ ,  $\tilde{S}_i$  ve  $\tilde{D}_j$  nin destekçileri  $S(\tilde{C}_{ij})$ ,  $S(\tilde{S}_i)$  ve  $S(\tilde{D}_j)$  olmak üzere,

$$\tilde{C}_{ij} = \{(c_{ij}, m_{\tilde{C}_{ij}}(c_{ij})) \mid c_{ij} \in S(\tilde{C}_{ij})\},$$

$$\tilde{S}_i = \{(s_i, m_{\tilde{S}_i}(s_i)) \mid s_i \in S(\tilde{S}_i)\},$$

$$\tilde{D}_j = \{(d_j, m_{\tilde{D}_j}(d_j)) \mid d_j \in S(\tilde{D}_j)\},$$

İfadesi sırasıyla birim taşıma maliyeti,  $i$ . tedarikçinin arz ettiği miktar ve  $j$ . müşteri tarafından talep edilen miktarın evrensel kümelerini göstermektedir. Bulanık ulaştırma problemi ise aşağıdaki yapıda olacaktır:

$$\tilde{Z} = \min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tilde{c}_{ij} x_{ij}$$

$$s.t. \sum_{i=1}^m x_{ij} \leq \tilde{S}_i, \quad i = 1, \dots, m,$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \geq \tilde{D}_j, \quad j = 1, \dots, n$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad \forall i, j.$$

Genel yapıdan bir kayıp olmaksızın, bu modelde tüm birim taşıma maliyetleri, arz edilen miktarlar ve talep edilen miktarlar bulanık sayılar olarak gösterilmiştir.

Bulanık kısıtların üyelik fonksiyonları  $m_j, j \in J$ , ve  $m_i, i \in I$  sürekli ve monoton olarak kabul edilmiştir. Dolayısıyla talep kısıtının üyelik değerinin tersi, kapasite kısıtının üyelik değerinin tersinden büyük ya da eşit olacaktır.

$$\sum_{i \in I} m_i^{-1}(a) \geq \sum_{j \in J} m_j^{-1}(a), \quad a \in [0,1]$$

### B. BULANIK ULAŞTIRMA PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ

Bulanık ulaştırma problemi parametrik ulaştırma problemi olarak çözülebilmektedir.

$$\tilde{Z} = \min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tilde{c}_{ij} x_{ij}$$

$$s.t. \sum_{i \in I} x_{ij} \leq m_j^{-1}(a), \quad j \in J$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} \geq m_i^{-1}(a), \quad i \in I$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad \forall i, j, \quad a \in [0,1]$$

Verdegay (1982) ulaştırma problemi gibi bulanık kısıtlar arasında değiş tokaşa izin verilen sürekli ve monoton fonksiyonlarda aşağıdaki üyelik fonksiyonunu kullanmıştır.

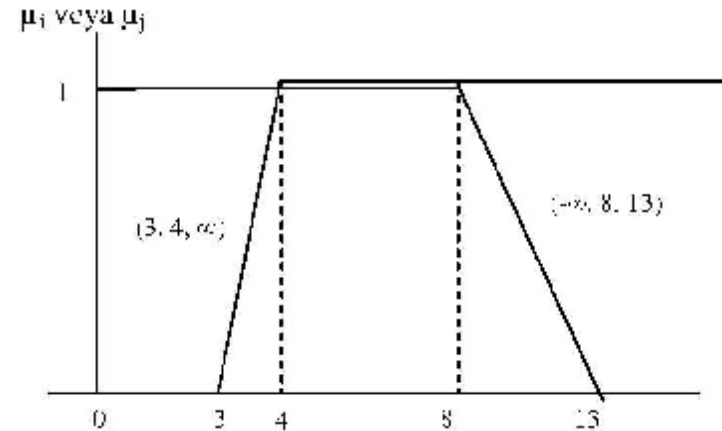
$$m_i(x) = \begin{cases} 1 & (Ax)_i \leq b_i \text{ ise} \\ 1 - [(Ax)_i - b_i] / p_i & b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + p_i \\ 0 & (Ax)_i > b_i + p_i \end{cases}$$

Örnek bir problem üzerinde açıklanan yaklaşımı ele alacak olursak Verdegay yaklaşımı ile bulanık ulaştırma problemi ve çözümü aşağıdaki gibi olacaktır.

