

## TALEBİN BELİRSİZ OLDUĞU TEDARİK ZİNCİRİ TASARIMINDA BULANIK ENİYİLEME YAKLAŞIMI

**Arş. Gör. Bilal ŞİŞMAN**  
Afyon Kocatepe Üniversitesi  
İktisadi İdari Bilimler Fakültesi İşletme Bölümü  
[bilalsis@hotmail.com](mailto:bilalsis@hotmail.com)

### ÖZET

*Gerçek yaşamdaki belirsizlikler, karmaşıklıklar ve bilgi eksikliği karar vericilerin karar vermeleri üzerinde oldukça etkili olmuştur. Özellikle işletmeler açısından bakıldığında, bu durum yöneticilerin subjektif ortam altında karar vermelerini zorunlu kılmıştır. Çalışmada, tedarik zinciri tasarımı talebin belirsiz olduğu ve kesin olmadığı düşünülerek, Werner'in bulanık doğrusal matematiksel programlama modeli kullanılmıştır. Tedarikçi, tesis, dağıtım merkezi ve müşteri sayısının birbirinden farklı olduğu karar ortamlarında (test problemleri) üyelik (tatmin) derecelerini enbüyüklemek için geliştirilen bulanık modellerin amaç fonksiyonu ve kısıtları tekrar düzenlenmiştir. Ele alınan test problemleri, doğrusal matematiksel programlama ve bulanık doğrusal programlama yöntemleri kullanılarak birbiriyle karşılaştırılmıştır. Müşteri taleplerinin belirsiz olduğu durumlarda tatmin dereceleri ve toplam maliyetin değerleri hesaplanmış ve bu değerler karar vericiye sunulmuştur. Çıkan sonuçlara göre birinci test problemi için % 55, ikinci test problemi için % 44 ve üçüncü test problemi için % 43 tatmin derecesinde en iyi maliyet değerleri elde edilmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Tedarik Zinciri Tasarımı; Bulanık Doğrusal Programlama; Bulanık Küme.

## FUZZY OPTIMIZATION APPROACH IN SUPPLY CHAIN NETWORK WITH UNCERTAIN DEMAND

### ABSTRACT

*Uncertainties, complexities and lack of information become quite effective manners on decision makers' decisions in the real world. Especially from the perspective of enterprises, this situation make necessary managers taking decisions under subjective environment. In this paper, Werner's fuzzy linear mathematical programming model is used by considering with uncertain and indefinite demand in supply chain design. The objective functions and constraints of fuzzy models are reformed in order to maximize membership (satisfy) degrees at three different decision environments with differential that the number of suppliers, facilities, distribution centers and customers. These test problems are compared by using linear programming and fuzzy linear programming methods. Total cost and membership functions are calculated and presented for decision makers when customer demands are uncertain. According to the results, the best cost values were obtained that satisfy degrees of % 55 for the first test problem, % 44 for the second test problem and % 43 for the third test problem.*

**Key Words:** Supply Chain Network; Fuzzy Linear Programming; Fuzzy Set.

## 1. Giriş

Bir kuruluş tarafından üstlenilen işletme faaliyetlerinin koordinasyonu ve bir araya getirilmesi, ham maddelerin satın alınmasından bitmiş ürün olarak müşteriye teslimine kadar olan süreçler, tedarik zinciri yönetim kavramı içerisinde en önemli süreçlerden biri olan tedarik zinciri planlama süreci olarak tanımlanır. Tedarik zinciri planlama problemi, zaman dilimleri dikkate alınarak ayrıştırılabilir. Tedarik zincirinde uygulanan karar modelleri stratejik, taktiksel ve operasyonel olmak üzere üç sınıfta incelenebilir (Peidro vd., 2009). Stratejik planlama modelleri beş ila on yıl arasında değişen tedarik zincirinin tasarımı ve yapılandırılmasını etkiler. Taktiksel planlama modelleri imalat tesisleri, depolar, tedarikçiler, dağıtım merkezleri ve nakliyeler gibi planlama süresi bir veya iki yıl olan çeşitli kaynakların en uygun kullanım kararı ile ilgilidir. Operasyonel modeller ise, detaylı çizelgeleme tanımlamaları, iş sıralamaları, parti büyüklüğü, araç rotalama gibi zaman periyodu bir haftadan iki haftaya kadar olan süreçler ile ilgilidir. Çalışma taktiksel planlama tedarik zinciri planlama problemi üzerine odaklanmıştır (Gupta & Maranas, 2003).

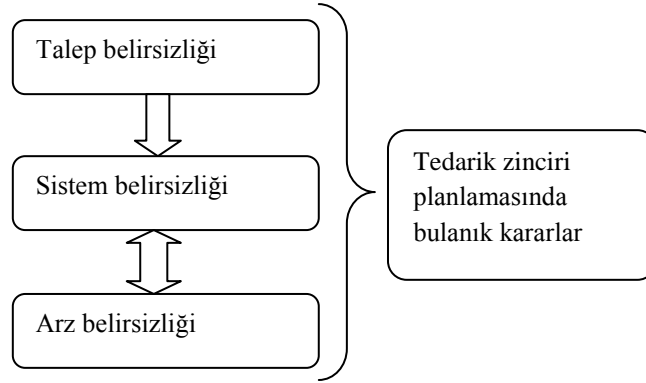
Piyasaların dinamik yapısından dolayı tedarik zincirlerinde operasyon zamanlarının, taleplerin ve maliyetlerin belirlenmesi kolay değildir. Bu yüzden, firmalar müşterilerine üretim süreçlerine ilişkin kesin tarihler veya miktarlar verememektedir. Firmaların müşterileriyle olan bu ilişkilerinden dolayı oluşturulan tedarik zinciri modelleri bulanıklaşmaktadır. Tedarik zincirinde üreticilerle tedarikçiler arasındaki arz talep ilişkisindeki belirsizlikler ve kapasitelerin belirli aralıklarda değişken kullanımı, dağıtım probleminin doğasındaki belirsizlikten kaynaklanmaktadır. Geleneksel olarak problem parametrelerindeki belirsizlikler literatürde olasılık dağılımlarıyla modellenirler (Dolgui & Ould-Louly, 2002; Dubois vd., 2003). Aslında, kesin ve net olmayan parametreler (talep, maliyet, zaman vb.) sadece yöneticilerin geçmiş dönemlerde yaşadıkları tecrübeler ve subjektif yargılarına göre belirlenir. Bununla birlikte, bulanık mantık karar vericilerin öznel görüşleri, taleplerdeki ve kapasitelerdeki belirsizlikleri göstermede oldukça etkilidir. Taleplerdeki ve kapasitelerdeki bu belirsizlikler dikkate alındığında bulanık tedarik zinciri problemi yaklaşımı, bir tedarik zincirindeki arz, talep ve kapasite bilgilerinin düzenlenmesinde kullanılabilen bir yöntemdir (Özdemir & Seçme, 2009).

