

**BULANIK HEDEF
PROGRAMLAMA
İLE TEDARİK ZİNCİRİ
OPTİMİZASYONU: TEKSTİL
SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA**

*Hacettepe Üniversitesi
İktisadi ve İdari Bilimler
Fakültesi Dergisi
Cilt 33, Sayı 1, 2015
s. 77-98*

Pembe GÜÇLÜ

Arş.Gör., Dokuz Eylül Üniversitesi
İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi
İşletme Bölümü
pembe.guclu@deu.edu.tr

Ali ÖZDEMİR

Doç. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi
İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi
İşletme Bölümü
ali.ozdemir@deu.edu.tr

Öz: Belirsiz koşullar, belirsizlik ile ilgilenmeyen klasik yöntemlerle doğru sonuçlara varmayı zorlaştırmaktadır. 1960'lı yıllarda L. Zadeh tarafından ortaya atılan bulanık mantık sistemi, klasik mantığın bu eksiğini kapatmaktadır. Bulanık mantık uygulamaları günümüzde belirsizlik içeren karmaşık problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Tedarik zinciri yönetiminde de farklı alanlarda belirsizlikler bulunmaktadır ve bu da tedarik zinciri yönetiminin bulanık mantığın bir uygulama alanı olabileceğini göstermektedir. Bu çalışmada belirsiz talep koşullarında faaliyet gösteren bir işletmenin tedarik zincirinin modellenmesi ve optimizasyonu amacıyla bulanık hedef programlama modeli oluşturulmuştur. Tedarik zincirinde toplam maliyetin ve geri dönen ürün miktarının minimizasyonunu hedefleyen model, bir tekstil işletmesinden alınan gerçek veriler ile çözülmüştür.

Anahtar Sözcükler: *Tedarik zinciri yönetimi, bulanık hedef programlama.*

**SUPPLY CHAIN
OPTIMIZATION USING FUZZY
GOAL PROGRAMMING:
AN APPLICATION IN
TEXTILE INDUSTRY**

*Hacettepe University
Journal of Economics
and Administrative
Sciences
Vol. 33, Issue 1, 2015
p. 77-98*

Pembe GÜÇLÜ

Res. Assist., Dokuz Eylül University
Faculty of Economics and Administrative
Sciences
Department of Business Administration
pembe.guclu@deu.edu.tr

Ali ÖZDEMİR

Assoc.Prof.Dr., Dokuz Eylül University
Faculty of Economics and Administrative
Sciences
Department of Business Administration
ali.ozdemir@deu.edu.tr

Abstract: Uncertain conditions complicate to achieve correct results by classical logic which do not deal with uncertainties. Fuzzy logic system which was come up with L. Zadeh in 1960s, renews classical logic. In these days fuzzy logic applications are widely used for complex problems that include uncertainty. There are also uncertainties in supply chain management and this denotes that supply chain management would be an application area for fuzzy logic. In this study a fuzzy goal programming model has been developed so as to model and optimize the supply chain of a business operating under uncertain demand conditions. The model that aims to minimize total costs and quantity of rejected products, was solved by using real data derived from a textile company.

Keywords: *Supply chain management, fuzzy goal programming..*

GİRİŞ

İşletmeler, ürettikleri ürünleri müşterilerine ulaştırabilmek için tedarikçiler, dağıtıcılar ve müşterilerden oluşan bir zincir oluştururlar. Günümüzde işletmelerin rekabet avantajı elde edebilmeleri için bireysel başarılarından çok bu tedarik zincirinin başarısı üzerine odaklanmaları gerekmektedir. Bunun için de zincirde yer alan, işbirliği halindeki her üyenin eşgüdümünün sağlanması gerekir. “Tedarik Zinciri Yönetimi” olarak bilinen bu felsefe, işletmelere daha geniş olanaklardan yararlanarak rekabet etme olanağı tanımaktadır. Müşterilerinin ihtiyaçlarına uygun ürünleri, istenilen miktarda, tam yerinde, tam zamanında, minimum maliyetle ulaştırarak rekabetin olmazsa olmaz ilkesi olan “müşteri memnuniyeti” ni elde etmek isteyen işletmeler, tedarik zincirini etkin bir şekilde oluşturmak ve yönetmek zorundadır. Bu durumda tedarik zinciri ağının oluşturulması ve optimizasyonu konuları önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada belirsiz talep koşullarında faaliyet gösteren bir işletmenin tedarik zinciri ağı problemini matematiksel olarak formülize etmek ve ağ optimizasyonunu sağlamak amacıyla bir bulanık hedef programlama modeli oluşturulmuş ve çözümü aranmıştır. Çalışmada ilk olarak tedarik zinciri ve tedarik zinciri yönetimi ile ilgili kısaca bilgi verildikten sonra tedarik zinciri modellemesine ilişkin literatür taramasına yer verilmiştir. Ardından modellemede kullanılmış olan bulanık hedef programlama ile ilgili bilgi verilerek gerçek işletme verileri ile yapılan uygulamaya geçilmiştir. Uygulama bölümünde İzmir’de faaliyet gösteren bir tekstil firmasının tedarik zincirinin bulanık hedef programlama ile modellemesi yapılarak çözüm gerçekleştirilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

1. TEDARİK ZİNCİRİ VE BELİRSİZLİK

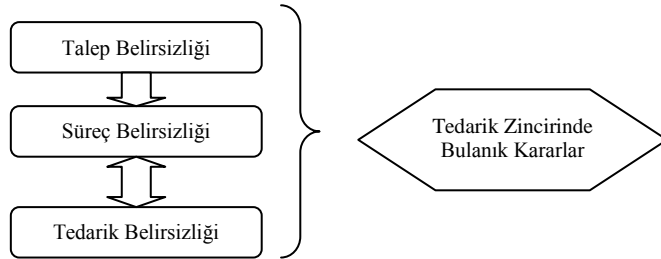
İşletmeler küreselleşme ve artan rekabet nedeniyle ürün fiyatlarını, buna bağlı olarak da maliyetlerini ve verimliliklerini daha iyi kontrol etmek zorundadırlar. Birçok işletmeyi bünyesinde bulunduran tedarik zinciri yapıları, tek bir işletmeymiş gibi davranarak yüksek kalitede, düşük maliyette üretmiş olduğu ürün ve/veya hizmetleri pazara hızlı bir şekilde ulaştırarak yüksek müşteri memnuniyeti sağlamayı

amaçlamaktadır. Etkin bir tedarik zinciri tasarımı ve yönetimi, düşük maliyetli ve kaliteli ürünlerin gecikmesiz olarak müşteriye tesliminde büyük rol oynamaktadır.