Kaynak\Hedef	1	2	3	4	Kapasite
1	4	5	2	1	$(-\infty, 8, 13)$
2	6	2	4	3	$(-\infty, 6, 9)$
3	3	1	1	1	$(-\infty, 5, 6)$
Talep	$(3, 4, \infty)$	$(3, 5, \infty)$	$(3, 6, \infty)$	$(1, 4, \infty)$	

Yukarıda verilen bulanık kapasite ve talep sınırlarından birincisinin üyelik fonksiyonu grafiği aşağıdaki gibi olacaktır.

Şekil 3: Üyelik Fonksiyonu



Burada beşinci hedef talep merkezi olarak bir dummy eklendiğinde problemin yapısı aşağıdaki gibi olacaktır.

Kaynak\Hedef	1	2	3	4	dummy	Kapasite
1	4	5	2	1	0	$13-5\alpha$
2	6	2	4	3	0	$9-3\alpha$
3	3	1	1	1	0	$6-\alpha$
Talep	$3+\alpha$	$3+2\alpha$	$3+3\alpha$	$1+3\alpha$		$18-18\alpha$

Bulanık ulaştırma problemine bulanık çözüm üreten optimal çözüm ise aşağıdaki gibi olacaktır.

$\alpha \in [0, 3/5]$  için

$3+\alpha$		$6\alpha$	$1+3\alpha$	$9-15\alpha$
				$9-3\alpha$
	$3+2\alpha$	$3-3\alpha$		

$\alpha \in [3/5, 12/13]$  için

$3+\alpha$		$9-9\alpha$	$1+3\alpha$	
	$-9+15\alpha$			$18-18\alpha$
	$12-13\alpha$	$-6+12\alpha$		

$\alpha \in [12/13, 1]$  için

$3+\alpha$		$-3+4\alpha$	$13-10\alpha$	
	$3+2\alpha$		$-12+13\alpha$	$18-18\alpha$
		$6-\alpha$		

Yukarıda da görüldüğü gibi farklı üyelik fonksiyonu değerleri için farklı çözümler mevcuttur. Bulanık çözüm olarak açıklanan bu durumda karar verici problemi için uygun gördüğü veya arzu ettiği üyelik derecesindeki çözümü problemin çözümü olarak değerlendirecektir.

### III. UYGULAMA ÖRNEĞİ

Bulanık ulaştırma probleminin yapısını, çözümünü ve sonuçlarını daha iyi anlamak ve yorumlayabilmek için aşağıdaki uygulama problemi dikkate alınmıştır. Ele alınan uygulama örneğinde otomotiv yedek parçası üreten bir işletmenin 3 ürünü dikkate alınmıştır. Ürünler kamyon karoserlerinin kapak kilitleriyle ilgili parçalar olup, birinci tip ürün daha karmaşık bir teknoloji ve dolayısıyla daha yüksek bir maliyet gerektirirken birim kar katkısı da en yüksek olan üründür. İkinci tip ürün maliyet açısından ortalama bir ürün olup kar katkısı da yine ortalama seviyededir. Üçüncü tip ürün üretimi en kolay ve maliyeti en düşük olan ürün olup kar katkısı da diğer iki ürüne göre daha düşüktür. Firma bu üç ürünü Nevşehir, Aksaray ve Konya da faaliyet gösteren 3 atölyesinde üretmektedir. Her üç atölye de yaklaşık olarak aynı özelliklere sahip olup aralarındaki farklar bu çalışmanın sonuçlarını etkilemeyecektir.

Firmanın amacı bu üç üründen elde edeceği karı maksimize etmek için aylık üretim ve taşıma çizelgesi oluşturmaktır. Belirlenen üretim planının üretim başladıktan sonra değiştirilmesi oldukça maliyetli olmaktadır. Ürünlerin her biri hammadde ve işgücü maliyetine göre değerlendirilmektedir. Belirli miktarda ürün üretmek için kurulacak üretim hatları makinelerin, işgücünün ve yönetimin iyi bir eşgüdümünü gerektirmektedir. Son ürünlerin müşterilere ulaştırılması kapsamlı sözleşmeler ve malların sigortalanmasını gerektirmektedir. Bütün bu

süreçler firmaların sık sık değiştirmek istediği süreçler değildir. Dolayısıyla firma üretim ve dağıtım planının mümkün olan en uygun şekilde ve tek sefer için hazırlamayı istemektedir.