Belirsiz, kesin olmayan ve mevsimsel değişikliğe uğrayan müşteri talepleri, tedarik zinciri problemlerinde en önemli ve en geniş çalışma alanlarından biridir (Das & Abdel-Malek, 2003; Guillén vd., 2005; Hsu & Wang, 2001; Leung vd., 2006; Liang, 2006; Petrovic, 2001; Wang & Fang, 2001; Kabak & Ülengin, 2011). Çalışma alanlarının bu kadar çok olmasının temel nedeni, yöneticilerin gün geçtikçe daha az riskle daha fazla fayda sağlayacak yöntemleri arayış içerisinde olmasıdır. Bir tedarik zinciri yönetiminde taleplerdeki dalgalanmalar üretim sistemini ve tedarikçileri etkilemektedir. Bununla birlikte sistem, süreç ve makine arızaları gibi belirsizliklerde üretim sisteminde ve tedarik zincirinde taraflar arası güvensizliğe neden olmaktadır.

Davis (1993)'te tedarik zincirinde, arz belirsizliği, süreç belirsizliği ve talep belirsizliği olmak üzere üç farklı belirsizlikten bahsetmektedir. Arz belirsizliği, gecikmeden veya kusurlu teslimlerden dolayı tedarikçi performansı ile ilgilidir. Süreç

belirsizliği, makine arızalarından dolayı üretim sürecindeki güvensizlikten kaynaklanmaktadır. Talep belirsizliği ise, Davis'e göre en önemlisi, doğru yapılmayan tahminler veya geçici talep bilgilerinden kaynaklanmaktadır (Peidro vd., 2009). Bu yüzden önerilen modellerde stratejik tedarik zinciri planlamaları için bulanık kararlar önerilmektedir. Şekil 1'de önerilen modellerin arkasında yatan mantık gösterilmektedir.

### Şekil 1. Önerilen Bulanık Modelin Mantığı



**Kaynak:** Kabak & Ülengin, 2011.

Bulanık küme kapsamında ilk çalışmayı Zadeh (1978) yapmıştır. Buckley (1988) bütün parametrelerinin bulanık olabileceği bir matematiksel programlama modeli geliştirmiştir. Hsu & Wang (2001) olasılık teorisi ile Zimmerman'ın bulanık programlama metodunu üretim planlama kararlarını yönetmek için belirsiz hedefler ve belirsiz talep bilgileri altında birleştirerek matematiksel model geliştirmiştir. Tedarik zincirinde tesis yerleşim problemlerinde ürün, talep miktarı veya üretim sürecinden belirsizlik yaşandığı durumlarda Peidro vd., (2010) ve Mula vd., (2010) model içerisinde amaç fonksiyonu veya kısıtlarda bulanıklaştırma yöntemini kullanarak bulanık doğrusal model önermişlerdir.

Bulanık ortamda satın alma, üretim ve dağıtım planlama faaliyetleri ile bütünleşik bir yapı içeren tedarik zinciri planlama problemi konusunda az sayıda çalışma yapılmıştır. Dahası, bütünleşik durumlarda belirsizliğin farklı kaynaklarını içeren model çalışmaları eksiktir. Bu eksiklik düşünülerek çalışmada genel olarak bulanık bir ortamda çok kademeli taktiksel tedarik zinciri yönetimi problemi ele alınmıştır.

Model, tedarikçiler, üreticiler, dağıtım merkezleri ve müşterilerden oluşan bir yapı içermektedir. Çalışmanın amacı çok kademeli bir tedarik zincirinde müşteri taleplerinin belirsiz olduğu durumlar için oluşan maliyet değişkenliğini ve açılan dağıtım merkezi ve tesislerin yerlerini gözlemlemektir. Bu yüzden çalışmada, bulanık doğrusal programlama modelinin problem hacmine karşı duyarlılığını tespit edebilmek ve performans analizini gerçekleştirebilmek için üç farklı test problemi geliştirilmiştir. Bu farklı test problemleri ile modelin boyut analizi yapılmış ve elde edilen veriler ile modelin değişkenleri arasında fonksiyonel bir bağ oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu açıdan bakıldığında çalışmanın literatüre katkısı: çok kademeli, çok seviyeli bir tedarik zinciri ağında üretim ve dağıtım faaliyetlerini içeren taktiksel bir planlama modeli

tanımlamak ve belirsiz müşteri taleplerini olduğu durumlarda karar vericinin farklı seçenekleri göz önüne alıp karar vermesine yardımcı olacak bir bulanık matematiksel model tasarlamaktır. Modelde farklı parametreler altında tatmin düzeyini enbüyükleyecek şekilde maliyet karşılaştırılması yapılmıştır.

Çalışmanın izleyen bölümleri şu şekildedir: İkinci bölümde tedarik zinciri yönetimi, bulanık tedarik zinciri ve kesin olmayan talep bilgileri altında yapılan çalışmalar incelenmiştir. Üçüncü bölümde bulanık mantık kavramı hakkında bilgi verilmiş ve Werner's yaklaşımı anlatılmıştır. Dördüncü bölümde belirsiz talep bilgisini dikkate alan bulanık matematiksel model tanımlanmış ve modelin uygulaması yapılmıştır. Beşinci bölümde ise sonuç ve gelecek araştırmalar için öneriler sunulmuştur.