Ekonomik, çevresel ve işletme içi değişkenliklerden dolayı işletmelerin tedarik zinciri parametreleri kalite, miktar, süre gibi farklı açılardan belirsizlikler taşımaktadır. Bu belirsizlik türleri talepte belirsizlik, süreçte belirsizlik ve tedarikte belirsizlik olmak üzere üç grupta toplanabilir (Peidro *vd.*, 2010: 65). Kaba, Ülengin (2011), bu belirsizlik türlerini Şekil 1’de görüldüğü gibi özetlemiştir.

Tedarikte belirsizlik, teslimlerindeki gecikmelerden veya hatalardan dolayı ortaya çıkan çeşitlilikten doğar. Süreçteki belirsizlik, az güvenilir bir üretim sürecinin sonucudur. Son olarak talepte belirsizlik-üçü içinde en önemlisi- talepteki oynaklık ve hatalı talep tahminleri nedenleriyle ortaya çıkar (Peidro *vd.*, 2010: 64).

Şekil 1. Tedarik Zincirinde Belirsizlik Alanları



Kaynak: Kabak, Ülengin, 2011, 254.

Müşterilerin talep düzeyi, “Yaklaşık olarak D_m kadardır ancak kesinlikle D_l ’den daha az ve D_u ’dan daha çok değildir”, “ D_l ’den çok daha fazladır” veya daha karmaşık bir şekilde “Büyük ihtimalle $[D_p, D_o]$ aralığında olacaktır, ancak talebin sıfır olma ihtimali de orta düzeyde olasıdır” gibi belirsiz olarak farklı şekillerde ifade edilebilir (Petrovic *vd.*, 1999: 445). Bu şekilde doğal dille ifade edilen belirsiz talep düzeyi, bulanık mantıkta farklı üyelik fonksiyonları ile temsil edilebilir.

Tedarik zinciri yönetimi karar sürecinde belirsizlik, etkinliği ve koordinasyonu etkileyen ana faktördür, tedarik zincirindeki diğer halkalara da sıçrama eğilimindedir ve zincirin performansını önemli ölçüde etkiler. Bir çok çalışmada (Cohen, Lee, 1988; Ayuso *vd.*, 2003; Lababidi *vd.*, 2004; Santaso *vd.*, 2005; Gullien *vd.*, 2005; Azaron *vd.*, 2008; Sodhi, Tang, 2009; France *vd.*, 2010; Bidhandi, Yusuf, 2011), tedarik zincirdeki belirsizlikler olasılık dağılımları ile modellenmiştir. Olasılık dağılımları genellikle geçmişte kaydedilmiş durumlar incelenerek elde edilir (Petrovic *vd.*, 1999: 65). Ancak istatistiksel veriler güvenilir olmadığında veya eksik olduğunda stokastik modeller iyi bir seçim olmayabilir (Wang, Shu, 2005: 108). Bu durumda, kesin olmayan parametreler, deneyimlere ve öznel yönetsel muhakemelere dayanarak tayin edilebilir. Genellikle konuyla ilgili uzman, bir parametreye ilişkin değer aralığı söyleyebilir ve bu parametrenin o aralıkta en büyük olasılıkla hangi değeri alacağına ilişkin bir tahmin yapabilir (Petrovic *vd.*, 1999: 65).

Tedarik zincirindeki belirsizlikler ile ilgili olarak olasılık teorisinden daha basit ve daha az veri isteyen bulanık küme teorisi, alternatif bir yaklaşım olabilir (Dubois *vd.*, 2003: 232). Bulanık küme teorisi tam ve kesin olarak tanımlanması güç olan sistemleri modellemek için kullanılmaktadır. Bulanık küme teorisi, değişkenlik ve özneliği modelin formülasyon ve çözüm süreçlerine katan bir yöntem olarak ortaya konmuştur. Bulanık modellemenin tedarik zinciri modelleme alanında uygulamalarının da yaygın olduğu görülmektedir (Chen *vd.*, 2003; Chen, Lee, 2004; Liang, 2006; Jolai *vd.*, 2007; Selim, Özkarahan, 2008; Liang, 2008; Peidro *vd.*, 2009; Torabi, Hassini, 2009; Tsai, Hung, 2009; Selim *vd.*, 2009; Bilgen, 2010; Paksoy *vd.*, 2010a; Paksoy *vd.*, 2010b; Liang 2011; Peidro, Vasant, 2011; Varela *vd.*, 2011; Verma *vd.*, 2012).

2. BULANIK HEDEF PROGRAMLAMA

Standart bir hedef programlama formülasyonunda hedefler ve kısıtlar kesin olarak tanımlanır. Çoğu zaman karar verici açısından, her amaç fonksiyonu için arzulanan erişim düzeyini belirlemek zor bir iştir (Ramik, 2000: 81). Erişim değerleri, hedeflerin tercih öncelikli sıralaması ve görelî ağırlıklar karar vericinin öznel yargılarına

dayanılarak belirlenir. Hedef programlama modelindeki bu öznelik olgusu bulanık küme teorisi ile ele alınabilir (Özkan, 2003: 181).

Bulanık küme teorisini hedef programlamaya uygulanması karar vericiye bazı doğal dil terimleri ya da muğlak olgular ile nitelendirilebilen bulanık erişim düzeyine izin verme avantajına sahiptir. Karar verici, hedeflerin “ g_1 ’den daha büyük”, “ g_2 ’den kısmen az”, ya da “ g_3 civarında” olması gerektiğini hissedebilir. Bu tip sözel ifadeler bulanık kümelerde bahsedilen üyelik fonksiyonları ile temsil edilebilir (Ramik, 2000: 81). Her hedef için üyelik fonksiyonunun derecesi hedefin tatmin düzeyini temsil eder. Bir amacın üyelik fonksiyonu 1 veya 0 ise amaca ya tamamen ulaşılır ya da tamamen ulaşılmaz. Eğer üyelik fonksiyonu (0,1) aralığında yayılıyorsa amaca kısmen ulaşılır (Bit vd., 1993: 314).