Firmanın hedef pazarlarını ise Bursa, Aksaray ve Ankara da kurulu bulunan kamyon fabrikaları oluşturmaktadır. Taleplerle ilgili veriler geçmiş dönemlerdeki satışlardan ve rakiplerle yapılan kıyaslama çalışmalarından hareketle elde edilmiştir. Verilerdeki aylık dalgalanmaların çeşitli sebepleri mevcuttur. Örneğin, hammadde tedarikçileri siparişleri her zaman belirlenen zaman diliminde tam olarak karşılayamamakta, çalışanların verimliliği aydan aya değişebilmekte, geri dönüşlere bağlı olarak yönetimin dikkati genel verimlilikten ziyade bireysel verimliliğe yani yeni işe alınanların eğitimine odaklanabilmektedir. Genel olarak firma her hangi bir ürün için belirli, sabit bir üretim ve dağıtım planını garanti edememektedir.

Talep verileri içinde belirsizlikler söz konusudur. Sezonsal değişimlerin yanında rekabetçiler pazar paylarını arttırmak için sürekli olarak fiyat savaşları ve promosyonlar hazırlamaktadır. Bu ve buna benzer çeşitli nedenlerle talebin doğru olarak tahmin edilmesi güçleşmektedir.

Birçok firma arz ve taleplerdeki belirsizliği dikkatli nokta tahminleri yaparak optimize etmeye çalışır. Bu çalışma için arz ve talep tahminleri her bir ürünün her bir pazardaki geçmiş dönem satışlarından üretilmiştir. Probleme ait bu bilgiler tablo 1'de görülmektedir. Fabrika 1, 2 ve 3 ürünlerin üretildiği arz merkezleridir ve her bir fabrika öncelikle birinci tip pazara odaklanmaktadır.

**Tablo 1:** Her Bir Ürün İçin Kapasite ve Talepler

	Kaynak/Hedef	1	2	3	Kapasite
1. Tip Ürün	1	100	120	90	50
	2	80	70	140	35
	3	90	95	110	35
	Talep	30	20	20	70/120
2. Tip Ürün	Kaynak/Hedef	1	2	3	Kapasite
	1	75	75	65	55
	2	75	65	55	60
	3	65	80	75	55
	Talep	40	45	35	120/170
3. Tip Ürün	Kaynak/Hedef	1	2	3	Kapasite
	1	45	35	40	70
	2	35	45	40	55
	3	35	45	30	75
	Talep	60	55	70	185/200

Tablonun içindeki rakamlar belirlenen bir birim ürünü verilen kaynaktan hedefe ulaştırmayla elde edilecek kazancı göstermektedir. Örneğin, bir birim birinci tip ürünü fabrika 1'den pazara 1'e ulaştırmakla 100 birim kazanç elde edilmektedir.

Genel olarak, firma ürünlerini talep merkezlerine farklı rotalar ve farklı taşıma yöntemleri ile ulaştırabilmektedir. Firmanın amaçları doğrultusunda çeşitli rotalara ve taşıma tekniklerine cezalar ve ödüller atanarak risk yönetimi veya sözleşmeye bağlı yükümlülükler dikkate alınabilir. Kolaylık olması açısından aşağıdaki tablo 2 de verilen rotalar için maksimum ürün taşıma kapasite sınırı belirlenmiştir. Bu sınırların modele ilave edilmesi kolaydır.

**Tablo 2:** Kaynaklar ve Hedefler için Taşıma Limitleri

Kaynak (fabrika)	Hedef (Müşteri)	Taşıma Limiti
1	1	70
1	3	75
3	3	70

## A. GELENEKSEL ÇÖZÜM

Ele alınan problem Excel Çözücü eklentisiyle kolayca çözülebilmektedir. Birinci indeks birinci tip ürüne, ikinci indeks ikinci tip ürüne ve üçüncü indeks üçüncü tip ürüne karşılık gelmek üzere  $X_{ijk}$   $k$  tipi ürünün  $i$ . kaynaktan  $j$ . hedefe ulaştırılan miktarını göstermektedir.  $C_{ijk}$   $k$  tipi ürünü  $i$  kaynağından  $j$  hedefine ulaştırmayla elde edilen kazanç olmak üzere amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\max P = \sum_k \sum_i \sum_j C_{ijk} \times X_{ijk}$$