## 2. Literatür Taraması

Tedarik zinciri problemleri genellikle deterministik ve tek amaçlı problemlerdir. Özellikle bulanık mantık tabanlı modeller çok sık kullanılmaz. Fakat tedarik zinciri yönetimi modellerinin yapısında dikkate alınması gereken birçok belirsizlik vardır. Özellikle yeni ürün tasarımı, talep tahmini veya stratejik planlama gibi geleceğe yönelik tahmin gerektiren problemlerde parametrelerin kesinliği tartışılabilir. Bulanık mantık bu tip belirsiz durumların modellenmesinde önemli bir araçtır. Tedarik zinciri, hammaddenin tedarikçilerden alınıp bitmiş ürün olarak müşteriye teslimine kadar geçen süreçtir. Bu açıdan tedarik zincirinin her aşamasında kesin olmayan ve belirsizlik içeren pek çok durum vardır. Literatür incelendiğinde [(Petrovic vd., 1999), (Chen & Lee, 2004), (Ryu vd., 2004), (Wang & Shu, 2005), (Mula vd., 2006), (Liang, 2006), (Wang & Shu, 2007), (Xu vd., 2008)] birçok araştırmacının bulanık doğrusal modelleme ile ilgili çalışmaları görülmektedir (Kabak & Ülengin, 2011). Tablo 1'de bulanık parametreler içeren çalışmalar listelenmiştir.

**Tablo 1. Tedarik Zinciri Yönetiminde Bulanık Programlama Kullanan Çalışmalar**

Yazar (yıl)	Çalışmanın tipi	Amaç fonksiyonu	Bulanık parametre	Çözüm prosedürü
<b>Petrovic vd. (1999)</b>	Çok kademeli bulanık küme modeli	Maliyet enküçükleme	Talep ve arz	Benzetim
<b>Chen &amp; Lee (2004)</b>	Çok kademeli bulanık küme modeli	Kâr enbüyüklenme, stok seviyesi enbüyüklenme ve hizmet düzeyi enbüyüklenme	Talep ve fiyat	İki fazlı bulanık karar verme metodu
<b>Ryu vd. (2004)</b>	Çok kademeli ve tek amaçlı	Maliyet enküçükleme	Talep	Parametric programlama tabanlı çözüm metodu

<b>Wang &amp; Shu (2005)</b>	Çok kademeli bulanık küme modeli	Maliyet enküçükleme	Talep ve üretim süresi	Genetik algoritma yaklaşımı
<b>Mula vd. (2006)</b>	İki kademeli bulanık küme modeli	Maliyet enküçükleme	Amaç fonksiyonu ve kısıtlar	Bulanık matematiksel programlama yaklaşımı
<b>Liang (2006)</b>	İki kademeli bulanık küme modeli	Maliyet enküçükleme ve teslim süresini enküçükleme	Amaç fonksiyonu, arz, talep ve bütçe kısıtı	Bulanık çok amaçlı doğrusal programlama
<b>Wang &amp; Shu (2007)</b>	İki kademeli ve tek amaçlı	Kâr enbüyükleme	Talep, hazırlık süresi, hizmet süresi, müşteriye cevap	Genetik algoritma
<b>Xu vd. (2008)</b>	Çok kademeli bulanık küme modeli	Maliyet enküçükleme ve hizmet düzeyi enbüyükleme	Talep ve kısıtların parametreleri	Spanning-tree tabanlı genetic algoritma
<b>Liang &amp; Cheng (2009)</b>	Çok ürünlü, çok periyotlu bulanık dağıtım planlama modeli	Maliyet enküçükleme ve toplam teslim zamanı enküçükleme	Stok, makine kapasiteleri ve işçi seviyeleri	Bulanık çok amaçlı doğrusal programlama
<b>Peidro vd. (2010)</b>	Çok kademeli. Çok ürünlü tedarik zinciri tasarımı	Maliyet enküçükleme	Talep	Bulanık doğrusal programlama
<b>Mula vd. (2010)</b>	Çok kademeli bulanık küme modeli	Maliyet enküçükleme	Talep	Bulanık doğrusal programlama

Birçok tedarik zinciri tasarım modelleri deterministik olsa da, genellikle yapısında belirsizlik bulunduran modellerdir. Özellikle yeni ürün tasarımı, talep tahmini veya stratejik planlama gibi geleceğe yönelik tahmin gerektiren problemlerde

parametrelerin kesinliği tartışılabilir. Bulanık mantık, bu tip belirsiz durumların modellenmesinde önemli bir araçtır. Bulanık modellerin amaç fonksiyonu, kısıtları veya hem amaç fonksiyonu hem de kısıtları aynı anda bulanıklaştırılabilir.

### 3. Bulanık Mantık

Bilindiği üzere, günlük hayatta karşılaşılan pek çok karar problemi bir doğrusal programlama (DP) problemi olarak formüle edilebilir. Ancak, çoğu durumda, doğrusal programlama problemlerinde kısıtların veya amaç fonksiyonlarının kesin olarak belirlenmesi mümkün olmamaktadır. Böyle durumlarda, bulanık doğrusal programlama (BDP) yöntemlerine başvurulur. Klasik DP'dekinin aksine, BDP problemlerinde amaçlar ve kısıtlar bulanık kümeler şeklinde (G ve C) ifade edilir ve bu bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları  $\mu_G(x)$  ve  $\mu_C(x)$  şeklindedir. Bu durumda bulanık karar kümesi D;  $D=G \cap C$  olarak tanımlanır ve üyelik fonksiyonu; Bulanık Doğrusal Programlama  $\mu_D(x) = \min(\mu_G(x), \mu_C(x))$  olur (Paksoy, 2011).

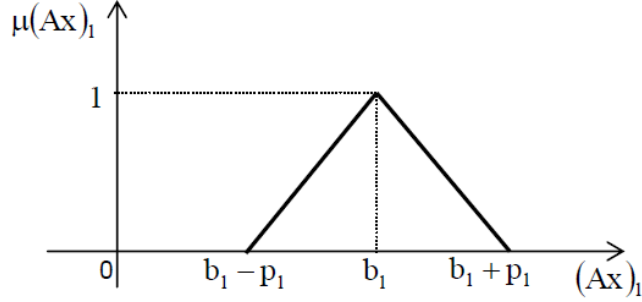
Bulanık mantık teorisi Lotfi Zadeh tarafından klasik küme teorisinin bir uzantısı olarak 1965 yılında ortaya atılmıştır. Temel fikri klasik kümelerdeki gibi bir değer bir kümenin elemanı olup olmadığı sorusuna evet-hayır, doğru-yanlış, siyah-beyaz veya güzel-çirkin gibi keskin cevaplar vermeyip bu elemanın üyeliğinin 0 ile 1 arasında değerler alabilen sürekli bir üyelik fonksiyonu ile ifade edilmesidir (Zadeh, 1965).