Bulanık modellerde hedeflerin yanı sıra olayları niteleyen kısıtlayıcıların parametre değerleri ve/veya sağ taraf sabitleri bulanık olabilir. Ayrıca kısıtlayıcılarda yer alan $=, \leq, \geq$ ilişkilerinde bazı toleranslara izin verilebilir. Dolayısıyla bulanık ortamdaki olaylar bileşeni bulanık kısıtlayıcılar olarak ele alınabilir (Özkan, 2003; 156). Bulanık bir kısıtlayıcı evrensel kümenin bir alt kümesi olan \tilde{C} bulanık kümesi veya $\mu_{\tilde{C}}(x) \in [0,1]$ koşulunu sağlayan bir üyelik fonksiyonu ile ifade edilebilir. $\mu_{\tilde{C}}(x) = 1$ olduğunda bulanık kısıtlayıcının tamamen doyurulduğu, $0 < \mu_{\tilde{C}}(x) < 1$ olduğunda bulanık kısıtlayıcının kısmen doyurulduğunu, $\mu_{\tilde{C}}(x) = 0$ olduğunda bulanık kısıtlayıcının hiç doyurulmadığı ifade edilir.

Tipik bir bulanık hedef programlama problemi en basit şekilde aşağıdaki gibi formüle edilebilir (Selim vd., 2008: 400; Selim, Özkarahan, 2008; 404);

$$x_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$Z_m(x_i) \prec \overline{Z}_m \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (2)$$

$$Z_k(x_i) \succ \overline{Z}_k \quad k = m + 1, m + 2, \dots, K \quad (3)$$

$$g_j(x) \leq b_j \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (4)$$

$$x_i \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

Modelde, $Z_m(x_i)$ m'inci amaç kısıtını, $\overline{Z_m}$ m'inci amaç için hedef değerini, $Z_k(x_i)$ k'inci amaç kısıtını, $\overline{Z_k}$ k'inci amaç için hedef değerini, $g_j(x_i)$ j'inci eşitsizlik kısıtını ve b_j j. eşitsizlik kısıtının mümkün/ulaşılabilir kaynak miktarını simgelemektedir.

Literatürde bulanık hedef programlama problemlerinin çözümünde birçok farklı yaklaşım kullanılmıştır. Bu yaklaşımlar kullandıkları üyelik fonksiyonu türü, hedeflerin öncelikli veya önceliksiz olması gibi yönleriyle birbirlerinden farklılık göstermektedir. Bu çalışmada, Torabi ve Hassini'nin (2008) geliştirmiş olduğu "TH Metodu" olarak da bilinen çözüm yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile çok amaçlı bir model tek amaçlı olarak şu şekilde formüle edilir;

$$\text{Max } \lambda(x) = \gamma\lambda_0 + (1 + \gamma)\sum_k \theta_k \mu_{Z_k}(x) \quad (6)$$

$$\text{s.t. } \lambda_0 \leq \mu_{Z_k}(x) \quad k = 1, \dots, n \quad (7)$$

$$x \in f(x) \quad (8)$$

$$\lambda_0, \gamma \in [0,1] \quad (9)$$

Burada " μ_{Z_k} " k. amaç fonksiyonunun tatmin derecesini, " λ_0 " hedeflerin minimum tatmin derecesini ifade eder. " θ_k " parametresi, k. amaç fonksiyonunun görece önemini gösterir, karar vericinin önceliklerine göre $\sum_k \theta_k = 1$ ve $\theta_k > 0$ şartlarını sağlayacak şekilde belirlenir. " γ " telafi katsayısı, dolaylı olarak bulanık hedeflerin minimum tatmin düzeylerinin yanında hedeften ödün/taviz derecelerini kontrol eder. Büyük değerli bir γ parametresi daha büyük bir λ_0 elde etmek için daha fazla özen gösterildiği anlamını taşır (Torabi, Hassini 2009: 5490).

3. UYGULAMA

Çalışma kapsamında yapılan uygulama, İzmir'de tekstil sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin verileri ile gerçekleştirilmiştir. Söz konusu işletme, 2002 yılında faaliyete geçerek yurt içi ve yurt dışı piyasalarda kendi markasıyla yerini almıştır. Güçlü

pazarlama alt yapısı ve her geçen gün artan üretim kapasitesi ile şimdilerde Asya, Avrupa ve Afrika kıtalarında 45'i aşkın ülkede ürünlerini müşterilerine ulaştırmaktadır.

3.1. Problemin Tanımı ve Formülasyonu

Ele alınan işletmenin tedarik zinciri üç tedarikçi, bir üretim tesisi ve altmış yedi toptancı ve perakendeci müşterilerden oluşmaktadır. Ancak uygulamada işletmenin satışlarında en büyük paya sahip olan beş toptancı müşteri ele alınmıştır. Tedarik zincirinde altı aylık dönem için her dönemde üretim tesisi tarafından tedarik edilecek, üretilecek, stoklanacak ve dağıtılacak miktarlar belirlenmek istenmektedir. Problemin çözümü için bulanık hedef programlama modeli oluşturulmuştur. Toplam maliyetin ve müşterilerden geri dönen ürün miktarının minimizasyonunu hedefleyen modelde müşterilerin talep miktarları ile amaç fonksiyonlarının erişim düzeyleri bulanık olarak ele alınmıştır.

Varsayımlar

- Uzun dönemde ürün deterministik dinamik bir talebe sahiptir.
- Amaç fonksiyonlarının erişim düzeyleri ve müşterilerin talepleri bulanıktır.
- Tüm amaç fonksiyonları ve kısıtlar doğrusaldır.
- Bulanık talebi ifade etmek için üçgensel üyelik fonksiyonu kullanılmıştır.
- Bulanık hedeflerin temsil edilmesinde doğrusal üyelik fonksiyonu kullanılmıştır.
- Tedarikçiler ve hangi tedarikçiden hangi hammaddenin temin edildiği kesin olarak bellidir.
- Her tedarikçinin siparişi karşılama kapasitesi bulunmaktadır.
- Üretim işlemi tek aşama olarak gerçekleşmektedir.
- İşletmenin üretim kapasitesi bilinmektedir.
- Siparişi karşılayamama durumu söz konusu değildir.
- Birim stoklama maliyeti sabittir (dönemler arası farklılık göstermemektedir).
- Birinci dönem başında stok bulunmamaktadır.
- Birim üretim maliyeti dönemler boyunca sabittir.
- Müşterilerin hepsi bütün aylarda sipariş vermemektedir.