$S_{ik}$   $k$  tipi ürün ve  $i$  kaynağı için üretim miktarı,  $D_{jk}$   $k$  tipi ürün ve  $j$  hedefi için talep olmak üzere kapasite ve talep sınırları aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\sum_j X_{ijk} \leq S_{ik} \quad i = 1,2,3 \quad k = 1,2,3$$

$$\sum_i X_{ijk} \geq D_{jk} \quad j = 1,2,3 \quad k = 1,2,3$$

Örneğin birinci tip ürünü düşünürsek, birinci kaynağın kapasite sınırları  $X_{111}+X_{121}+X_{131} \leq 50$  olacaktır. Hedef pazar 1 için ise talep kısıtı  $X_{111}+X_{211}+X_{311} \geq 30$  olacaktır. Problem bazı sağ taraf sabitleri ile 3 bağımsız ulaşırma problemi olarak modellenenir. Bu model için optimum çözüm 36,350 br kar sağlamaktadır.

## B. BULANIK ULAŞTIRMA MODELİ YAKLAŞIMI

Geleneksel deterministik model üzerinde iki değişiklik yapılmıştır. Birincisi, toplam kar ile ilgili tek bir amaç fonksiyonu yerine 3 ayrı amaç kullanılmıştır. Bu amaçlardan her biri sırasıyla 1. tip, 2. tip ve 3. tip ürünler için kazançları göstermektedir. Başlangıçtaki tek amaç aşağıdaki amaçlar ile yer değiştirmiştir:

$$\max z_1 = \sum_i \sum_j C_{ij1} \times X_{ij1}$$

$$\max z_2 = \sum_i \sum_j C_{ij2} \times X_{ij2}$$

$$\max z_3 = \sum_i \sum_j C_{ij3} \times X_{ij3}$$

Tek amaçlı optimizasyonda her bir kar bileşeni arasında en iyi olası karı oluşturmak için uzlaşma arar. Bu tür bir problem için çözüm analizciye her bir amacın çözüm için nasıl uzlaştığını otomatik olarak göstermez. Eğer çözümü bir amaç yönlendiriyorsa bu durum kolayca açık bir şekilde anlaşılabilir. Birçok durumda bileşenlerin toplamının geleneksel optimizasyonunun bileşenlerden birinin yoğun etkisi altında gerçekleştiği gösterilmiştir. Bu çalışmada ele alınan örnek bu durum için mükemmel bir örnektir. Burada çözüm birinci tip ürün tarafından domine edilmektedir. Aynı karlılıktaki bir üretim planı sadece birinci tip ürünle ilgili amaçları optimize edip diğer bileşenleri yok sayarak da üretilebilir. Genel olarak, üretim planı alternatif optimumlardan dolayı birebir aynı olmayabilir.

Her bir bileşeni ayrı amaç fonksiyonu olarak ele almak doğru bir uzlaşma sağlayabilir. Çok amaçlı yaklaşım her bir amacın kendi aralığında nasıl değiştiğini hızlı ve kolay bir şekilde karşılaştırma imkanı sağlar. Bu bilgi ve esneklik geleneksel tek amaçlı optimizasyonda mevcut değildir.

Modeldeki ikinci değişiklik arz ve talepteki belirsizliklere izin verir. Birbirine yarışan üç amaç arasında uzlaşma temeli sağlamak için yöneticilerin tecrübelerine bağlı tahminleri kullanılmıştır. Her bir sınır için alt ve üst limitler belirlenmiş, ve tüm sınırlar bulanık olarak ifade edilmiştir. Taşıma limitleri de yöneticilerin bilgi, tecrübe ve kişisel risk profiline bağlı olarak bulanık olarak belirlenmiştir. Sınırları aşma seviyeleri üçgen bulanık sayılar olarak gösterilmiştir. Bu yaklaşım yöneticilere model girdileri için bir nokta tahmini yapmaları yanında bu girdilerin belirli bir aralığa yerleştirilmesine izin vermektedir. Her bir sınır için sadece 3 değere ihtiyaç vardır. Bu üç değerden birincisi orijinal problemdeki arz ve talep miktarlarından oluşmaktadır. Diğer iki değer ise yöneticilerin

aralık tahminlerinden elde edilmiştir. Tablo 3’de her bir ürün için kapasite ve taleplerin alt (a) ve üst (b) limitleri ve tahmin edilen değerleri (m) verilmiştir.