Klasik doğrusal programlama problemlerinde kısıtlara bağlı olarak amaç fonksiyonunu eniyileyen çözüm ya da çözümler elde edilmeye çalışılır. Gerçek yaşam problemlerini daha çok yansıtan bulanık doğrusal programlamada amaç fonksiyonun en iyilenmesinden ziyade belirli bir tatmin derecesi sağlanmaya çalışılır. Örneğin amaç fonksiyonunun doğrudan enbüyükleme ya da enküçükleme yapılması yerine bunu daha esnek bir dilde söyleyerek gerçekte olabilecek şeyler göz ardı edilmemeye çalışılır. DP modelinden farklı olarak BDP modelinde en belirgin fark bulanık olan kısıtlara bulanıklık simgesinin ( $\sim$ ) konması ve bulanık olan yer için  $[0,1]$  aralığında tanımlı olan üyelik fonksiyonunun belirlenmesidir. Genel olarak bir BDP modelinin tüm katsayılarının bulanık olduğu düşünülerek elde edilecek formülasyonun gösterimi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\begin{aligned} \text{Enb } Z &= \sum_j \tilde{c}_j x_j \\ \sum_j \tilde{a}_{ij} x_j &(\leq, =, \geq) \tilde{b}_i \quad \forall i \\ x_j &\geq 0 \end{aligned} \quad (3.1)$$

Çalışma kapsamında incelenecek olan bulanık doğrusal programlama yaklaşımı sadece talep verilerinin bulanık olduğu durum için incelenecektir. Bulanık sayılara ilişkin farklı üyelik fonksiyonları mevcuttur. Bunlar yamuk üyelik fonksiyonları ve üçgensel üyelik fonksiyonlardır. Bulanık üçgensel üyelik fonksiyonun gösterimi Şekil 2'de gösterildiği gibidir.

## Şekil 2. Üçgensel Bulanık Sayıların Fonksiyonları



Bulanık üçgensel sayı olan A ( $b_1 - p_1$ ,  $b_1$ ,  $b_1 + p_1$ ) şeklinde olup,  $b_1$  ortalama değer,  $b_1 - p_1$ ,  $b_1 + p_1$  ise sırasıyla sol ve sağ taraf bulanık sayılarıdır.

$$\mu(Ax)_1 = \begin{cases} 0, & (Ax)_1 < b_1 - p_1 \\ 1 - \frac{[b_1 - (Ax)_1]}{p_1}, & b_1 - p_1 \leq (Ax)_1 \leq b_1 \\ 1 - \frac{[(Ax)_1 - b_1]}{p_1}, & b_1 \leq (Ax)_1 \leq b_1 + p_1 \\ 0, & (Ax)_1 > b_1 + p_1 \end{cases} \quad (3.2)$$

BDP içerisinde birçok yaklaşım yer almaktadır. Çalışmada kullanılacak yaklaşım Werners Yaklaşımıdır.

### 3.1. Werners Yaklaşım

Werners (1987) bu yaklaşımda sağ taraf sabitlerinin bulanık olmasından dolayı amaç fonksiyonunun da bulanık olacağını ifade etmiştir. Ona göre başta sadece sağ taraf sabiti bulanık olan bir BDP modelinin daha sonra amaç fonksiyonunun da bulanık olacağı ileri sürülmüştür. Bu açıdan Werners'in modeli simetrik bir model özelliğini taşımaktadır.

Verilen modelde amaç fonksiyonunun bulunabilmesi Werners  $z^0$  (üyelik derecesinin kullanılmadığı) ve  $z^1$  (üyelik derecesinin kullanıldığı) değerleri aşağıdaki gibi tanımlamıştır:

$$\text{Enb } Z^0 = c^i x$$

$$A_x \leq b$$

$$x \geq 0$$

ve

$$\text{Enb } Z^1 = c^i x$$

(3.3)

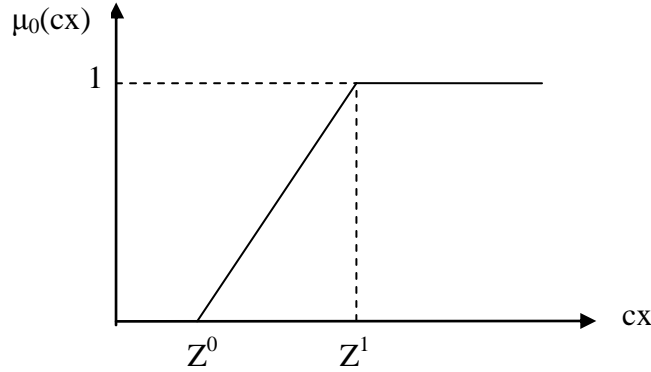
$$\begin{aligned} A_x &\leq b+p & (3.4) \\ x &\geq 0 \end{aligned}$$

Bu şekilde bulanık olan sağ taraf sabiti kullanılarak oluşacak en iyi çözümler belli bir üyelik derecesinde, en küçük amaç fonksiyonu değeri ile en büyük amaç fonksiyonu değeri arasında aranmaya çalışılacaktır. Amaç fonksiyonu için yazılacak üyelik fonksiyonu şu şekilde gösterilir (Lai & Hwang, 1992).

$$\mu(cx) = \begin{cases} 1 & cx > z^1 \\ 1 - \frac{z^1 - cx}{z^1 - z^0} & z^0 \leq cx \leq z^1 \\ 0 & cx < z^0 \end{cases} \quad (3.5)$$

Üyelik fonksiyonu için yazılan amaç fonksiyonu Şekil 3'te gösterilmiştir.

**Şekil 3. Amaç Fonksiyonu İçin Üyelik Fonksiyonu**



Artık modelde sadece sağ taraf sabitleri değil aynı zamanda amaç fonksiyonunun da bulanıklığı söz konusu olduğundan, en iyi değer en yüksek üyelik dereceli elemanın bulunması problemine dönüşür. Sağ taraf sabitinin üyelik fonksiyonu ise eşitlik (3.6)'da gösterildiği gibidir. Bu durumda max(min) işlemcisi devreye girer.

$$\mu_D(x^M) = \max_{x \in U} \mu_D^*(x) = \max_{x \in U} \left\{ \min \left[ \mu_{G_i}^-(x), \mu_{G_j}^-(x) \right] \right\} \quad (3.6)$$

Bu fonksiyonda  $\mu_D$  karar uzayı D'nin üyelik fonksiyonudur. Eğer üyelik fonksiyonu  $\lambda = \mu_D$  olarak alınırsa bulanık karar tanımı aşağıdaki gibi düzenlenir.



