

# Tedarik Zinciri Planlamaya Olabilirsel Doğrusal Programlama Yaklaşımı

Özgür KABAK\*, Füsun ÜLENGİN

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

## Özet

Son yıllarda, küreselleşmeyle artan rekabet ile birlikte, Tedarik Zinciri Planlamanın (TZP) önemi artmaktadır. Bu nedenle; TZP’de stratejik kararlarının verilmesi çok büyük önem taşımaktadır. Gerçek problemlerin hepsinde görüldüğü gibi, tedarik zincirinin ilgili süreçlerinde de belirsizlikler ile karşılaşılmaktadır. Bundan ötürü; TZP modellerinde belirsizliklerin göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Literatürde TZP’deki belirsizlikleri modelleyen çalışmalarda uzun dönemli stratejik kararların kesin olarak verildiği ve bunların orta ve kısa vadede revize edilmeleri gerektiği tespit edilmiştir. Bu çalışmada, uzun dönemli kaynak atama, ürün tedariki ve üretim kararlarının verilebilmesi için bir Olabilirsel Doğrusal Programlama (ODP) modeli geliştirilmiştir. ODP modelini kullanmanın temel amacı, tedarikçi ilişkilerinde ve üretim planlamada esneklik sağlamak üzere bulanık kararların verilmesini olanaklı kılmaktır. Bu yüzden önerilen ODP’de, sadece talep ve verim oranları gibi kritik TZP girdileri değil aynı zamanda satış miktarı, üretim miktarı ve tedarik miktarı gibi karar değişkenleri de bulanık kabul edilmiştir. Önerilen ODP’nin amacı firmanın tedarik zinciri faaliyetleri sonucunda oluşan kârı en büyükmektedir. Çalışmada ODP’yi çözmek için DP modeline çevrilmesi önerilmiştir. Bu amaçla girdi parametreleri ve karar değişkenleri üçgen bulanık sayılar ile ifade edilmiştir. ODP’de önerilen amaç fonksiyonu ve kısıtlar, üçgen bulanık sayılar için geliştirilen toplama ve çarpma işlemleri ile büyüktür/küçüktür ilişkileri ile DP’ye çevrilmiştir. Çalışmada ayrıca önerilen modelin etkinliği hipotetik bir örnek üzerinde gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Tedarik Zinciri Planlama, Olabilirsel Doğrusal Programlama, Bulanık Modelleme.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Özgür KABAK. kabak@itu.edu.tr; Tel: (212) 293 13 00 dahili: 2042.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Programı’nda tamamlanmış olan “Olabilirsel Doğrusal Programlama ile tedarik zinciri ağ yapısının modellenmesi ve bir uygulama” adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 12.11.2008 tarihinde dergiye ulaştırılmış, 21.11.2008 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.11.2009 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Possibilistic linear programming approach for fuzzy Supply Chain Planning

### Extended abstract

The interest in Supply Chain Planning (SCP) has recently raised due to the fact that the opportunity of an integrated planning of the supply chain (SC) can increase the profitability, reduce production and outsourcing costs and enhance customer service levels, so that the enterprises can cope with increasing competitiveness introduced by the market globalization. A SC is an integrated system which synchronizes a series of inter-related business processes in order to convert raw materials into the specified finished products and distribute and promote these products to retailers or customers.

Supply chain planning problems are due to uncertainties like the other real life problems. Uncertainties that affect the SCs can be categorized in two groups: (i) environmental uncertainties, and (ii) system uncertainties. Environmental uncertainties include supply quantity, raw material costs, lead times, and demand product price while system uncertainties contain operation efficiency, resource usage efficiency, labor cost, production capacity, and stock level. Among these uncertainty types, demand has been the most important and extensively studied source of uncertainty. The emphasis on incorporating demand uncertainty into the planning decisions is appropriate given the fact that effectively meeting customer demand is what mainly drives most SCP initiatives. Furthermore, demand is the main source of uncertainties as the fluctuations of it affects the production system and suppliers gradually.

The main idea of the proposed model is to make uncertain and therefore flexible decisions to cope with the uncertainties revealed in strategic SCP. Demand affects system uncertainty in which some other types of uncertainty also exist. System uncertainty and supply uncertainty mutually affects each other. In this circumstances to make crisp decisions may cause irrelevant or irreversible long term decisions that will need huge revisions in medium or short term.

In this paper a Possibilistic Linear Programming (PLP) model is proposed to support strategic decisions of the enterprises concerning the production resources utilization and outsourcing. In order to

deal with the external and internal uncertainties fuzzy inputs and fuzzy outputs are considered.

The problem examined in the paper is described as; Given: (1) A supply chain that is the integration of the focal enterprise, its current suppliers and customers, as well as the potential suppliers and customers, and related products, semi-products and raw materials (in the rest of the paper "product" will be used for these three concepts), (2) Resources used to produce the products as well as their costs and capacity levels, (3) Outsourced products and other outsourcing opportunities, as well as their costs, (4) Production and outsourcing yield rates of product.

Using the inputs defined above, the model proposed helps the enterprise make decisions about the following strategic questions: (1) Which product should be produced internally? (2) Which resources should be utilized to the production of which product? (3) Which products should be outsourced, and how much? (4) Demands of which market should be satisfied?

The proposed PLP contains fuzziness in some of the constraint parameters and in all decision variables. The objective of the PLP model is to maximize the profit of enterprise's SC facilities. To solve the proposed PLP model it is suggested to be transformed into a linear programming model, which can be solved easily with the least mathematical effort. Therefore the inputs and the decision variables of the model are represented by triangular fuzzy numbers. Then the summation, multiplication operations as well as the greater than and less than relations that are defined for triangular fuzzy numbers are employed to transform the PLP to a linear program.