**Tablo 3:** Her Bir Ürün Tipi İçin Kapasite ve Talep Kısıtlarının Alt, Üst Limitleri ve Tahmini Değerleri

	Kaynak/ Hedef	Kapasite			Talep		
		a	M	b	A	m	b
1. Tip Ürün	1	50	50	52	30	30	32
	2	35	35	36	20	20	22
	3	35	35	36	20	20	21
2. Tip Ürün	1	55	55	65	40	40	50
	2	60	60	70	45	45	50
	3	55	55	65	35	35	45
3. Tip Ürün	1	70	70	80	60	60	80
	2	55	55	70	55	55	70
	3	75	75	85	70	70	85

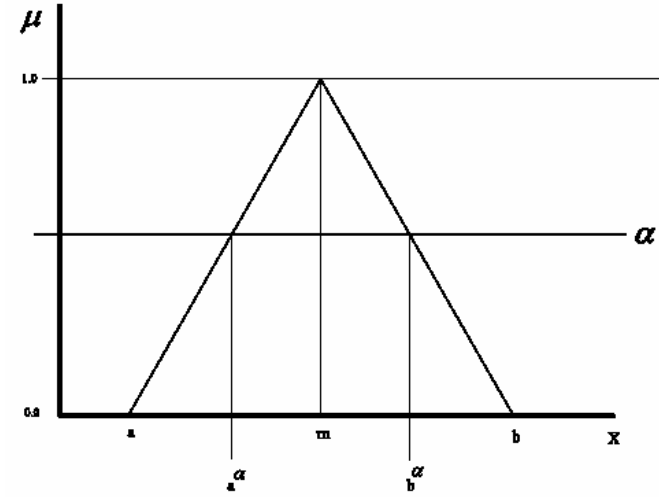
Kaynaklardan hedeflere yapılacak taşıma limitleri ile ilgili bulanık veriler ise tablo 4’de gösterilmektedir.

**Tablo 4:** Rotalar İçin Belirlenen Taşıma Limitlerinin Alt, Üst Limitleri Ve Tahmin Edilen Değerleri

	A	M	b
Rota 1 – 1	70	70	80
Rota 1 – 3	75	75	85
Rota 3 – 3	70	70	80

Bulanık sayılar geçmiş verilerle gösterilmemiş faaliyet seviyelerinin meydana gelme ihtimali olarak değerlendirilebilir. Uygulama problemi için, şekil 4’de verilen veri için bulanık sayı, belirtilen 66 birimlik üretimde bir  $\alpha$  – kesmesi içermektedir.

**Şekil 4:** Bulanık Üçgensel Sayı ve  $\alpha$  – Kesmesi



Özellikle planlama faaliyetleri için geçmiş veriler gelecek için tek başlarına iyi bir tahmin aracı olmayabilir fakat bulanık sayılar istenilen güven düzeyinde etkili tahmin aralıkları ve tahminler belirleyebilir.

Problemin modellenmesinde ve çözümünde Cplex kütüphanesi üzerine kurulu GPLIB yazılımı kullanılmıştır. Daha önceki bölümde açıklanan Verdegay çözüm yaklaşımı ile oluşturulan bulanık kısıtlı sınırlar ve amaç fonksiyonu programda kodlanarak aşağıdaki sonuç elde edilmiştir.

Üyelik derecesi  $\alpha=0.2$

X111=16	X121=35	X231=35	X311=15	X331=20
X122=63	X212=68	X322=23	X332=40	
X113=62	X133=16	X213=28	X233=39	
X323=65	X333=18			

Problemin amaçlarının her birinin tek bir amaç olarak çözülmesi ile elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir. Her bir amacın alt ve üst sınırları ve % sapma değeri gösterilmiştir.

Objective: 1.Tip ürün	Objective : 2.Tip ürün	Objective : 3.Tip ürün
Lower : 14150	Lower : 12850	Lower : 9350
Current: 14250	Current: 14665	Current: 10515
Upper : 14600	Upper : 15100	Upper : 10950
%DEV : 77.7778	%DEV : 19.3333	%DEV : 27.1875



Her bir amacın mevcut değerinin ve değer aralığının gösterilmesi karar vericiye her bir amaç fonksiyonu değerinin olası en iyi çözüm aralığına ne kadar yaklaştığını görme imkanı sağlamaktadır. Eğer her bir amaç üst limitlerinde olsaydı sınırlar arasında bir uzlaşma söz konusu olmazdı. Yani, tüm amaçların çözümde optimize edildiği ve bir uzlaşma olduğu söylenebilir.