İndisler

t: Zaman periyodu endeksi (t =1,2,3,4,5,6).

r: Hammadde endeksi (r =1,2,3).

m: Toptancı müşteriler (m =1,2,3,4,5).

Parametreler

\tilde{d}_{mt} : t döneminde m müşterisinin bulanık talebi.

cap : Dönemlik üretim kapasitesi.

b_r : Bir birim nihai ürün için gerekli olan r hammaddesi miktarı.

WR_r : Hammadde deposu kapasitesi.

W : Nihai ürün deposunun kapasitesi.

WM_m : m dağıtım merkezinin depolama kapasitesi.

c_r : Temin edilen r hammaddesinin birim fiyatı.

pc : Birim üretim maliyeti.

tc_{mt} : t döneminde m müşterisine birim ürün gönderme maliyeti.

hcr_r : Bir birim r hammaddesini stoklama maliyeti.

hc : Bir birim nihai ürünü stoklama maliyeti.

hcm_m : m müşterisinin bir birim nihai ürünü stoklama maliyeti.

sir_r : r hammaddesinin güvenlik stoku miktarı.

si_p : Üretim merkezinin nihai ürün güvenlik stoku miktarı

sim_m : m müşterisinin güvenlik stoku miktarı

q_m : m müşterisi tarafından geri gönderilen ürün oranı.

Tablo 1. Toptancı Müşterilerle İlgili Parametre Verileri

Müşteriler	WM _m (top)	sim _m (top)	q _m (%)	hcm _m (TL/br)	tc _{mt} (TL/br)					
					t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆
m ₁	5533	323	12	3.2	5.13	-	-	5.53	5.86	6.05
m ₂	4143	253	12.3	3.4	4.09	-	4.39	-	4.68	4.83
m ₃	8392	313	14.4	3.3	4.39	4.55	4.71	4.90	5.01	5.19
m ₄	5958	318	12	4.3	4.43	-	-	-	5.05	5.23
m ₅	8111	511	11.8	3.3	6.02	6.24	-	6.50	-	-

Tablo 2. Modelde Kullanılan Diğer Parametrelere İlişkin Veriler

Hammadde	b _r	WR _r	sir _r	hcr _r	c _r
r ₁	3.1 kg	159046	24346	0.8 TL/kg	8.1 TL/kg
r ₂	4.1kg	63841	9288	0.2 TL/kg	2.5 TL/kg
r ₃	20m	852146	250000	0.06 TL/m	0.6 TL/m
cap=30 000 top W =40 000 top pc = 18.75 TL/ top hc = 2.625 TL/ top si =9000 top					

Karar Değişkenleri

X_{rt} : t döneminde k tedarikçisinden alınan r hammadde miktarı.

P_t : t döneminde üretim miktarı.

S_{mt} : t döneminde m dağıtım merkezine gönderilen ürün miktarı.

IR_{rt} : t döneminde r hammaddesinin dönem sonu stok miktarı.

I_t : t döneminde nihai ürünün dönem sonu stok miktarı.

IM_{mt} : t döneminde m dağıtım merkezinde dönem sonu stok miktarı.

Hedefler

Toplam Maliyetin
Minimizasyonu

$$\text{Min TC} \cong \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R c_r \cdot X_{rt} + \sum_{t=1}^T pc \cdot P_t + \sum_{t=1}^T \sum_{m=1}^M tc_{mt} \cdot S_{mt} +$$

$$\left[\sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R hcr_r \cdot IR_{rt} + \sum_{t=1}^T hc \cdot I_t + \sum_{t=1}^T \sum_{m=1}^M hcm_m \cdot IM_{mt} \right] \quad (10)$$

Dağıtım Merkezleri
Tarafından İade
Edilen Ürün
Miktarının
Minimizasyonu

$$\text{Min TRI} \cong \sum_{t=1}^T \sum_{m=1}^M S_{mt} \cdot q_m \quad (11)$$

Kısıtlar
Hammadde Stok
Dengeleme Kısıtı

$$(IR_{r,t-1} + X_{rt} - IR_{rt}) \geq b_r \cdot P_t \quad \forall r, t \quad (12)$$

Nihai Ürün Stok
Dengeleme Kısıtı

$$I_{t-1} + P_t - I_t \geq \sum_{m=1}^M S_{mt} \quad \forall m, \quad (13)$$

Dağıtım
Merkezlerinin
Bulanık Talebine
Bağlı Stok
Dengeleme Kısıtı

$$IM_{m,t-1} + S_{mt} - IM_{mt} \geq \tilde{d}_{mt} \quad \forall m, \quad (14)$$

Müşterilerin
Güvenlik Stoku
Kısıtı

$$IM_{mt} \geq sim_{mt} \quad \forall m, \quad (15)$$

Tedarikçilerin
Güvenlik Stoku
Kısıtı

$$IR_{rt} \geq sir_r \quad \forall r, t \quad (16)$$

Üretim Merkezinin
Güvenlik Stoku
Kısıtı

$$I_t \geq si_t \quad \forall t \quad (17)$$

Üretim Kapasitesi
Kısıtı

$$P_t \leq cap \quad \forall t \quad (18)$$

Dağıtım
Merkezlerine
Gönderilen Ürün
Miktarı Kısıtı

$$S_{mt} \geq \tilde{d}_{mt} \quad \forall m, t \quad (19)$$

Üretim Merkezinin
Hammadde
Depolama Kısıtı

$$IR_{rt} \leq WR_r \quad \forall r, t \quad (20)$$

Üretim Merkezinin
Nihai Ürün
Depolama Kısıtı

$$I_t \leq W_n \quad \forall t \quad (21)$$

Müşterilerin
Depolama Kısıtı

$$IM_{mt} \leq WM_m \quad \forall m, t \quad (22)$$

Karar
Değişkenlerinin
Pozitif Olma Koşulu

$$X_{rt}, P_t, S_{mt}, IR_{rt}, I_t, IM_{mt} \geq 0 \quad \forall k, m, r, t \quad (23)$$

