

PAPER DETAILS

TITLE: BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLANLAMASINDA ETKİLEŞİMLİ OLABİLİRLİKÇİ DOĞRUSAL
PROGRAMLAMA MODELİ VE BİR UYGULAMA

AUTHORS: Aysegül TUS İSİK,Muhsin ÖZDEMİR

PAGES: 81-117

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/234853>

BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLANLAMASINDA ETKİLEŞİMLİ OLABİLİRLİKÇİ DOĞRUSAL PROGRAMLAMA MODELİ VE BİR UYGULAMA

Ayşegül TUŞ IŞIK*, Muhsin ÖZDEMİR**

ÖZET

Bütünleşik Üretim Planlaması (BÜP), orta dönemli planlama kararlarının alınmasında işgücü ve stok düzeylerinin, normal ve fazla mesai üretim miktarlarının, ertelenen sipariş miktarlarının ve taşıeron gereksiniminin bir bütün olarak değerlendirilmesini ve dengelenmesini amaçlamaktadır. Ancak değişen çevre koşulları altında piyasa talepleri, mevcut kaynaklar, kapasiteler ve ilgili üretim maliyetleri çoğunlukla belirsizdir. Dolayısıyla bu çalışmada, gerçek hayatta karşılaşılan durumları yansıtabilen, belirsizlikleri göz ardı etmeyen, karar verici ile çözüm süreci boyunca etkileşerek onun da karar sürecine katılımını sağlayan çok amaçlı, çok ürünlü ve çok dönemli bulanık bir BÜP problemi dikkate alınmıştır. Problemin çözümü için bir Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama (EODP) modeli önerilmiştir. Son olarak önerilen modelin gerçek hayatta uygulanabilirliği gösterilmiştir.

Anahtar Sözcükler: *Bütünleşik Üretim Planlaması (BÜP), Bulanık Mantık, Bulanık BÜP, Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama (EODP)*

INTERACTIVE POSSIBILISTIC LINEAR PROGRAMMING MODEL AT AGGREGATE PRODUCTION PLANNING AND AN APPLICATION

ABSTRACT

Aggregate Production Planning (APP) aims at evaluating and balancing the work force and inventory levels, regular and overtime production quantities, backordering levels and subcontract requirement as a whole in the process of taking midterm planning decisions. However market demands, available resources, capacities and related production costs are often uncertain under the changing environmental conditions. Therefore, in this study multi-objective, multi-product and multi-period fuzzy APP problem that is able to reflect real-world features and which does not

* Pamukkale Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Denizli, E-posta: atus@pamukkale.edu.tr

** Adnan Menderes Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, İsabeyli, Aydın, E-posta: mozdemir@adu.edu.tr

ignore its uncertainties and ensures decision makers' participation in decision making process by interacting with them during the solution process, has been considered. Interactive Possibilistic Linear Programming (i-PLP) model has been proposed for solving the problem. Finally the feasibility of applying the proposed model in real world has been demonstrated.

Keywords: *Aggregate Production Planning (APP), Fuzzy Logic, Fuzzy APP, Interactive Possibilistic Linear Programming (i-PLP)*

GİRİŞ

Bütünleşik Üretim Planlaması (BÜP), genellikle gelecek 3 aydan 18 aya kadar üretim miktarını ve zamanını belirlemekle ilgilenen orta dönemli bir üretim planlamasıdır. Bir başka deyişle BÜP, orta dönem için beklenen talebi karşılayabilecek üretimi sağlama çabasıdır (Kanyalkar ve Adil, 2005). Bu çaba, genellikle ürün bazında değil de tek grup çıktı veya birkaç birleştirilmiş ürün grubu için yapıldığından "bütünleşik" ya da "toplam" terimi kullanılmaktadır.