The proposed PLP model is then applied in a hypothetical example to evaluate the applicability and validity of the model and the solution methodology. As a result of the application it is realized that the uncertainty in the outputs depends on the uncertainty in the inputs. The uncertainty in the inputs affects both the uncertainty and the amount of profit. Under these circumstances the model aims to decrease the uncertainty on the decisions and increase the profit. Consequently model is proved to give satisfactory results.

**Keywords:** Supply Chain Planning, possibilistic linear programming, fuzzy sets.

## Giriş

Son yıllarda, Tedarik Zinciri Planlamaya (TZP) olan ilgi giderek artmaktadır. Bunun başlıca nedeni Tedarik Zincirinin (TZ) bütünleşik ve sistematik olarak planlanması ile firmaların kârlılıklarını arttırabilmeleri, üretim ve tedarik maliyetlerinin düşürebilmeleri ve müşteri hizmet düzeylerinin yükseltebilmeleridir. Bu sayede işletmeler küreselleşme sonucu artan rekabet ile baş edebilmektedirler (Gullien vd., 2005; Simchi-Levi vd., 2000; Koutsoukis, 2000). TZ, hammaddeleri belirlenmiş ürünlere dönüştürmek ve bunların müşteriye veya perakendeciye dağıtımını gerçekleştirmek için gerekli birbirleriyle ilişkili iş süreçlerini senkronize eden bütünleşik bir sistemdir (Simchi-Levi vd., 2000).

Bu çalışmada TZP içerisindeki üretim kaynaklarının ataması, dış kaynak kullanımı, üretim planlama gibi stratejik kararların verilmesinde kullanılmak üzere bir Olabilirsiz Doğrusal Programlama modeli (ODP) önerilmiştir. Modelde, TZ’de karşılaşılan belirsizlikler ile baş edebilmek için hem girdi değerleri hem de verilen kararlar bulanık sayılar ile ifade edilmiştir. Sonraki bölümde TZ’de karşılaşılan belirsizlikler ile ilgili bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde önerilen model ve bu modeli çözmek için geliştirilen yaklaşım irdelenmiştir. Dördüncü bölümde önerilen modellerin geçerliliğini göstermek için, tasarlanan bir hipotetik örnek üzerinde uygulama gerçekleştirilmiştir. Son olarak sonuçlar ve gelecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

## Tedarik Zincirindeki belirsizlikler

Gerçek hayattaki TZ’lerde teknik ve ticari birçok belirsizlik olduğundan bunların kesinmiş gibi kabul edilmesi çok gerçekçi değildir (Guillen vd., 2005). İncelenen birçok çalışmada TZ’deki belirsizlikleri modellemek üzere yöntemler geliştirilmiştir.

Belirsizlik bir işi yapmak için gerekli olan bilgi ile sahip olunan bilgi arasındaki fark olarak tanımlanabilir (Mula vd., 2006). Zimmermann (2000) ise çalışmasında uygulamaya yönelik olarak belirsizliği şu şekilde tanımlamıştır: “Belirli bir durum için bir kişi, bir sistemi, sistemin davranışını veya diğer özelliklerini kesin ve sa-

yısal olarak tanımlamaya, belirlemeye ve tahmin etmeye nitel ve nicel olarak uygun bilgiyi hazırlayamıyorsa belirsizlik var demektir.” Tanımdan anlaşılacağı gibi genel olarak belirsizlik nesnel değil öznel bir olgudur. Belirsizliğin bilginin elde edilebilecek (elde edilmek istenen) miktarına ve kalitesine bağlı olduğu savunulmuştur. Yani bilginin bir yerlerde var olduğu ama sistemi modelleyenlerin onu bilmediği, bilmek istemediği veya bilmenin çok maliyetli olduğunu düşündüğü böylece bilginin belirsiz olarak kabul edildiği düşünülebilir.

Bir üretim veya TZ sistemini etkileyen birçok belirsizlik türü mevcuttur. Bunlar çevresel ve sistem belirsizliği olmak üzere iki kategoriye ayrılabilir. Çevresel belirsizlikler incelenen sistemin dışından kaynaklanır. Taleplerdeki ve tedarik miktarlarında meydana gelebilecek belirsizlikler bu gruba girer. Sistem belirsizliği ise incelenen TZ’nin içsel yapısından kaynaklanan belirsizliklerdir. İşlem verimlilikleri, kaynak kullanım verimliliği, üretim sistemindeki hatalar sistem belirsizliği olarak adlandırılabilir (Mula vd., 2006).

Literatürde TZ’deki belirsizlikler ile ilgili üzerinde en fazla durulan konu talep belirsizliğidir. Talep, üretim planlama ve TZ yönetiminde karşılaşılan belirsizliklerin ana kaynağıdır. İmalat sektöründe kapasitelerin planlanması, hammadde siparişlerin verilmesi ve oluşan talebe en kısa zamanda cevap verilebilmesi için taleplerin önceden tahmin edilmesi gerekir. Talep tahminleri geleceğe yönelik öngörüler içerdiği için her zaman belirsizlikleri içerisinde barındırır. Ayrıca taleplerin iyi planlanması firmaların kârlılığını doğrudan etkileyen faktörlerden bir tanesidir. Tahmin ile gerçekleşen miktarlar arasında farklılık olduğunda müşteri ihtiyaçları karşılanamaz veya elde çok miktarda stok tutulmak zorunda kalınır. Her iki durumda da firmalar olası kârlarından feragat ederler (Guillen vd., 2005; Gupta ve Maranas 2003; Karabuk ve Wu, 2003).