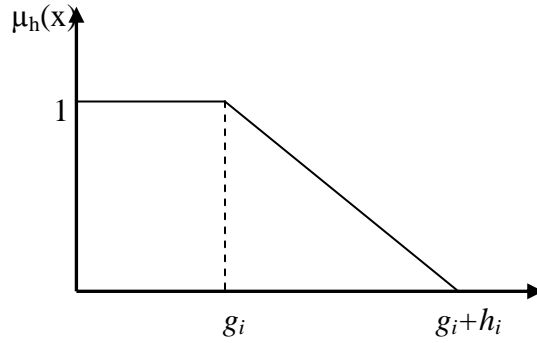
3.2. Üyelik Fonksiyonlarının Tanımlanması

Çalışmada bulanık hedef ve bulanık kısıtlar için çözüm metodolojisine uygun olması açısından doğrusal üyelik fonksiyonları tercih edilmiştir. Bulanık hedefler için oluşturulan üyelik fonksiyonunun genel gösterimi Denklem 24'deki gibidir. Bu fonksiyon Grafik 1 gibi gösterilebilir.

$$\mu_h(x) = \begin{cases} Z_i(x) < g_i & \Rightarrow 1 \\ g_i < Z_i(x) < g_i + h_i & \Rightarrow \frac{(g_i + h_i) - Z_i(x)}{h_i} \\ Z_i(x) > g_i + h_i & \Rightarrow 0 \end{cases} \quad (24)$$

Burada $Z_i(x)$, i. amaç fonksiyonunu, g_i i. amaç fonksiyon değerinin alt limitini, h_i ise i. amaç fonksiyonu için tolerans miktarını temsil etmektedir.

Grafik 1. i. Hedef İçin Doğrusal Üyelik Fonksiyonu



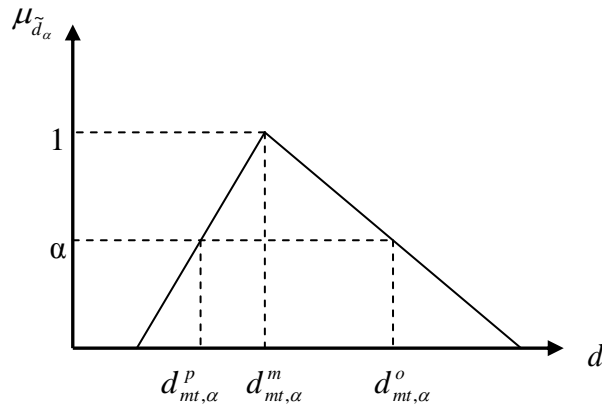
Uygulama için üyelik fonksiyonu parametreleri ilgili işletmede çalışan uzmanların görüşleri doğrultusunda belirlenmiş ve oluşturulan üyelik fonksiyonları Denklem 25 ve 26'de belirtilmiştir.

$$\mu(z_1) = \begin{cases} Z_1(x) < 5000000 & \Rightarrow 1 \\ 5000000 < Z_1(x) < 6800000 & \Rightarrow \frac{(6800000) - Z_1(x)}{1800000} \\ Z_1(x) > 6800000 & \Rightarrow 0 \end{cases} \quad (25)$$

$$\mu(z_2) = \begin{cases} Z_i < 7800 & \Rightarrow 1 \\ 7800 < Z_i(x) < 12000 & \Rightarrow \frac{12000 - Z_i(x)}{4200} \\ Z_i(x) > 12000 & \Rightarrow 0 \end{cases} \quad (26)$$

Oluşturulan modelde kesin olmayan talep miktarlarının ifade edilmesinde üçgensel bulanık sayılar kullanılmıştır. Grafik 2’de üçgensel bulanık talebin $\tilde{d}_{mt} = (d_{mt}^p, d_{mt}^m, d_{mt}^o)$ şeklindeki dağılımı gösterilmektedir. Burada d_{mt}^p , t döneminde talebin alabileceği en kötümser değeri, d_{mt}^m en olası değeri ve d_{mt}^o en iyimser değeri belirtmektedir.

Grafik 2. Bulanık Talebin Üçgensel Dağılımı



Bulanık talep verisinin durulaştırılmasında *ağırlıklı ortalama yöntemi* kullanılmıştır. Bu yöntemle göre kabul edilebilir en düşük üyelik derecesine (α) göre bulanık kısıt bulanık olmayan şekilde aşağıdaki gibi yeniden düzenlenir.

$$IM_{mt-1} + S_{mt} - IM_{mt} \geq w_1 d_{mt,\alpha}^p + w_2 d_{mt,\alpha}^m + w_3 d_{mt,\alpha}^o \quad (27)$$

$$S_{mt} \geq w_1 d_{mt,\alpha}^p + w_2 d_{mt,\alpha}^m + w_3 d_{mt,\alpha}^o \quad (28)$$

Burada w_1 , w_2 ve w_3 talebin en kötümser, en olası ve en iyimser değerlerinin ağırlıklarını göstermektedir. Ağırlıklar, toplamaları 1 olacak şekilde karar vericinin önceliklerine göre belirlenir.

$$w_1 + w_2 + w_3 = 1 \quad (29)$$

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde durulaştırma işleminde ağırlıklı ortalama yönteminin sıklıkla kullanıldığı, hatta bir çok çalışmada aynı ağırlık ve “ α ” değerinin kullanıldığı görülmektedir (Lai, Hwang, 1992; Torabi, Hassini, 2008, 2009; Liang, 2006, 2008, 2011). Bu çalışmada da aynı değerler kullanılmıştır.

$$w_1, w_3 = 1/6 \quad w_2 = 4/6 \quad \alpha = 0.5$$

Talep merkezlerinin en kötümser, en olası ve en iyimser talep değerleri Tablo 3’de, bunların belirlenen ağırlıklar ve kabul edilebilir en küçük üyelik derecesiyle hesaplanmış olan ağırlıklı ortalamaları da Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 3. Talep Merkezlerinin En Kötümser (Dp), En Olası (Dm) Ve En İyimser (Do) Talep Miktarları