BÜP, üretim ve üretim yönetimi için büyük önem taşımaktadır. Üretim yöneticileri; üretim oranlarını, işgücü ve stok düzeylerini, taşeron ve fazla mesai üretim miktarlarını, işe alma ve işten çıkarma oranlarını ve diğer kontrol edilebilir değişkenleri düzenleyerek tahmin edilen talebi karşılamak için BÜP yöntemlerini kullanarak en iyi yolu belirlemeye çalışmaktadır. Holt, Modigliani ve Simon (1955), HMS kuralını önerdiğinden beri araştırmacılar BÜP problemlerini çözmek için çok sayıda yöntem geliştirmiştir. Klasik deterministik BÜP yöntemleri kullanıldığında, amaçlar ve model girdilerinin kesin olarak bilindiği varsayılmaktadır. Ancak uygulamalı üretim sistemlerinde piyasa talebi, mevcut kaynaklar, kapasiteler ve ilgili üretim maliyetleri gibi çevresel katsayılar ve parametreler çoğunlukla belirsizdir. Bunun için klasik deterministik BÜP yöntemleri, belirsiz ortamlarda BÜP problemlerini etkin bir biçimde çözemeyebilmektedir. Belirsizliğin üstesinden gelmek için Hausman ve McClain (1971), tesadüfi talep ile BÜP kararlarına olasılık teorisi tekniklerini sunmuştur. Bitran ve Yanassee (1984), belirsiz talebi olan çok dönemli BÜP karar problemlerini çözmek için bir dağılım sınırının deterministik bir yaklaşım kullanarak türetilmediği belirli bir dağılım fonksiyonu ile stokastik bir programlama modeli sunmuştur. Ancak, stokastik programlama yöntemleri ile çözülen BÜP problemleri, temel olarak olasılık teorisi kavram ve tekniklerine dayanmakta ve sadece verilen bir olasılık dağılım fonksiyonunun sınırlı şeklini alabilmekte,

Bütünleşik Üretim Planlamasında Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama Modeli ve Bir Uygulama

dolayısıyla uygulamalı BÜP kararlarına çok az yardımcı olabilmektedir. Stokastik programlama modellerini uygulamanın temel zorlukları, sayısal verilerin eksikliği ve karar vericinin gerçek hayatta karşılaştığı belirsizlikleri modellemede esnek olmayan olasılık kuramlarıdır (Liang, 2007a).

Belirsizliği incelemek için olasılık teorisine alternatif olarak Zadeh (1965) tarafından bulanık küme teorisi geliştirilmiştir. Bulanık küme teorisi, sözel terimlerden kaynaklanan kesin olmayışı ya da belirsizliği modellemeyi mümkün kılan matematiksel bir disiplindir ve sayısal olmayan, insan sebep, algı ve yorumlarını içeren sistemleri modellemek için kullanılmaktadır (Marler, Yang ve Rao, 2004). Bulanık BÜP modellerinin klasik matematiksel BÜP modellerinden üstünlüğü; bu modellerin yöneticilerin yaklaşık düşünme yeteneklerini dikkate almasından, formülasyon ve uygulama kolaylığından kaynaklanmaktadır (Guiffreda ve Nagi, 1998).

Bu çalışmada çok amaçlı, çok ürünlü ve çok dönemli bulanık bir BÜP problemi; belirsiz talep, maliyet katsayıları, mevcut kaynaklar ve kapasitelerle toplam maliyeti, toplam stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyetlerini ve işgücü düzeylerindeki değişim maliyetlerini minimize etmek için araştırılmıştır. Bu gelişen amaçların belirsiz istek düzeyleri çerçevesinde karar verici tarafından aynı anda çözülmesi istenmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde, problem tanımlanmış, problemin varsayımları belirlenmiş ve BÜP problemi formüle edilmiştir. Üçüncü bölümde, BÜP karar problemlerini çözmek için Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama (EODP) modeli ve çözüm süreci anlatılmıştır. Model, memnun edici bir çözüm elde edilene kadar karar vericinin etkileşimli olarak belirsiz veriyi ve ilgili parametreleri değiştirmesine imkân tanıyan, karar verme sürecine yardım eden sistematik bir çatı sağlamıştır. Dördüncü bölümde, gerçek bir BÜP problemi ile önerilen modelin uygulanabilirliği gösterilmiştir. Son bölümde ise sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