Enb  $\lambda$

$$cx \geq b_0 - (1 - \lambda)p_0 \quad (3.7)$$

$$(Ax)_i \leq b_i + (1 - \lambda)p_i$$

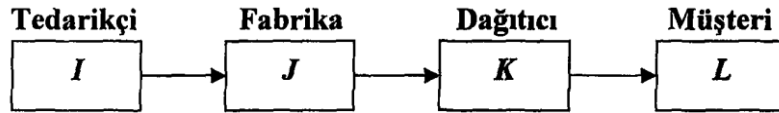
$$x \geq 0 \text{ ve } \lambda \in \{0,1\}$$

Bulanık (3.7) modeli klasik doğrusal programlama modelidir. Buradan  $\lambda$  üyelik derecesine göre tek bir eniyi değer elde edilir. Bulanık küme teorisinde, bulanık amaç ve bulanık kısıtlar için tanımlanan üyelik fonksiyonları kullanılarak bulanık model geliştirilir.

#### 4. Önerilen Model

Çalışmada çok kademeli tek ürünlü bir tedarik zinciri ağı için karma tamsayı bir doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Çok kademeli bir tedarik zincirinde tedarikçi, fabrika (üretim tesisi), dağıtım merkezi ve müşteri olmak üzere 3 kademedan meydana gelmektedir (Şekil 4). Syarif vd. (2002)'nin geliştirmiş olduğu tedarik zinciri modelinde amaç fonksiyonu, fabrika ve dağıtım merkezlerinin kurulmasından oluşan sabit maliyeti ve toplam taşıma maliyetini enküçükleme üzerine kurulmuştur. Model kısıtlı hammadde miktarına sahip tedarikçiler ve tesislerdeki üretim miktarlarını da sınırlandırmakta ve girdi miktarlarını azaltmaktadır. Bu açıdan model NP-Zor sınıfına girmektedir (Garey & Johnson, 1979). NP-Zor sınıfındaki problemler, en iyi sonucun makul zamanda elde edilemeyen problemlerdir. Bu problemlerde en iyi çözümü bulabilmek için gerekli zaman problemin boyutuna bağlı olarak üstel artış gösterir.

#### Şekil 4. Çok Kademeli Tedarik Zinciri



Şekil 4'de çok kademeli bir tedarik zinciri ağı görülmektedir. Çalışmada talep miktarının belirsiz olduğu varsayılarak yeniden model oluşturulmuştur. Belirsiz talep miktarları altında önerilen modelin amacını gerçekleştirebilmek için bulanık doğrusal programlama modeli kullanılmıştır.

Önerilen modeldeki parametrelerden sadece talep kısıtı bulanıklaştırılmıştır. Buna bağlı olarak amaç fonksiyonunun da bulanık olacağı varsayılmıştır. Werners (1987) bir matematiksel modelde sadece sağ taraf sabitlerinin bulanık olmasının yeterli olmadığını, sınırların bulanık olduğu bir ortamda amaç fonksiyonunun da bulanık olması gerektiğini ileri sürmüştür. Bu nedenle modelde yer alan amaç fonksiyonu da bulanıklaştırılmış ve çözüm sürecinde Werners yaklaşımı kullanılmıştır. Bulanık parametreler (~) işareti ile gösterilmiştir.

#### 4.1. Terim ve Notasyonlar

##### *Endeksler*

$i$  = tedarikçiler seti

$j$  = fabrikalar seti

$k$  = dağıtım merkezleri seti

$l$  = müşteriler seti

##### *Notasyonlar*

$a_i$  :  $i$ . tedarikçinin kapasitesi

$b_j$  :  $j$ . fabrikanın kapasitesi

$c_k$  :  $k$ . dağıtım merkezinin kapasitesi

$d_l$  :  $l$ . müşterinin talep miktarı

$S_{ij}$  :  $i$ . tedarikçiden  $j$ . fabrikaya taşıma maliyeti (TL/birim)

$T_{jk}$  :  $j$ . fabrikadan  $k$ . dağıtım merkezine taşıma maliyeti (TL/birim)

$V_{kl}$  :  $k$ . dağıtım merkezinden  $l$ . müşteriye taşıma maliyeti (TL/birim)

$f_j$  :  $j$ . fabrikanın sabit maliyeti (TL/yıl)

$g_k$  :  $k$ . dağıtım merkezinin sabit maliyeti (TL/yıl)

DC : açılacak dağıtım merkezi sayısı

P : açılacak fabrika sayısı

##### *Karar değişkenleri*

$X_{ij}$  :  $i$ . tedarikçiden  $j$ . fabrikaya taşınan ürün miktarı

$Y_{jk}$  :  $j$ . fabrikadan  $k$ . dağıtım merkezine taşınan ürün miktarı

$Z_{kl}$  :  $k$ . dağıtım merkezinden  $l$ . müşteriye taşınan ürün miktarı

$$w_j = \begin{cases} 1 & \text{eğer } j. \text{ fabrikada üretim olursa} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

$$m_k = \begin{cases} 1 & \text{eğer } k. \text{ dağıtım merkezi açılırsa} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

#### 4.2. Bulanık Model

$$\text{Enk } Z \cong \sum_i \sum_j \tilde{S}_{ij} X_{ij} + \sum_j \sum_k \tilde{T}_{jk} Y_{jk} + \sum_k \sum_l \tilde{V}_{kl} Z_{kl} + \sum_j \tilde{f}_j w_j + \sum_k \tilde{g}_k m_k$$