Ürünlerin tedarik edilebilecekleri miktarlar belirsizlik içerebilmektedir. Petrovic (2001) dışarıdan tedarik edilen miktarların planlanan gibi olmayacağını varsayarak bir belirsizliğin söz konusu olabileceğini savunmuştur ve bu belir-

sizliği bulanık kümeler ile modellemiştir. Benzer şekilde Liu ve Sahinidis (1997) kimyasal süreç planlamada tedarik miktarlarında oluşabilecek belirsizlikleri bulanık mantık ile modellemiştir. Güler ve Bilgic (2008) ile Gurnani ve Gerchak (2007) tedarik için verilen sipariş ile teslim edilen miktar arasındaki farkı rastsal olarak varsaydıkları tedarik verimliliği ile tanımlamışlardır.

Her ürünü üretmek için gerekli ara ürün ve/veya hammaddelerin tespit edilmesinde belirsizlikler söz konusudur. Ürün ağacı matrisinin (BOM) genel olarak sabit olduğu düşünülebilir fakat bazen üretim tipine göre bir ürünü üretmek için gerekli bileşenler değişebilir. Örneğin sacın kesilerek şekil verilmesiyle oluşturulan bir üründe fire verilen sac miktarı değişkenlik gösterebilir. BOM'daki değişkenliğin modellenebilmesi için "verimlilik faktörü" kavramı kullanılır (Mula vd., 2006). Malzeme planlamada, BOM'un verimlilik oranıyla düzeltilmiş hali kullanılır.

Tedarik zincirini gerçek hayata uygun olarak planlayabilmek için bahsedilen belirsizliklerin modellenmesi gerekir. Özellikle uzun vadeli stratejik planlamada belirsizlikler kesinlikle modele dâhil edilmelidir.

Mula ve diğerleri (2006), belirsizlik altında üretim planlama ile ilgili modelleri ortaya çıkaran kapsamlı bir çalışma ortaya koymuştur. Üretim planlama alanındaki konular ve kullanılan modellere göre bir sınıflandırma yaparak mevcut çalışmaları özetlemiştir. Belirsizlikleri modellemek için dört çeşit model kullanılmıştır: Kavramsal modeller, analitik modeller, yapay zeka modelleri, simülasyon modelleri. Kavramsal modellerden kastedilen klasik modellere belirsizliği içeren bazı kavramların eklenmesi ile oluşturulan yöntemlerdir. Örneğin klasik malzeme ihtiyaçları planlamasında "fire oranları"nın ilave edilmesiyle kavramsal bir model oluşturulabilir. Analitik modeller içerisine matematik programlama ve stokastik modelleme girmektedir. Yapay zekâ modelleri ile bulanık modelleme, yapay sinir ağları ve genetik algoritma gibi teknikler kastedilmektedir.

Matematiksel programlama yaklaşımları özellikle de eniyileme modelleri stratejik planlamada yaygın olarak kullanılan araçlardır. Sahinidis (2004) literatürdeki belirsizlikleri modellemek için kullanılan eniyileme modellerini tarayarak üç sınıfa ayırmıştır: (i) stokastik programlama, (ii) bulanık matematik programlama, (iii) stokastik dinamik programlama. Makalede belirsizlikleri modellemek için kullanılan eniyileme modellerinin çok uç noktalı ve doğrusal olmayan yapılarından dolayı çözümlerinin zor olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmada, mevcut literatür dikkate alınarak gerçek hayat problemlerinde uygulanmak üzere hem belirsizlikleri modelleyebilen hem de çözümü zor olmayan bir ODP modeli önerilmiştir. Sonraki bölümde önerin modelin ayrıntıları sunulmuştur.

### Önerilen modeller

Çalışmada Lakhall ve diğerleri (2001)'nden esinlenilerek, talep planlama, dış kaynak kullanımı, tedarikçi seçimi ve ağ yapılandırma gibi stratejik TZP konularını içeren bir problem incelenmiştir. Bu bağlamda, merkezi firma bakış açısıyla incelenen bir organizasyonda aşağıdaki girdileri kullanarak;

- Merkezi firma ile mevcut ve potansiyel tedarikçi ve müşterilerinden oluşan TZ ve ilgili ürünler, ara ürünler ve hammaddeler (makalenin devamında hepsi için "ürün" tabiri kullanılmıştır),
- Ürünleri üretmek için kullanılan kaynaklar, bunlar ile ilgili maliyetler ve kapasiteler
- Dışarıdan tedarik edilen ürünler ve diğer tedarik seçenekleri
- Ürünlerin tedarik ve üretim verimlilik oranları

Aşağıdaki sorulara cevap aranmıştır:

- Hangi ürünler işletme içerisinde üretilmelidir?
- Hangi ürünlerin ne kadarı dışarıdan tedarik edilmelidir?
- Hangi pazarların taleplerinin ne kadarı karşılanmalıdır?
- Hangi kaynak hangi ürünün üretimine ayrılmalıdır?

Belirsizlikler içeren TZ'de bu sorulara cevap verebilmek için bulanık mantığa dayalı bir ODP modeli geliştirilmiştir.