BULANIK BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLANLAMASI

BÜP problemlerini çözmek için kullanılmaya başlanan bulanık optimizasyon yöntemleri, probleme bağlı bir yapıya sahip olduğu için belirlenen problemin ihtiyacına uygun olarak düzenlenip uyarlanabilmektedir. Bugüne kadar bulanık optimizasyonla ilgili yapılan çalışmalara bakılacak olursa; Bellman ve Zadeh (1970) tarafından sunulan bulanık karar verme kavramının ardından Zimmermann (1976) tarafından ilk defa bulanık küme teorisi, klasik Doğrusal Programlama (DP)

problemlerinde kullanılmıştır (Baykoç ve Sakallı, 2009). Bulanık amaç fonksiyonu ve bulanık kısıtları olan DP problemlerini ele alan bu çalışmanın ardından birçok bulanık optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Zimmermann (1978) ilk defa, 1976'daki Bulanık Doğrusal Programlama (BDP) yaklaşımını, klasik Çok Amaçlı Doğrusal Programlama (ÇADP) problemi halinde genişletmiştir. Bu problemin her bir amaç fonksiyonu için karar vericinin "amaç fonksiyonlarının yaklaşık bir değerden küçük ya da yaklaşık bir değere eşit olması gerekmektedir" gibi bir bulanık bir hedefi olduğu varsayılmıştır. Daha sonra uygun doğrusal üyelik fonksiyonu belirlenip tüm amaç fonksiyonlarını birleştirmek için Bellman ve Zadeh (1970) tarafından önerilen minimum işlemcisi uygulanmıştır. Yardımcı değişken kullanılarak, bu problem klasik DP problemine eşdeğer hale dönüştürülmüş ve Simpleks Yöntemi ile kolaylıkla çözülebilmıştır (Wang ve Liang, 2004). Zadeh (1978), bulanık kümeler teorisi ile ilgili olabilirlik teorisini önermiştir. Zadeh'in bu çalışması, verilen kararlar üzerinde pek çok bilginin doğada olasılıkçı olmaktan çok olabilirlikçi olduğu gerçeğini göstermiştir (Liang, 2007b). Bu teoriye göre modelde var olan belirsizlik, olasılık olarak değil yakınlık olarak modellenmektedir. Bunun sebebi de karar vericilerin çoğu zaman geçmiş istatistikî veriler olmadan uzman görüşüne göre karar vermek durumunda bulunmalarıdır (Çubukçu, 2008). Buckley (1988), tüm parametrelerin olabilirlik dağılımına dayanan bulanık değişkenler olabildiği bir matematiksel programlama problemi tasarlamış ve Olabilirlikçi Doğrusal Programlama (ODP)'yı kullanarak bu problemi örneklendirmiştir (Liang, 2007b).

BDP'nin özel bir ifadesi olarak ODP, olabilirlikçi dağılımla sınırlanan belirsiz katsayılarla DP problemleriyle ilgilenmektedir (Tang, Wang ve Fung, 2001). Lai ve Hwang (1992), belirsiz amaç ve/veya kısıt katsayıları ile bir ODP problemini çözmek için yardımcı bir ÇADP modeli geliştirmiştir (Liang, 2007b). Hsu ve Wang (2001), bir üretim ortamında belirsiz amaç ve talebi içeren üretim planlama kararlarını yönetmek için Lai ve Hwang (1992)'in ODP modelini uygulamıştır. Wang ve Liang (2005), belirsiz talep tahmini, ilgili üretim maliyetleri ve kapasite ile çok ürünlü BÜP problemlerini çözmek için Lai ve Hwang (1992)'in yaklaşımını kullanarak yeni bir Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama (EODP) yaklaşımı önermiştir. Olabilirlikçi yaklaşımların temel sınırlılığı, toplam maliyeti minimize eden ya da toplam kârı maksimize eden sadece tek bir belirsiz amacı göz önünde bulundurmasıdır. Gerçek hayatta BÜP problemleri, çok sayıda birbiriyle çelişen belirsiz amaçlar içermektedir. Liang (2007a), belirsiz ortamda üçgensel olabilirlik dağılımlarıyla çok sayıda belirsiz amaç ve maliyet katsayıları ile çok ürünlü ve çok dönemli BÜP problemleri için