Müşteriler	t ₁			t ₂			t ₃			t ₄			t ₅			t ₆		
	Dp	Dm	Do	Dp	Dm	Do	Dp	Dm	Do	Dp	Dm	Do	Dp	Dm	Do	Dp	Dm	Do
m ₁	4219	5210	5372	-	-	-	-	-	-	1905	2066	2647	3734	4240	4402	3719	4210	4372
m ₂	3211	3890	4017	-	-	-	1130	2260	2396	-	-	-	3121	3710	3837	2099	2225	2378
m ₃	1033	1189	2160	2098	2254	2693	3273	3414	3571	3630	4129	4286	2832	2988	3060	1818	1974	2553
m ₄	4411	5640	5799	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1621	1780	2481	3841	4500	4659
m ₅	6353	7600	7856	5778	6450	6706	-	-	-	3445	3700	4403	-	-	-	-	-	-

Tablo 4. $\alpha=0.5$ için Durulaştırılmış Talep Verileri

Müşteriler	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆
m ₁	5072	-	-	2136	4183	4155
m ₂	3798	-	2094	-	3633	2229
m ₃	1325	2301	3417	4072	2974	2044
m ₄	5462	-	-	-	1870	4417
m ₅	7435	6381	-	3775	-	-

3.3. Eşdeğer Doğrusal Programlama Modeli

$$Max\lambda(x) = \gamma\lambda_0 + (1 + \gamma) \left[\theta_1 \frac{(g_1 + h_1) - TC}{h_1} + \theta_2 \frac{(g_2 + h_2) - TRI}{h_2} \right] \quad (30)$$

s.t.

$$\lambda_0 \leq \frac{(g_1 + h_1) - TC}{h_1} \quad (31)$$

$$\lambda_0 \leq \frac{(g_2 + h_2) - TRI}{h_2} \quad (32)$$

$$IM_{m,t-1} + S_{mt} - IM_{mt} \geq w_1 d_{mt,\alpha}^p + w_2 d_{mt,\alpha}^m + w_3 d_{mt,\alpha}^o \quad \forall m,t \quad (33)$$

$$S_{mt} \geq w_1 d_{mt,\alpha}^p + w_2 d_{mt,\alpha}^m + w_3 d_{mt,\alpha}^o \quad \forall m,t \quad (34)$$

$$(IR_{r,t-1} + X_{rt} - IR_{rt}) \geq b_r \cdot P_t \quad \forall r,t \quad (35)$$

$$I_{t-1} + P_t - I_t \geq \sum_{m=1}^M S_{mt} \quad \forall m,t \quad (36)$$

$$IM_{mt} \geq sim_m \quad \forall m,t \quad (37)$$

$$IR_{rt} \geq si_r \quad \forall r,t \quad (38)$$

$$I_t \geq si \quad \forall t \quad (39)$$

$$P_t \leq cap \quad \forall t \quad (40)$$

$$IR_{rt} \leq WR_r \quad \forall r,t \quad (41)$$

$$I_t \leq W \quad \forall t \quad (42)$$

$$IM_{mt} \leq WM_m \quad \forall m,t \quad (43)$$

$$\lambda_0, \gamma \in [0,1] \quad (44)$$

$$X_{rt}, P_t, S_{mt}, IR_{rt}, I_t, IM_{mt} \geq 0 \quad \forall k,m,r,t \quad (45)$$

Oluşturulan eşdeğer doğrusal programlama modelinin en düşük tatmin düzeyi $(\lambda_0) = 0.6$, telafi katsayısı $(\gamma) = 0.4$, hedeflerin ağırlıkları $\theta_1 = 0.75$ ve $\theta_2 = 0.25$ değerleri verilerek çözülmesi ile karar değişkenlerinin değerleri Tablo 5'deki gibi bulunmuştur.

Analiz sonuçlarına göre işletme, her dönemde talep miktarı kadar üretim yapar, her dönem sonunda güvenlik stoku miktarı kadar stok bulundurursa zincirin maliyeti minimum olmaktadır. Tablo 3.5'de görüldüğü gibi ilk dönemde üretim ve hammadde alım miktarı oldukça yüksektir. Bunun nedeni, ilk dönemde dönem başı stok bulunmamasıdır. İşletme müşterilerine ilk dönemde güvenlik stokları kadar fazla gönderim yapmak durumundadır. Ayrıca kendi bünyesinde bulundurması gereken 9000 top güvenlik stoku için fazladan üretim yapmak zorundadır. Aynı durum ilk ayın hammadde alım miktarları için de geçerlidir. İşletme, ilk ay talepleri karşılayabilmek ve minimum stok miktarı kadar stok tutabilmek için birinci hammaddeden 129157 kg, ikinci hammaddeden 147909 kg ve üçüncü hammaddeden 676200 metre alım yapması gerekmektedir. Karar değişkenlerinin aldığı bu değerlerle karar vericinin hedeflerden genel tatmin düzeyi $\lambda(x) = 0.67$ olarak gerçekleşmiştir.

Tablo 6'da Bulanık Hedef Programlama TH Yöntemi ve Hedef Programlama sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Görüldüğü gibi bulanık hedef programlama yöntemi her iki hedef açısından da hedef programlamadan daha iyi sonuç vermiştir. Bulanık hedef programlama yöntemi kullanılarak 1 391 904 TL'lik tasarruf sağlanırken, müşteriler tarafından geri gönderilen ürün miktarı da 195 top daha az olmaktadır.