$$\sum_j X_{ij} \leq a_i \quad \forall i \quad (4.1)$$

$$\sum_k Y_{jk} \leq b_j w_j \quad \forall j \quad (4.2)$$

$$\sum_j w_j \leq P \quad (4.3)$$

$$\sum_l Z_{kl} \leq c_k m_k \quad \forall k \quad (4.4)$$

$$\sum_k m_k \leq DC \quad (4.5)$$

$$\sum_i X_{ij} = \sum_k Y_{jk} \quad \forall j \quad (4.6)$$

$$\sum_j Y_{jk} = \sum_l Z_{kl} \quad \forall k \quad (4.7)$$

$$\sum_k Z_{kl} \cong \tilde{d}_l \quad \forall l \quad (4.8)$$

$$w_j, z_k \in \{0,1\} \quad (4.9)$$

$$X_{ij}, Y_{jk}, Z_{kl} \geq 0 \quad (4.10)$$

Amaç fonksiyonu, tedarikçilerden fabrikalara taşıma maliyetini, fabrikalardan dağıtım merkezlerine taşıma maliyetini, dağıtım merkezlerinden müşterilere taşıma maliyetini, fabrika ve dağıtım merkezi açma ve işletim maliyetini en küçüklemektedir. Bu maliyetler belirsiz olduğu düşünülmüş ve bulanık sayılar ile modellenmiştir. Kısıt (4.1) tedarikçi kapasitesinin aşılmaması gerektiğini gösterir. Kısıt (4.2) fabrika kapasitelerinin aşılmamasını garanti eder. Kısıt (4.3) açılacak maksimum sayıda fabrika sayısını göstermektedir. Kısıt (4.4) her bir dağıtım merkezinin kapasitesinin aşılmamasını garanti eder. Kısıt (4.5) açılacak maksimum sayıda dağıtım merkezi sayısı göstermektedir. Kısıt (4.6) tedarikçilerden fabrikalara gönderilen hammadde miktarı ile fabrikalardan dağıtım merkezlerine gönderilen ürün miktarının eşit olması gerektiğini gösterir. Kısıt (4.7) müşterilerin dağıtım merkezlerinden talep ettikleri miktar ile açık olan fabrikalardan dağıtım merkezlerine gönderilen ürün miktarının eşit olduğunu ifade eder. Kısıt (4.8) ile her bir müşterinin talebi depolardan karşılanması

sağlanır. Talep verilerin belirsiz olduğu varsayılarak sağ tarafa sabiti bulanıklaştırılmıştır. Kısıt (4.9) ve (4.10) değişkenlerin tiplerini göstermektedir.

### 4.3. Talebin Belirsiz Olduğu Durum İçin Model Çözümü

Gerçek hayat problemlerinde zaman, maliyet, müşteri talepleri temelli kapsama kriterlerini tahmin etmek kolay değildir. Bu sebepten dolayı geliştirilen matematiksel modelde yer alan talep kısıtının belirsiz olduğu düşünülüp bulanıklaştırılarak tekrar çözüm aranacaktır. Yeni modelin çözümü için Werners Yaklaşımı kullanılmıştır. Werners yaklaşımı toplam maliyet fonksiyonu ve talep kısıtını bütünleştirerek modelin çözümüne imkân sağlamıştır. Bulanık doğrusal programlama yaklaşımına göre bulanık kısıt  $\lambda$  değeri ile birleştirilmiş ve  $\lambda$ 'yı enbüyükleyecek şekilde yeni bir amaç fonksiyonu oluşturulmuştur.

Çalışmada kullanılan taşıma maliyetleri, müşteri talepleri, üretim tesisi ve depo açma maliyetlerine ait veriler Paksoy'un (2004) "Tedarik Zinciri Yönetiminde Dağıtım Ağlarının Tasarımı ve optimizasyonu: Bir Örnek Olay ve Genetik Algoritmaya Dayalı Deneysel Bir Çalışma" isimli çalışmasından alınmıştır. Çalışmada, farklı karar ortamlarında bulanık doğrusal programlama modelinin ne kadar hassasiyetle çalıştığını görebilmek için üç farklı test problemi geliştirilmiştir. Birinci ve ikinci test probleminde talep verileri düzgün dağılırken, üçüncü test probleminde talep verileri normal dağılım özelliği göstermektedir.

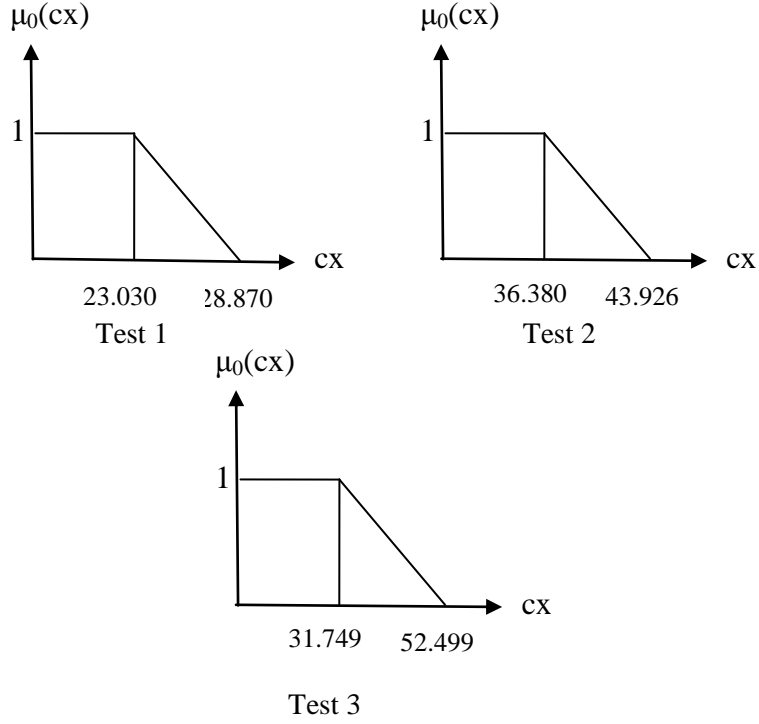
Problemin çözüm prosedüründe açılacak tesis ve depo setlerinin sayısı, bunların sonucunda oluşacak maliyetler ve model bulanıklaştırılarak yapılan deneysel deneysel karşılaştırmalar IntelCore2 Dual CPU 2.53 Ghz özellikli bilgisayarda GAMS 23.5 programlama dilinde CPLEX 12.2 modülü kullanılarak elde edilmiştir. Test problemlerinin boyutları Tablo 2'de gösterildiği gibidir.

**Tablo 2. Test Problemlerinin Boyutları**

Test problemi	Tedarikçi sayısı	Fabrika sayısı	Dağıtım merkezi sayısı	Müşteri sayısı
1	3	5	5	4
2	5	7	7	10
3	10	10	10	21

Şekil 5'te he bir durum için amaç fonksiyonlarının üyelik fonksiyonu grafikleri yer almaktadır.