Bulanık problemin çözümü kullanıcı tarafından yönlendirmeli olarak yapıldığında, çözüm girdi verisindeki çeşitliliğin avantajını kullanarak 39,865 br beklenen kar üreten sınırların ve amaçların uzlaştığı çözümü seçebilir. Bu durum kardaki 3,515 birimlik bir iyileşmeyi göstermektedir.

### TARTIŞMA ve SONUÇ

Gerçek dünyadaki belirsizlik ve dinamik pazar yapıları tedarik zinciri boyunca alınacak tüm kararların geçerliliğini ve etkinliğini etkilemektedir. Özellikle talep, kapasite, maliyetler, fiyatlar gibi piyasa şartlarına göre değişebilen veya ayarlanabilen parametreler için kesin değerlerle analiz pratik çalışma hayatına olan uzaklığın bir göstergesidir. Bir tedarik zincirindeki temel karar alma noktalarından birisi olan hangi tedarikçilerden hangi müşterilere ne kadar ürün sağlayacağı sorusunu kapsayan ulaştırma problemi, önceden bilindiği varsayılan parametreler ile çözüldüğü takdirde gerçek hayatta çelişkili durumlar ortaya çıkabilmektedir.

Gerçek hayattaki tecrübelerin dikkate alınarak problemin çözümünde kullanılması ile pratik hayata mümkün olduğunca yakın ve daha gerçekçi çözümler elde etmek mümkündür. Bu tecrübeleri probleme ve çözüme aktarmanın en etkili yollarından birisi de bulanık mantıktır. Çalışmada ulaştırma probleminin parametrelerinden talep ve kapasite verileri üçgen ve yamuksal bulanık sayılar olarak tanımlanmış ve çözüme ulaştırılmıştır.

Bulanık ulaştırma probleminin çözüm sürecini açıklamak için yapılan örnek problem çözümünde talepler ve kapasiteler üçgen bulanık sayılar ve Verdegay'ın (1982) önerdiği üyelik fonksiyonu kullanılmıştır.

Problemin yukarıda açıklanan şekilde formülasyonundan sonra elde edilen sonuçlara göre farklı üyelik değerlerinde farklı sonuçlar elde edilmiştir. Örneğin, daha kontrollü bir yönetici yaklaşımı ile  $\alpha \in [0, 3/5]$  üyelik aralığı için birinci kaynaktan birinci hedefe  $3+3\alpha = 18/5$  br ürün gönderilebilecektir. Farklı üyelik değerlerinde benzer şekilde değerler hesaplanabilmektedir.

Bu çalışmada tedarik zinciri yönetiminin önemli bir parçasını oluşturan tedarikçilerle üreticiler arasındaki arz talep ilişkisini konu alan ulaştırma probleminin gerçek hayata daha yakın sonuçlar elde etmek için bulanık mantık yardımıyla nasıl formüle edilip çözülebileceği gösterilmiştir. Farklı üyelik değerleri için farklı uygun çözüm sonuçları elde etmenin çeşitli yönetici profilleri için karar alma alternatifleri geliştirilmesine yardımcı olabileceği görülmüştür. Ayrıca gelecekteki çalışmalarda ulaştırma problemlerinde kullanılacak bulanık sayı türlerinin karşılaştırılması için üçgen bulanık sayılar örneği sunulmuştur.