Tablo 5. Karar Değişkenlerinin Çözüm Değerleri

Değişken	Değeri	Değişken	Değeri	Değişken	Değeri
$Max\lambda(x)$	0.67	IR26	9288	S34	4072
X11	129157	IR31	250000	S35	2974
X12	26914.2	IR32	250000	S36	2044
X13	17084	IR33	250000	S41	5462
X14	30947	IR34	250000	S45	1870
X15	39246	IR35	250000	S46	4417
X16	39820	IR36	250000	S51	7435
X21	147909	P1	33810	S52	6381
X22	35596	P2	8682	S54	2752
X23	22595	P3	5511	IM11	323
X24	40930	P4	9983	IM14	323
X25	51906	P5	12660	IM15	323
X26	52665	P6	12845	IM16	323
X31	676200	I1	9000	IM21	253
X32	173640	I2	9000	IM23	253
X33	110220	I3	9000	IM25	253
X34	199660	I4	9000	IM26	253
X35	253200	I5	9000	IM31	313
X36	256900	I6	9000	IM32	313
IR11	24346	S11	5072	IM33	313
IR12	24346	S14	2136	IM34	313
IR13	24346	S15	4183	IM35	313
IR14	24346	S16	4155	IM36	313
IR15	24346	S21	3798	IM41	318
IR16	24346	S23	2094	IM45	318
IR21	9288	S25	3633	IM46	318
IR22	9288	S26	2229	IM51	511
IR23	9288	S31	1325	IM52	511
IR24	6288	S32	2301	IM54	511
IR25	9288	S33	3417		

Tablo 6. Hedeflerin Değerleri

	Bulanık Hedef Programlama	Hedef Programlama
TC	5 215 071 TL	6 606 975 TL
TSC	3 107 907.89 TL	4 477 375 TL
TPC	1 707 206 TL	1 719 694 TL
TDC	399 956.7 TL	409 905.5 TL
TRI	9000 top	9195

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Tedarik zincirinin optimizasyonunda doğrusal programlama, doğrusal olmayan programlama, tam sayılı programlama, dinamik programlama, hedef programlama, stokastik programlama gibi birçok model kullanılmaktadır. Bunlardan hedef programlama, çok amaçlı karar vermede sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Belirsizlik altında çok amaçlı karar verme problemlerinde de bulanık hedef programlama yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çeşitli aktörlerden ve iş süreçlerinden oluşan tedarik zincirlerinde de belirsiz koşullar bulunmaktadır. Tedarik zincirindeki bu belirsizlikler tedarikte belirsizlik, süreçte belirsizlik ve/veya talepte belirsizlik (Kabak, Ülengin, 2011) şeklinde olabilmektedir. Çoğu zaman belirsizlikler olasılık dağılımları ile ele alınmaktadır. Ancak sözel bilgilerin bulunması, problemin çok karmaşık olması durumlarında bulanık mantık uygulamalarının kullanımı daha doğru sonuçlar vermektedir.

Bu çalışmada, bulanık talep koşullarında faaliyet gösteren çok tedarikçili, tek üretim merkezli ve çok müşterili bir tekstil işletmesinin çok amaçlı tedarik zinciri modellenmesi ve optimizasyonu için bir bulanık hedef programlama modeli kullanılmıştır. Toplam maliyetin ve müşterilerden geri dönen ürün miktarının minimizasyonunu hedefleyen problemin çözümü ile ilgili olarak öncelikle bulanık hedef programlama modeli formüle edilmiş, ardından çeşitli çözüm yöntemleri arasından seçilen Torabi-Hassini Yöntemi (Torabi, Hassini, 2008; 2009) ile model tek amaçlı bir modele dönüştürülmüştür. Kullanılan bu model karar vericinin belirlediği hedeflerden

taviz verebilme düzeyine göre sonuçlar elde edilmesini ve bu sonuçların karar vericiyi tatmin etme düzeyini belirlemeyi sağlamaktadır. Bulanık hedefler ve bulanık kısıtlar için doğrusal üyelik fonksiyonunun kullanıldığı model, Microsoft Excel'in Çözücü eklentisi yardımıyla çözülmüştür. Çözüm sonuçlarında işletmenin talebi izleme stratejisini uygulaması gerektiği görülmüştür.

Son olarak deterministik hedef programlama ile elde edilen hedef değerleri bulanık hedef programlama ile elde edilen hedef değerleri karşılaştırılmış ve bulanık hedef programlamanın daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Bundan sonraki çalışmalarda Torabi-Hassini Yönteminin parametrelere verilecek farklı değerlerle sonuçların nasıl değişeceği incelenebilir, literatürdeki diğer bulanık hedef programlama çözüm yöntemlerinin ve belirsizliğin stokastik yapıda ele alındığı modellerin vereceği sonuçlarla Torabi-Hassini Yönteminin verdiği sonuçlar karşılaştırılabilir. Ayrıca, farklı uygulamalarda farklı belirsizlik türleri modele dahil edilerek literatüre katkı yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Ayuso, A.A., L.F. Escudero, A. Garin, M.T. Ortuno, G. (Perez 2003) An Approach for Strategic Supply Chain Planning Under Uncertainty Based on Stochastic 0-1 Programming, **Journal of Global Optimization**, 26, 97-124.
- Azaron, A., K.N. Brown, S.A. Tarim, M. Modarres (2008) A Multi-Objective Stochastic Programming Approach for Supply Chain Design Considering Risk, **International Journal of Production Economics**, 116, 129-138.
- Bidhandi, H.M., R.M. Yusuf, (2011) Integrated Supply Chain Planning Under Uncertainty Using an Improved Stochastic Approach, **Applied Mathematical Modelling**, 35, 2618-2630.
- Bilgen, B. (2010) Application of Fuzzy Mathematical Programming Approach to the Production Allocation and Distribution Supply Chain Network Problem, **Expert Systems with Applications**, 37 (6), 4488-4495.