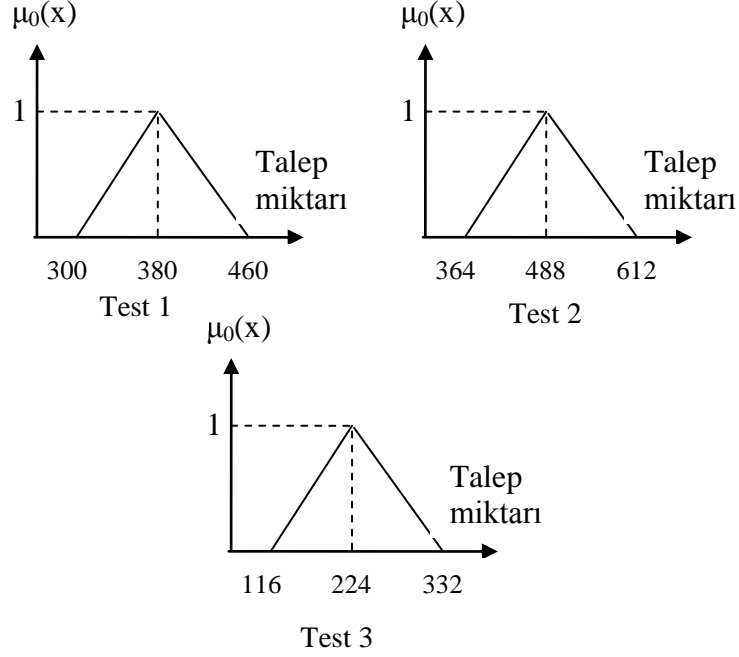
### Şekil 5. Amaç Fonksiyonları İçin Üyelik Fonksiyonları



Şekil 5’de toplam maliyetin üç farklı test probleminde, üst sınır değerinden daha az olması istenmektedir. Belirlenen alt sınırdan veya bu sınırın altında olduğunda üyelik fonksiyonu değeri 1 olacaktır.

Modelde müşteri talep verilerinin bulanık olduğu düşünülmüştür. Bu durumda her bir test problemi için bulanık talep kısıtının üyelik fonksiyonu gösterimi Şekil 6’da gösterilmiştir.

Şekil 6. Talep Kısıtının Üçgenel Üyelik Fonksiyonu



Şekil 6’da talep verilerinin, birinci test problemi için olası değeri 380 br, en az değeri 300 br, en fazla değeri ise 460 br’dir. İkinci test problemi için olası değeri 488 br, en az değeri 364 br, en fazla değeri ise 612 br’dir. Üçüncü test problemi için olası değeri 224 br, en az değeri 116 br, en fazla değeri ise 332 br’dir.

Talep miktarının belirsiz olduğu tedarik zinciri tasarımı modelinde Werners Yaklaşımı uygulanmıştır. Buna göre üyelik derecesi  $\lambda$  en büyük olacak şekilde modelin bulanık amaç fonksiyonu ve kısıtları düzenlenmiştir. Her bir test problemi için bulanıklaştırılan amaç fonksiyonları ve kısıtlar ayrı ayrı çözdürülmüştür.

Enb  $\lambda$

$$\sum_i \sum_j \tilde{S}_{ij} X_{ij} + \sum_j \sum_k \tilde{T}_{jk} Y_{jk} + \sum_k \sum_l \tilde{V}_{kl} Z_{kl} + \sum_j \tilde{f}_j w_j + \sum_k \tilde{g}_k m_k \lesssim 23030 + ((28870 - 23020) * (1 - \lambda)) \quad (4.11)$$

$$\sum_k Z_{kl} \lesssim 460 - 80 * \lambda \quad (4.12)$$

$$\sum_k Z_{kl} \lesssim 300 + 80 * \lambda \quad (4.13)$$

Bulanık doğrusal programlama yaklaşımına göre amaç fonksiyonu tüm bulanık amaçlar ve kısıtlar için tatmin düzeyini enbüyüklemeye çalışmıştır. Bütün maliyetlere ilişkin amaç fonksiyonları modele kısıt olarak ilave edilmiştir. Kısıt (4.11) birinci test problemi için toplam maliyeti enküçüklemeye yöneliktir. Kısıt (4.12) ve (4.13)'de talebi bulanıklaştırmış ve bunun için belli bir aralık tanımlamıştır.

Enb  $\lambda$

$$\sum_i \sum_j \tilde{S}_{ij} X_{ij} + \sum_j \sum_k \tilde{T}_{jk} Y_{jk} + \sum_k \sum_l \tilde{V}_{kl} Z_{kl} + \sum_j \tilde{f}_j w_j + \sum_k \tilde{g}_k m_k \lesssim 36380 + (7546 * (1 - \lambda)) \quad (4.14)$$

$$\sum_k Z_{kl} \lesssim 612 - 124 * \lambda \quad (4.15)$$

$$\sum_k Z_{kl} \gtrsim 364 + 124 * \lambda \quad (4.16)$$

Kısıt (4.14) ikinci test problemi için toplam maliyeti enküçüklemeye yöneliktir. Kısıt (4.15) ve (4.16)'da talebi bulanıklaştırmış ve bunun için belli bir aralık tanımlamıştır.

Enb  $\lambda$

$$\sum_i \sum_j \tilde{S}_{ij} X_{ij} + \sum_j \sum_k \tilde{T}_{jk} Y_{jk} + \sum_k \sum_l \tilde{V}_{kl} Z_{kl} + \sum_j \tilde{f}_j w_j + \sum_k \tilde{g}_k m_k \lesssim 31749 + (20750 * (1 - \lambda)) \quad (4.17)$$

$$\sum_k Z_{kl} \lesssim 332 - 108 * \lambda \quad (4.18)$$

$$\sum_k Z_{kl} \gtrsim 116 + 108 * \lambda \quad (4.19)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (4.20)$$

Kısıt (4.17) üçüncü test problemi için toplam maliyeti enküçüklemeye yöneliktir. Kısıt (4.18) ve (4.19)'da talebi bulanıklaştırmış ve bunun için belli bir aralık tanımlamıştır. Kısıt (4.20) üyelik derecesinin 0 ile 1 arasında olduğunu göstermektedir. Kısıt ve amaç fonksiyonu bulanıklaştırılmadan önce asıl modelde yer alan (4.1) – (4.7) kısıtları değiştirilmeden bulanık modele eklenmiştir. Yeni modeller CPLEX 12.2 modülü ile çözdürülmüş ve sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.