ODP modelinde talep, tedarik ve sistem içi belirsizlikler bulanık mantık ile ifade edilmiştir. Modelin literatürdeki mevcut yöntemlerden farklı olan en büyük özelliği kararların belirsiz olarak verilmesidir. Bununla sistemin içinden ve dışından kaynaklanan belirsizliklerin daha iyi yönetilmesi amaçlanmaktadır. Uzun dönemli stratejik kararların kesin değil belirsiz olarak yaklaşık değer ile verilmesi sonucunda TZ'nde karşılaşılan çevresel ve sistem belirsizliğini dengelemek, çevresel belirsizliğe sistem içerisinde tasarlanacak belirsizlikte çözüm bulmak amaçlanmıştır.

Önerilen modelin temel yaklaşımı şu şekilde özetlenebilir: firma kararlarını alma noktasında dışsal belirsizliklerle karşı karşıyadır. Özellikle uzun vadede talepler kesin olarak belirlenemez, ayrıca tedarik edilecek hammaddeler ile ilgili belirsizlikler de söz konusudur. Talep ve tedarikte oluşan belirsizlikler sistemin kendi içinden kaynaklanan diğer faktörlerdeki belirsizlik ile birleşince sistem içerisinde belirsizliklerden kaçınılamaz. Bu noktada sistemdeki belirsizliklerin de tedarik belirsizliğine etkileri mevcuttur. Sistemde birçok faktöre bağlı belirsizlikleri modelleyebilmek için verilen kararlar da belirsiz olabilir. Böylece ortaya belirsiz TZ planlaması çıkmaktadır.

Dikkat edilmesi gereken en önemli nokta bu modelin uzun vadeli stratejik kararlar için kullanılabilir olmasıdır. Zaman geçtikçe belirsiz olan hususlar daha iyi öngörülebilir hale gelir ve kararların da kesinleştirilmesi gerekecektir. Karar hiyerarşisine göre düşünüldüğünde stratejik kararların belirsiz olarak verilmesi bu kararlardan etkilenen taktik ve operasyonel kararlara daha fazla hareket alanı bırakacaktır.

### Önerilen ODP modeli

Önerilen modelde talepler ile üretim ve tedarik verimlilik oranları belirsiz olarak alınmış ve bulanık sayılar ile ifade edilmiştir. Bununla birlikte karar değişkenlerinin de bulanık olarak elde

edilmesi öngörülmüştür. Sonuçta önerilen ODP modeli aşağıdaki gibidir:

#### İndisler:

$p, u$  : Ürünler ;  $p, u = 1, \dots, P$   
 $r$  : Kaynaklar;  $r = 1, \dots, R$

#### Parametreler:

$P$  : Toplam ürün sayısı  
 $R$  : Toplam kaynak sayısı  
 $PD$  : Dışarıdan alınması zorunlu ürünler,  $PD \subset \{1, \dots, P\}$   
 $PU$  : Üretilmesi zorunlu ürünler,  $PU \subset \{1, \dots, P\}$   
 $BOM_{pu}$  : Ürün ağacı matrisi ( $u$  ürününü üretmek için gerekli  $p$  ürünü miktarı)  
 $KK_{pr}$  : Birim kaynak kullanımı ( $p$  ürününü üretmek için gerekli  $r$  kaynağı miktarı)  
 $KC_r$  :  $r$  kaynağının kapasitesi  
 $KM_r$  :  $r$  kaynağının birim maliyeti  
 $DM_p$  :  $p$  ürününün dışarıdan alım maliyeti  
 $DK_p$  :  $p$  ürününün dışarıdan alım kapasitesi  
 $\tilde{T}_p$  :  $p$  ürününün talebi  
 $F_p$  :  $p$  ürününün fiyatı  
 $\tilde{V}U_p$  :  $p$  ürünü için üretim verim oranı  
 $\tilde{V}D_p$  :  $p$  ürünü için dışarıdan alım verim oranı

#### Karar değişkenleri:

$\tilde{U}_p$  :  $p$  ürününün üretim miktarı  
 $\tilde{D}_p$  :  $p$  ürününün dışarıdan alım miktarı  
 $\tilde{S}_p$  :  $p$  ürününün satış miktarı

#### ODP Formülasyonu

$$\text{Enb } Z \cong \sum_p (\tilde{S}_p * F_p)$$

$$(-) \left( \sum_r \left( KM_r * \sum_p (\tilde{U}_p * KK_{pr}) \right) \oplus \sum_p (DM_p \otimes \tilde{D}_p) \right) \quad (1)$$

$$\tilde{V}U_p \otimes \tilde{U}_p \oplus \tilde{V}D_p \otimes \tilde{D}_p \cong \sum_u (BOM_{pu} \otimes \tilde{U}_u) \oplus \tilde{S}_p, \forall p \quad (2)$$

$$\sum_p (\tilde{U}_p \otimes KK_{pr}) \cong KC_r, \forall r \quad (3)$$

$$\tilde{S}_p \cong \tilde{T}_p, \forall p \quad (4)$$

$$\tilde{U}_p \leq 0, p \in PD \quad (5)$$

$$\tilde{D}_p \leq 0, p \in PU \quad (6)$$

$$\tilde{D}_p \lesseqgtr DK_p, \forall p \quad (7)$$

$$\tilde{U}_p, \tilde{D}_p, \tilde{S}_p \geq 0, \forall p \quad (8)$$

Amaç fonksiyonu olarak verilen Denklem 1’de kaynak kullanım maliyetleri ve ürün dışarıdan alım maliyetleri toplam gelirden çıkarılarak net kâr hesaplanmaktadır. Denklem 2 ile verimlilik oranları da dikkate alınarak; her bir ürün için toplam üretilen ve dışarıdan tedarik edilen ürün miktarının, diğer ürünler için kullanılan ve satılan ürün miktarından büyük olmalısı sağlanmıştır. Toplam kaynak kullanımının kapasiteden küçük olması Denklem 3’te ifade edilmiştir. Model kârı en büyükmek üzere kurulduğu için satışlar Denklem 4’te taleplerle sınırlandırılmıştır. Denklem 5 ile dışarıdan alınması zorunlu ürünlerin üretilmemesi, Denklem 6 ile de üretilmesi zorunlu ürünlerin dışarıdan alınmaması garanti edilmiştir. Son olarak Denklem 8’de işaretleme kısıtları verilmiştir.