- Bit, A.K., M.P. Biswal, S.S. Alam (1993) An Additive Fuzzy Programming Model For Multiobjective Transportation Problem, **Fuzzy Sets and Systems**, 57(3), 313-319.
- Chen, C.L., W.C., Lee. (2004) Multi- Objective Optimization of Multi Echelon Supply Chain Networks With Uncertain Product Demand and Prices, **Computers and Chemical Engineering**, 28, 1131-1144.
- Chen, C.L., B.W. Wang, W.C. Lee (2003) The Optimal Profit Distribution Problem in a Multi-Echelon Supply Chain Network: A Fuzzy Optimization Approach. **Lecture Notes in Artificial Intelligence Springer-Verlang Berlin Heidelberg**, 2773, 1289-1295.
- Cohen, M.A., H.L. Lee (1988) Strategic Anaysis of Integrated Production Distribution Systems: Models and Methods, **Operations Research**, 36 (2), 216-228.
- Dubois, D., H. Fargier, P. Fortemps (2003) Fuzzy Scheduling: Modelling Flexible Constraints vs. Coping With Incomplete Knowledge, **European Journal of Operational Research**, 147 (2), 231–252.
- France, R.B., E. Jones, C.N. Richards, J.P. Carison (2010) Multi-Objective Stochastic Supply Chain Modelling to Evaluate Tradeoffs Between Profit and Quality, **International Journal of Production Economics**, 127(2), 292-299.
- Gullien, G., F.D. Mele., M.C. Bagajewicz, A. Espuna, L. Puigjaner (2005) Multiobjective Supply Chain Design Under Uncertainty, **Chemical Engineering Science**, 60(6), 1535-1553.
- Jolai, E., J. Razmi, Rostami, N.K.M. (2011) A Fuzzy Goal Programming and Meta Heuristic Algorithms for Solving Integrated Production: Distribution Planning Problem, **Central European Journal of Operations Research**, 19(4), 547-569.
- Kabak, Ö., F. Ülengin (2011) Possibilistic Linear-Programming Approach for Supply Chain Networking Decisions, **European Journal of Operational Research**, 209, 253–264.
- Lababidi, H.M.S., M.A. Ahmed, I.M. Alatiqi, A.F. Al-Enzi (2004) Optimizing the Supply Chain of a Petrochemical Company under Uncertain Operating and Economic Conditions, **Industrial & Engineering Chemistry Research**, 43(1), 63-73.
- Lai, Y.J., C.L. Hwang (1992) **Fuzzy Mathematical Programming: Methods and Applications**, NewYork: Springer.

- Liang, T.F. (2006) Distribution Planning Decisions Using Interactive Multi Objective Linear Programming, **Fuzzy Sets and Systems**, 157, 1303-1316.
- Liang, T.F. (2008) Fuzzy Multi-Objective Production/Distribution Planning Decisions With Multi-Product And Multi-Time Period In A Supply Chain, **Computers & Industrial Engineering**, 55, 676-694.
- Liang, T.F. (2011) Application Of Fuzzy Sets To Manufacturing/Distribution Planning Decisions in Supply Chains, **Information Sciences**, 181, 842-854.
- Özkan, M.M. (2003) **Bulanık Hedef Programlama**, Bursa: Ekin Kitabevi.
- Paksoy, T., E. Özceylan, G.W. Weber (2010a) A Multi-Objective Mixed Integer Programming Model For Multi Echelon Supply Chain Network Design and Optimization, **System Research and Information Technologies**, 4, 47-57.
- Paksoy, T., Yapıcı Pehlivan, N., E. Özceylan (2010b) Fuzzy Multi-Objective Mixed Integer Programming Model for Multi Echelon Supply Chain Network Design, **3rd Conference on Nonlinear Science and Complexity**, Düzenleyen Çankaya Üniversitesi, Ankara, 28-31 Temmuz 2010.
- Peidro, D., P. Vasant, 2011 Transportation Planning With Modified S-Curve Membership Functions Using an Interactive Fuzzy Multi-Objective Approach, **Applied Soft Computing**, 11, 2656-2663.
- Peidro, D., J. Mula, M. Jimenez, M.M. Botella (2010) A Fuzzy Linear Programming Based Approach for Tactical Supply Chain Planning in an Uncertainty Environment, **European Journal of Operational Research**, 205, 65-80.
- Peidro, D., J. Mula, R. Poler, J.L. Verdagay (2009) Fuzzy Optimization for Supply Chain Planning Under Supply, Demand and Process Uncertainties, **Fuzzy Sets and Systems**, 160, 2640-2657.
- Petrovic, D., R. Roy, R. Petrovic, (1999) Supply Chain Modelling Using Fuzzy Sets, **International Journal of Production Economics**, 59, 443-453.
- Ramik, J. (2000) Fuzzy Goals and Fuzzy Alternatives in Goal Programming Problems, **Fuzzy Sets and Systems**, 111, 81-86.
- Santoso, T., S. Ahmed, M. Goetschalckx, A. Shapiro (2005) A Stochastic Programming Approach for Supply Chain Network Design Under Uncertainty, **European Journal of Operational Research**, 167, 96-115.

- Selim, H., İ. Özkarahan (2008) A Supply Chain Distribution Network Design Model: An Interactive Fuzzy Goal Programming-Based Solution Approach, **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 36, 401-418
- Selim, H., C. Araz, İ. Özkarahan (2009) Collaborative Production-Distribution Planning in Supply Chain, A Fuzzy Goal Programming Approach, **Transportation Research Part E**, 44, 396-419.
- Sodhi, M.M., C.S. Tang (2009) Modeling Supply-Chain Planning Under Demand Uncertainty Using Stochastic Programming: A Survey Motivated By Asset-Liability Management, **International Journal of Production Economics**, 121, 728-738.
- Torabi, S.A. E. Hassini (2008) An Interactive Possibilistic Programming Approach for Multiple Objective Supply Chain Master Planning, **Fuzzy Sets and Systems**, 159, 193 – 214.
- Torabi, S.A., E. Hassini 2009 Multi-site Production Planning Integrating Procurement and Distribution Plans in Multi-Echelon Supply Chains: An Interactive Fuzzy Goal Programming Approach, **International Journal of Production Research**, 47(19), 5475-5499.
- Tsai, W.H., S.J. Hung (2009) A Fuzzy Goal Programming Approach for Green Supply Chain Optimisation Under Activity-Based Costing and Performance Evaluation With a Valuechain Structure, **International Journal of Production Research**, 47(18), 4991-5017.
- Varela, T.P., Barbosa-Povoa, A.P.F.D., A.Q. Novais (2011), Bi-Objective Optimization Approach to the Design and Planning of Supply Cahins: Economic versus Environmental Performances, **Computers & Chemical Engineering**, 35(8), 1454-1468.
- Verma, S., V. Jain, A. Majumdar (2012) Modeling an Agile Supply Chain: Research Challenges and Future Directions, **Advances in Intelligent and Soft Computing**, 131, 277-285.
- Wang, J., Y.F. Shu (2005) Fuzzy Decision Modeling for Supply Chain Management, **Fuzzy Sets and Systems**, 150, 107–127.