### KAYNAKÇA

- BELLMAN R.E. ve L.A. ZADEH; (1970), "Decision-Making in a Fuzzy Environment", **Management Science**, 17, ss.141-164.
- BENITA M. ve M. BEAMON; (1998), "Supply Chain Design and Analysis: Models and Methods. **International Journal of Production Economics**, 55, ss.281-294.
- BUCKLY J.J.; (1988), "Possibilistic Linear Programming With Triangular Fuzzy Numbers", **Fuzzy Sets and Systems**, 26, ss.135-138.
- CHANAS S. ve D. KUČHTA; (1996), "A Concept of The Optimal Solution of The Transportation Problem With Fuzzy Cost Coefficients", **Fuzzy Sets and Systems**, 82, ss. 299-305.
- CHEN, Chen-Tung, ve Sue-Fen HUANG; (2006), "Order-Fulfillment Availability Analysis In The Supply-Chain System With Fuzzy Operation Times", **International Journal of Production Economics**, 101, ss.185-193.
- CHRISTOPHER, M.; C. M. MAGRILL ve G. WILLS; (1998), "Educational Developments For Marketing Logistics", **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, 28(4), ss.234-241.
- COOPER, M.C. ve LAMBERT D.M.; (2000) "Issues in Supply Chain Management", **Industrial Marketing Management**, 29(1), ss.65-83.
- DEJONCKHEERE, J.; S.M. DISNEY, M.R. LAMBRECHT ve D.R. TOWILL; (2002) "Transfer Function Analysis Of Forecasting Induced Bullwhip In Supply Chains", **International Journal Production Economics**, 76, ss.133-144.
- DOLGUI, A. ve M.A. OULD-LOULY; (2002), "A Model For Supply Planning Under Operation Time Uncertainty", **International Journal Production Economics**, 78, ss.145-152.
- DUBOIS, D.; H. FARGIER ve V. GALVAGONON; (2003), "On Latest Starting Times And Oats in Activity Networks With Ill-Known Durations", **European Journal of Operational Research**, 147, ss.266-280.
- JUKKA, K.; L., ANTTI ve T. MARKKU; (2001), "An Analytic Approach To Supply Chain Development", **International Journal Production Economics**, 71, ss.145-155.
- JULIEN B.; (1994), "An Extension To Possibilistic Linear Programming", **Fuzzy Sets and Systems**, 64, ss.195-206.
- KAUFFMANN, A. ve GUPTA M.M.; (1988), **Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management Sciences**, Elsevier Science Publishers B.V., Netherlands.

- LEE, H.L.; V. PADAMANABHAN ve S. WHANG; (1997), “Information Distortion in A Supply Chain:The Bullwhip Effect”, **Management Science** , 43, ss.546-565.
- MIN, H. ve G. ZHOU; (2002), “Supply Chain Modeling: Past, Present And Future”, **Computers and Industrial Engineering**, 43(1/2), ss.231-49.
- NEW, S.J. ve P. PAYNE; (1995). “Research Frameworks in Logistics : Three Models, Seven Dinners And A Survey”, **International Journal of Physical Distribution and Logistics Management**, 25, ss.60–77.
- OUYANG L.Y. ve H.C. CHANG; (2002), “A Minimax Distribution Free Procedure For Mixed Inventory Models Involving Variable Operation Time With Fuzzy Lost Sales”,**International Journal Production Economics**, 76, ss.1–12.
- ÖZKAN, Mustafa, (2002), “Bulanık Doğrusal Programlama ve Bir Tekstil İşletmesinde Uygulama Denemesi”, **Doktora Tezi**, Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bursa.
- VERMA R.; M. BISWAL ve A. BISAWAS; (1997), “Fuzzy Programming Technique To Solve Multiple Objective Transportation Problems With Some Nonlinear Membership Functions”, **Fuzzy Sets and Systems**, 91, ss.37–43.
- PARRA M.A.; A.B. TEROL ve M.V.R. URIA; (1999), “Solving the Multiobjective Possibilistic Linear Programming Problem”, **European Journal of Operational Research** ,117, ss.175–182.
- RICHARD, A.L.; F.S., MICHAEL ve J.S. HOPE; (2003), “Strategic Internet Application Trends In Supply Chain Management”, **Industrial Marketing Management**, 32, ss.211-217.
- ROSS, D.F.; (1997), **Competing Through Supply Chain Management**, Chapman & Hall, London.
- TAN, K.C.; (2001), “A Framework Of Supply Chain Management Literature”, **European Journal of Purchasing and Supply Management**, 7, ss.39–48.
- VERDEGAY,J.L.; (1982), “Fuzzy mathematical programming”, in BM15, ss.231-236.
- YALÇIN SEÇME Neşe; (2005) “Klasik Doğrusal Programlama ve Bulanık Doğrusal Programlamanın Karşılaştırmalı Bir Analizi: Üretim Planlama Örneği”, **Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi**, Kayseri.
- ZADEH,L. A.; (1965) “Fuzzy Sets” **Information and Control**, Vol.8, ss.338-353.
- ZADEH L.A.; (1978), “Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility”, **Fuzzy Sets and Systems**, 1, ss.3–28.