Parametre veya karar değişkenleri üzerindeki (~) sembolü ilgili değerın bulanık olduğunu göstermektedir. Ayrıca  $\oplus, \otimes, \equiv, \lesseqgtr, \lesseqgtr$  sembolleri ile sırasıyla bulanık toplama, bulanık çarpma, bulanık büyüktür ve bulanık küçüktür işlemleri ifade edilmiştir.

### Önerilen ODP’nin çözüm yordamı

Literatürde ODP modellerini çözmek için farklı yaklaşımlar mevcuttur. Bunlardan Buckley ve Feuring (2000), bulanık esnek programlamayı çözmek üzere evrimsel bir algoritma geliştirmiştir. Bu algoritma, tüm katsayı ve karar değişkenleri bulanık olan çok amaçlı bulanık doğrusal programlamada, tüm basılıgın kümeyi taramaya dayanmaktadır. Tanaka ve diğerleri (2000) aralık, üçgen veya üstel fonksiyonlarla tanımlanmış olabilirsel dağılımları doğrusal kısıtlara dönüştürmek üzere bir yaklaşım önermiştir. Maleki ve diğerleri (2000) karar değişkenlerini bulanık olarak tanımlanan mo-

delin dualini alarak, karar değişkenleri kesin olan ve bulanık katsayılar içeren modeline dönüştürmüş ve çözümü bu yolla elde etmeyi önermiştir. Bu yöntemlerden ilkinin çözüm yordamı oldukça karmaşık ve çözümü zordur. İkincisinde önceden tanımlı olabilirlik seviyelerinin tanımlanması gerekmektedir. Üçüncüsü ise karar değişkenleri ile birlikte tüm katsayıların bulanık olduğu duruma çözüm üretememiştir.

Çözüm yöntemine göre yapılan değerlendirme sonucunda önerilen ODP modelinin bir Doğrusal Programlama (DP) modeline dönüştürülmesinin en iyi yaklaşım olduğuna karar verilmiştir. Burada çok karmaşık olmayan bir yöntem ile problemin çözülebilir ve global en iyi çözümün elde edilebilir olması amaçlanmıştır. Böylece yöntem, gerçek hayat uygulamalarında kullanılabilir olacaktır.

Önerilen ODP modelinde bulanık katsayılar Üçgen Bulanık Sayı (ÜBS) ile ifade edilmiştir. Burada tüm parametrelerde bulanıklık söz konusu olabileceği için monoton artan üyelik fonksiyonları ve karmaşıklık arttıracığı ve çözümü zorlaştıracığı için yamuk bulanık sayılar, özel tanımlı bulanık sayılar, sağ sol bulanık sayılar tercih edilmemiştir. Ayrıca ÜBS’lerin bulanıklığı ifade etmede yeterli olacağı ve hesaplamaları kolaylaştıracığı düşünülmüştür.

Önerilen ODP’yi DP’ye çevirmek için ÜBS’ler için tanımlanmış işlemlerden yararlanılmıştır. Örnek bir ÜBS  $\tilde{A}(L, M, U)$ , Şekil 1’de verilmiştir. Burada L,  $\tilde{A}$ ’nın sol destek noktasını, M, orta noktasını ve U, sağ destek noktasını göstermektedir.

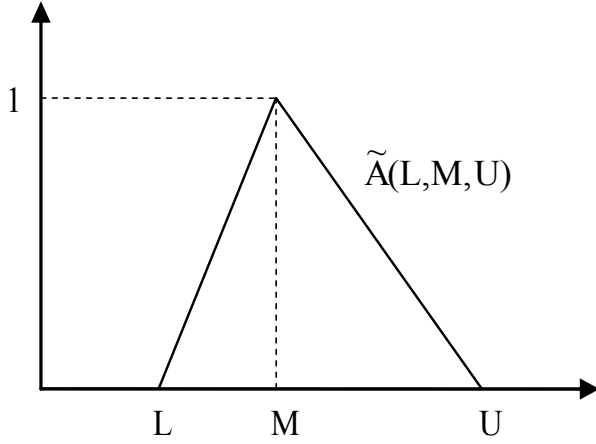
$\tilde{A}(L_1, M_1, U_1)$  ve  $\tilde{B}(L_2, M_2, U_2)$  gibi iki ÜBS için toplama, çarpma, büyüktür ve küçüktür işlemleri aşağıdaki gibi tanımlanabilir (Chen ve Hwang, 1992):

$$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = (L_1 + L_2, M_1 + M_2, U_1 + U_2) \quad (9)$$

$$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = (L_1 * L_2, M_1 * M_2, U_1 * U_2) \quad (10)$$

$$\tilde{A} \succeq \tilde{B} \Leftrightarrow L_1 \geq L_2, M_1 \geq M_2, U_1 \geq U_2 \quad (11)$$

$$\tilde{A} \preceq \tilde{B} \Leftrightarrow L_1 \leq L_2, M_1 \leq M_2, U_1 \leq U_2 \quad (12)$$