**Tablo 3. Doğrusal Programlama ve Bulanık Doğrusal Programlama Arasındaki Performans Sonuçları**

Test problemi	Tedarikçi sayısı	Fabrika sayısı	Dağıtım merkezi sayısı	Müşteri sayısı	DP			BDP			
					En İyi Amaç Fonk. Değeri	Açılan Dağıtım Merkezi Sayısı	Açılan Fabrika Sayısı	Üyelik Derecesi ( $\lambda$ )	En İyi Amaç Fonk. Değeri	Açılan Dağıtım Merkezi Sayısı	Açılan Fabrika Sayısı
1	3	5	5	4	28870	3	3	0.55	25630	3	3
2	5	7	7	10	43926	5	5	0.44	40637	5	5
3	10	10	10	21	52499	5	5	0.43	43556	4	4

Tedarik zinciri tasarımı modelinde talep bilgileri bulanıklaştırılarak Tablo 3'te ki sonuçlar elde edilmiştir. Her bir test problemi, öncelikli olarak doğrusal programlama mantığı ile çözdürülmüş ardından amaç fonksiyonunda ve kısıtlarda bulanıklaştırmaya gidilerek bulanık doğrusal programlama yöntemi ile tekrar çözdürülmüştür. Çıkan sonuçlara göre birinci test problemi için % 55, ikinci test problemi için % 44 ve üçüncü test problemi için % 43 tatmin derecesinde en iyi maliyet değerleri elde edilmiştir.

Birinci ve ikinci test problemlerinde daha az maliyet ile fakat daha düşük tatmin derecesinde aynı sayıda hizmet noktası açıldığı görülmüştür. Üçüncü test probleminde ise daha az fabrika ve dağıtım merkezinin açıldığı görülmüştür. Bu durum bize, daha az maliyetle fakat daha az güvenilirlik ile ürün dağıtımının olabileceğini göstermektedir. Sonuçta, çıkan rakamlar karar vericiler için güvenilir seviyesinde ise talep bilgilerinin bulanık olduğu bu tip ortamlarda bulanık doğrusal programlama modeli uygulanabilir.

## 5. Sonuç

Dağıtım merkezi belirleme kararı bir firmanın veya işletmenin gelecekteki başarısı için kritik derecede önemli bir karardır. Dağıtım merkezleri karmaşık tedarik zincirinde tedarikçiler, imalatçılar ve müşteriler arasında önemli bir bağlantı kurar ve onlar arasında ürünlerin ve bilginin düzgün akışını sağlamaya yardımcı olur. Küresel rekabetin artması belirsiz ve bulanık bilginin üstesinden gelebilmek için etkin ve verimli karar verme tekniklerinin gelişmesine neden olmaktadır.

Tedarik zinciri yönetim problemlerinde önemle üzerinde durulması gereken konulardan biri belirsizliktir. Tedarik zincirinin her kademesinde (stratejik, taktiksel ve operasyonel) belirsizlik kavramı karşımıza çıkmaktadır. Çalışma, tedarik zinciri ağı tasarımında üç farklı test problemi için bulanık doğrusal programlamanın etkinliğini



göstermiştir. Bu test problemleri ile ve talebin belirsiz olduğu durumlarda, bir yönetici veya karar verici bulanık modelleme sayesinde hangi güvenilirlik derecesinde neye katlanması gerektiğini daha net görebilecektir.

Çalışmanın dezavantajlarından birisi tek ürün ile çalışmak ve diğeri fabrikalardaki üretim sürecinde oluşan maliyeti hesaba katmamaktır. Çalışma talep verilerinin belirsiz ve değişken olduğu durumlar için referans niteliğinde olabilir. Özellikle tedarik zinciri yönetiminde kamçı etkisini ortadan kaldırmak için net talep bilgilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma, talep bilgilerine ulaşamayan yöneticilerin keskin ve geri dönüşü olmayan kararlar vermemesi için küresel boyutta başka sektörler ve ürünler üzerinde de uygulanabilir niteliktedir.

### Kaynakça

- Buckley, J. J. (1988). Possibilistic linear programming with triangular fuzzy numbers. *Fuzzy Sets and Systems*, 26, 135–138.
- Dubois, D., Fargier, H., & Galvagonon, V. (2003). On latest starting times and oats in activity networks with ill-known durations. *European Journal of Operational Research*, 147, 266–280.
- Garey, M. R., & Johnson, D. S. (1979). *Computers intractability: A guide to the theory of NP-completeness*. San Francisco: Freeman.
- Gupta, A., & Maranas, C. D. (2003). Managing demand uncertainty in supply chain planning. *Computers & Chemical Engineering*, 27, 1219–1227.
- Hsu, H. M., & Wang, W. P. (2001). Possibilistic programming in production planning of assemble-to-order environments. *Fuzzy Sets and Systems*, 119, 59–70.
- Kabak Ö., & Ülengin F. (2011). Possibilistic linear-programming approach for supply chain networking decisions. *European Journal of Operational Research*, 209, 253–264.
- Lai, Y. J., & Hwang, C. L. (1992). *Fuzzy mathematical programming: Methods and applications*, Springer, Heidelberg.
- Liang, T. F., & Cheng, H. W. (2009). Application of fuzzy sets to manufacturing distributing planning decisions with multi product and multi time period in supply chains. *Expert Systems with Applications*, 36, 3367-3377.
- Mula, J., David, P., & Polen, R. (2010). The effectiveness of a fuzzy mathematical programming approach for supply chain production planning with fuzzy demand. *International Journal of Production Economics*, 128, 136-143.
- Özdemir, A. İ., & Seçme, G. (2009). Tedarik zinciri ağı tasarımında bulanık ulaştırma modeli yaklaşımı. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve idari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 32, 219- 237.
- Paksoy, T. (2004). Tedarik zinciri yönetiminde dağıtım ağlarının tasarımı ve optimizasyonu: Bir örnek olay ve genetik algoritmaya dayalı deneysel bir çalışma. *Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Doktora Tezi*.

- Paksoy, T. (2011). Bulanık doğrusal programlama: Bulanık küme teorisi. (Ders notları).
- Peidro, D., Mula, J., Poler, R., & Verdegay, J. (2009). Fuzzy optimization for supply chain planning under supply, demand and process uncertainties. *Fuzzy Sets and Systems*, 160, 2640–2657.
- Peidro, D., Mula, J. & Jimenez, M. (2010). A fuzzy linear programming based approach for tactical supply chain planning in an uncertainty environment. *European Journal of Operational Research*, 205, 65-80.
- Werners, B. (1987). An interactive fuzzy programming system. *Fuzzy Sets and Systems*, 23, 131-147.
- Zadeh, L. A. (1978). Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets and Systems*, 1, 3–28.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8, 338–353.