Şekil 1. Örnek bir üçgen bulanık sayı

Karar değişkenleri için anlamlı ÜBS'ler elde etmek için orta noktalarından sağ destek ve sol desteğe olan uzaklıkları eşit kabul edilmiştir (örneğin  $\tilde{A}(L, M, U)$  için  $M-L = U-M$ ). ÜBS olarak elde edilen amaç fonksiyonu için ana amaç, amaç fonksiyonu değerinin orta noktasını en büyükmek olarak belirlenmiştir. Daha sonra sol açıklığın (orta nokta ile sol destek arasındaki mesafe) en küçüklenmesi ve sağ açıklığın (orta nokta ile sağ destek arasındaki mesafe) en büyüklenmesi diğer amaçlar olarak tanımlanmıştır.

Sonuçta ODP modeli aşağıdaki DP modeline dönüştürülmüştür (ODP'de tanımlanan indis ve parametreler tekrar verilmemiştir)

İndisler:

$i$  : ÜBS'nin uç noktaları için indis;  $i = L, M, U$

Parametreler:

$T_{pi}$  :  $p$  ürününün talebinin  $i$ 'inci kritik noktası

$VU_{pi}$  :  $p$  ürününün üretim verimlilik oranının  $i$ 'inci kritik noktası

$VD_{pi}$  :  $p$  ürününün dıştan alım verimlilik oranının  $i$ 'inci kritik noktası

Karar değişkenleri:

$U_{pi}$  :  $p$  ürününün üretim miktarının  $i$ 'inci kritik noktası

$D_{pi}$  :  $p$  ürününün dıştan alım miktarının  $i$ 'inci kritik noktası

$S_{pi}$  :  $p$  ürününün satış miktarının  $i$ 'inci kritik noktası

DP formülasyonu

$$\begin{aligned} \text{Enb } Z = & M * \sum_p (S_{pM} * F_p) \\ & - M * \left( \sum_r \left( KM_r * \sum_p (U_{pM} * KK_{pr}) \right) + \sum_p (DM_p * D_{pM}) \right) \\ & + \sum_p (S_{pU} * F_p) \\ & - \left( \sum_r \left( KM_r * \sum_p (U_{pL} * KK_{pr}) \right) + \sum_p (DM_p * D_{pL}) \right) \\ & - \sum_p (S_{pL} * F_p) \\ & + \left( \sum_r \left( KM_r * \sum_p (U_{pU} * KK_{pr}) \right) + \sum_p (DM_p * D_{pU}) \right) \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} & VU_{pi} * U_{pi} + VD_{pi} * D_{pi} \\ & \geq \sum_u (BOM_{pu} * U_{ui}) + S_{pi}, \forall (p, i) \end{aligned} \quad (14)$$

$$\sum_p (U_{pU} * KK_{pr}) \leq KC_r, \forall r \quad (15)$$

$$S_{pi} \leq T_{pi}, \forall (p, i) \quad (16)$$

$$U_{pU} \leq 0, p \in PD \quad (17)$$

$$D_{pU} \leq 0, p \in PU \quad (18)$$

$$D_{pU} \leq DK_p, \forall p \quad (19)$$

$$U_{pL} \leq U_{pM} \leq U_{pU}, \forall p \quad (20)$$

$$D_{pL} \leq D_{pM} \leq D_{pU}, \forall p \quad (21)$$

$$S_{pL} \leq S_{pM} \leq S_{pU}, \forall p \quad (22)$$

$$U_{pL} + U_{pU} = 2 * U_{pM}, \forall p \quad (23)$$

$$D_{pL} + D_{pU} = 2 * D_{pM}, \forall p \quad (24)$$

$$S_{pL} + S_{pU} = 2 * S_{pM}, \forall p \quad (25)$$

$$U_{pi}, D_{pi}, S_{pi} \geq 0, \forall (p,i) \quad (26)$$

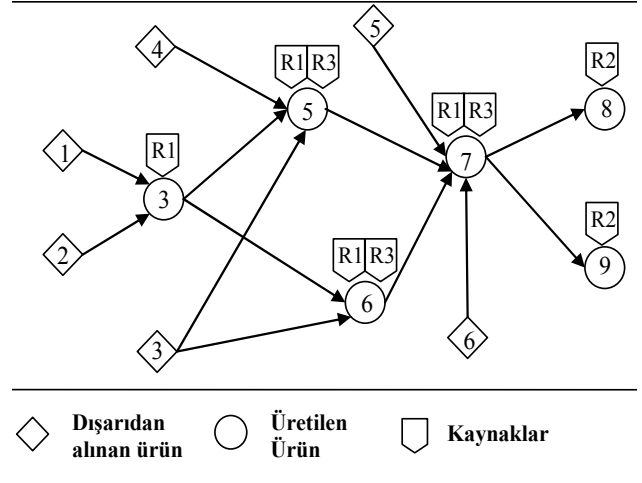
Burada önerilen DP'nin kârı en büyükmek olarak belirlenen amaç fonksiyonu gelir ve maliyet parçalarından oluşmaktadır. Sonuçta ortaya çıkan gelir ve maliyetler ÜBS olduğu için amaç üç alt bölümde formüle edilmiştir: (1) gelir ve maliyet değerlerinin orta noktalarının en büyükleme (Denklem 13 ilk kısım), (2) gelirin sağ destek noktası ile maliyetin sol destek noktası arasındaki farkın en büyükleme (Denklem 13 ikinci kısım), (3) gelirin sol destek noktası ile maliyetin sağ destek noktası arasındaki farkın en küçükleme (Denklem 13 üçüncü kısım). Amaçlar birleştirilirken ilk amacın diğerleri üzerinde önceliği olduğu için büyük bir sayı (M) ile çarpılmıştır.

Denklem 14-19'da verilen kısıtlar ODP'deki Denklem 2-7'de verilen kısıtların ÜBS işlemleri uygulanmış eşlenikleridir. Denklem 20-22'de karar değişkenleri için mantıksız ÜBS elde edilmesini engellemek için önerilmiştir. Denklem 23-25'te verilen kısıtlar karar değişkenlerinin orta noktalarından sağ destek ve sol desteğe olan uzaklıklarının eşit olmasını sağlarlar.

## Uygulama

Önerilen modelin geçerliliğini göstermek için örnek bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Bir ürünün üç hammaddeden 3 ara ürün üzerinden üretildiği ve 2 pazara satıldığı varsayılmıştır. Şekil 2'de ürünün ağ yapısı verilmiştir. Zincirde toplam 9 ürün vardır. Ürünler 1, 2 ve 4 hammaddeleridir (PD: {1,2,4}), ürünler 3, 5 ve 6 ara ürünlerdir; 7 ise son üründür. 8 ve 9 nolu ürünler ise iki farklı pazara taşınmış ürünlerdir. Ürünlerin ürün ağacı matrisi Tablo 1'de verilmiştir.

Örnekte 3 kaynak varsayılmıştır. Birincisi işçilik zamanı, ikincisi ulaştırma kaynağı ve üçüncüsü makine zamanı olarak düşünülebilir. Kaynaklarla ilgili parametreler Tablo 2'de ve Şekil 2'de görülebilir.



Şekil 2. Uygulama tedarik zinciri ağ yapısı

Tablo 1. Uygulama ürün ağacı matrisi

	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9
p1			1						
p2			2						
p3					2	1			
p4					1				
p5							1		
p6							1		
p7								1	1
p8									
p9									

Tablo 2. Uygulamadaki kaynaklar ile ilgili parametreler

Kaynak kullanımı (ürün başına birim)	r1	r2	r3
p1			
p2			
p3	3		
p4			
p5	4		2
p6	2		3
p7	6		5
p8		5	
p9		7	
Kaynak kapasitesi (birim)	9000	3000	4500
Kaynak maliyeti (Birim başına TL)	0.4	0.1	0.2

Örnekte son ürünler (7,8 ve 9) dışındaki tüm ürünler dışarıdan tedarik edilebilir (PU: {7,8,9}). Talep ve fiyat sadece pazarlara taşınan



ürünler (8 ve 9) için tanımlanmıştır. Üretim verimlilik oranları sadece üretilebilecek ürünler için, dıştan sağlama verimlilik oranı da benzer şekilde sadece dışarıdan tedarik edilebilecek ürünler için tanımlanmıştır. Tablo 3 ve Tablo 4'te ürünlerle ilgili parametreler görülebilir.

Uygulamada verilen parametrelere göre DP modeli çözüldüğünde kâr (12945, 15184, 17422) olarak belirlenmiştir. Tablo 5'te verilen karar değişkeni değerlerine göre, örneğin, p5 ve p6'dan hem içerde üretilmeli hem de dışarıdan tedarik edilmelidir. p6'nın üretimi 406 ile 430 arasında olabilecek şekilde planlanmalı, en muhtemel üretim miktarı olarak 418 dikkate alınmalıdır. Ürünün ilk pazardaki satışının (p8) iyimser olarak 210 adet, kötümser olarak 180 adet ve en olası değer olarak 195 adet olabileceği göz önüne alınmalıdır.

Tablo 3. Ürünler ile ilgili maliyetler (1)

	Dıştan alım maliyeti	Dıştan alım kapasitesi	Talep	Fiyat
p1	3	1800	-	-
p2	1	3000	-	-
p3	7	1000	-	-
p4	2	600	-	-
p5	20	500	-	-
p6	10	500	-	-
p7	-	-	-	-
p8	-	-	(180, 200, 210)	70
p9	-	-	(240, 250, 265)	65

Tablo 4. Ürünler ile ilgili maliyetler (2)

	Üretim verim oranı	Dıştan alım verim oranı
p1	-	(0.96,0.98,1.00)
p2	-	(0.99,1.00,1.00)
p3	(0.94,0.95,0.97)	(0.95,0.96,1.00)
p4	-	(1.00,1.00,1.00)
p5	(0.94,0.96,0.98)	(0.98,0.98,0.99)
p6	(0.97,0.98,0.99)	(0.94,0.95,0.97)
p7	(0.97,0.97,0.98)	-
p8	(0.90,0.99,0.99)	-
p9	(0.97,0.99,1.00)	-

Bu çözüm ve yapılan diğer denemeler sonucunda girdilerdeki belirsizlik arttıkça çıktılardaki belirsizliğin de arttığı tespit edilmiştir. Bir diğer

ilginç sonuç ise bir ürünün üretim (veya tedarik) verim oranlarındaki belirsizlik arttıkça o ürünün üretim (veya tedarik) miktarının düştüğü görülmüştür. Model, belirsizliği çok olan seçenekleri daha az kullanma eğilimindedir.

Tablo 5. Uygulama sonuçları

	Üretim miktarı U(p)	Dıştan alım miktarı D(p)	Satış miktarı S(p)
p1	0	(1230, 1230, 1230)	0
p2	0	(2385, 2422, 2460)	0
p3	(1180, 1205, 1230)	0	0
p4	0	(352, 363, 375)	0
p5	(352, 363, 375)	(128, 128, 128)	0
p6	(406, 418, 430)	(67, 68, 69)	0
p7	(456, 474, 492)	0	0
p8	(200, 206, 212)	0	(180, 195, 210)
p9	(242, 253, 265)	0	(235, 250, 265)

### Sonuçlar ve gelecek çalışma önerileri

Bu makalede belirsizlik ortamında stratejik TZP için bulanık kararların verilmesini içeren bir ODP modeli önerilmiştir. Makalede önerilen özgün yaklaşım stratejik planlamada satış, üretim ve tedarik miktarları ile ilgili kararların belirsiz olarak verilmesidir. Bunun iki önemli yararı vardır. Birincisi uzun dönemde belirsiz olarak verilen kararların orta ve kısa vadede kesinleştirilmesi ile belirsizlik ortadan kalktığında daha doğru kararlar vermeyi sağlamasıdır. İkincisi, karar hiyerarşisinde üst düzeyde verilen belirsiz kararların alt düzeylere daha geniş bir karar serbestliği vermesidir.

Önerilen ODP modelinin çözümü için pratik ve etkin bir çözüm yordamı önerilmiştir. Model hipotetik örnek üzerinde uygulandığında tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir. Girdilerdeki belirsizlik arttıkça kârın hem belirsizliği hem de düzeyi azalmaktadır. Bir ürün için üretim ve dıştan alım seçenekleri var ise seçeneklerin değerlendirilmesinde fiyatın yanında belirsizlikte etkin olmaktadır. Model kârı arttırırken gerçekte olduğu gibi mümkün olduğu kadar belirsizlikleri azaltma yönünde hareket etmektedir.

Bu konuyla ilgili gelecek çalışmalarda öncelikle modelin bir gerçek hayat probleminde uygulanması gerekmektedir. Bunun yanısıra, modelin şirketlerde kullanılabilmesi için kullanıcı dostu bir yazılıma dönüştürülmesi faydalı olacaktır. Uzun vadede, modelin firmaların üretim ve tedarik planlamalarında kullanılabilmesi için firmaların kullandığı mevcut yazılımlar ile bütünleşik olarak çalışacak şekilde düzenlenmesi yararlı olacaktır.

## Kaynaklar

- Buckley, J.J. ve Feuring, T., (2000). Evolutionary algorithm solution to fuzzy problems: fuzzy linear programming, *Fuzzy Sets and Systems*, **109**, 35-53.
- Chen, S. ve Hwang, C., (1992) Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, Springer-Verlag, Germany
- Gullien G., Mele F.D., Bagajewicz M.J., Espuna A. ve Puigjaner, L., (2005). Multiobjective supply chain design under uncertainty, *Chemical Engineering Science*, **60**, 1535-1553.
- Gupta, A. ve Maranas, C.D., (2003). Managing demand uncertainty in supply chain planning, *Computer and Chemical Engineering*, **27**, 1219-1227.
- Gurnani, H., ve Gerchak, Y., (2007). Coordination in decentralized assembly systems with uncertain component yields, *European Journal of Operational Research*, **176**, 1559-1576.
- Güler, M.G. ve Bilgic, T., (2008). On coordinating an assembly system under random yield and random demand, *European Journal of Operational Research*, doi:10.1016/j.ejor. 2008.03.002
- Karabuk, S. ve Wu, S.D., (2003). Coordinating strategic capacity planning in the semiconductor industry, *Operations Research*, **51**, 6, 839-849.
- Koutsoukis, N.-S., Dominguez-Ballesteros, B., Lucas, C.A. ve Mitra, G., (2000) A prototype decision support system for strategic planning under uncertainty, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, **30**, 640-660.
- Lakhal, S., Martel, A., Kettani, O. ve Oral, M., (2001). On the optimization of supply chain networking decisions, *European Journal of Operational Research*, **129**, 259-270.
- Liu, M.L. ve Sahinidis, N.V., (1997). Process planning in a fuzzy environment, *European Journal of Operational Research*, **100**, 142-169.
- Maleki, H.R., Tata, M. ve Mashinchi, M., (2000). Linear programming with fuzzy variables, *Fuzzy Sets and Systems*, **109**, 21-33.
- Mula, J., Poler, R., Garcia-Sabater, J.P. ve Lario F.C., (2006). Models for production planning under uncertainty: A review. *International Journal of Production Economics*, **103**, 271-285.
- Petrovic, D., (2001). Simulation of supply chain behaviour and performance in an uncertain environment, *International Journal of Production Economics*, **71**, 429-438.
- Sahinidis, N.V., (2004). Optimization under uncertainty: state-of-the-art and opportunities, *Computers and Chemical Engineering*, **28**, 971-983.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P. ve Simchi-Levi, E., (2000). *Designing and managing the supply chain: Concepts, strategies, and case studies*. McGraw-Hill, New York.
- Tanaka, H., Guo, P. ve Zimmermann, H.-J., (2000). Possibility distribution of fuzzy decision variables obtained from possibilistic linear programming problems, *Fuzzy Sets and Systems*, **113**, 323-332.
- Zimmermann, H.J., (2000) An application-oriented view of modeling uncertainty, *European Journal of Operational Research*, **122**, 190-198.