Bütünleşik Üretim Planlamasında Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama Modeli ve Bir Uygulama

EODP yaklaşımını sunmuştur. Bu çalışmada önerilen modelde ise önceki çalışmalardan farklı olarak, belirlenen amaçlara ilişkin hedeflerin farklı önceliklere sahip olduğu durum da incelenmiştir. Tablo 1’de Lai ve Hwang (1992)’ın yaklaşımını kullanarak bulanık BÜP problemlerini çözen Wang ve Liang (2005), Liang (2007a) ve bu çalışmada önerilen BÜP modelinin bir karşılaştırması gösterilmektedir.

Tablo 1: Wang ve Liang (2005), Liang (2007a) ve Önerilen BÜP Modeli

Faktör	Önerilen Model	EODP (Liang, 2007a)	ODP (Wang ve Liang, 2005b)
<i>Amaç fonksiyonu</i>	Çoklu, doğrusal	Çoklu, doğrusal	Tek, doğrusal
<i>Amaç değeri</i>	Kesin olmayan /Bulanık	Kesin olmayan /Bulanık	Kesin olmayan /Bulanık
<i>Amaç önceliği</i>	Dikkate alınır	Dikkate alınmaz	Dikkate alınmaz
<i>Ürün kalemi</i>	Ürün grubu	Ürün grubu	Ürün grubu
<i>Memnuniyet derecesi</i>	Sunulur	Sunulur	Sunulur
<i>Plânlama ufku</i>	Çok dönemli	Çok dönemli	Çok dönemli
<i>Piyasa talebi</i>	Kesin olmayan	Kesin olmayan	Kesin olmayan
<i>Makine kapasitesi</i>	Sınırlı	Sınırlı	Sınırlı
<i>Depo alanı</i>	Sınırlı	Sınırlı	Sınırlı
<i>Üretim maliyeti</i>	Kesin olmayan	Kesin olmayan	Kesin olmayan
<i>Taşıeron</i>	Dikkate alınır	Dikkate alınır	Dikkate alınır
<i>Sipariş erteleme</i>	Dikkate alınır	Dikkate alınır	Dikkate alınır
<i>İşe alma / işten çıkarma maliyeti</i>	Kesin olmayan	Kesin olmayan	Kesin olmayan
<i>İşgücü düzeyi</i>	Kesin olmayan	Kesin olmayan	Kesin olmayan
<i>Paranın zaman değeri</i>	Dikkate alınır	Dikkate alınır	Dikkate alınmaz

PROBLEM FORMÜLASYONU

Problem Tanımı ve Notasyon

Bu çalışmada incelenen çok amaçlı, çok ürünlü ve çok dönemli BÜP karar problemi, şu şekilde tanımlanabilir. Bir işletmenin T planlama dönemi boyunca piyasa talebini karşılamak için N farklı ürün ürettiği varsayılın. Bu BÜP kararının amaçları; stok düzeyi, mevcut işgücü düzeyi, makine kapasitesi, depo alanı ve her bir maliyet sınıfı için paranın zaman değeri ile ilgili olarak toplam maliyeti, toplam stok bulundurma ve

ertelenen sipariş maliyetlerini ve işgücü düzeylerindeki değişim maliyetlerini minimize etmektir. Gerçek BÜP problemlerinde; talep tahmini, ilgili maliyet katsayıları, mevcut işgücü düzeyi ve makine kapasitesi orta dönemli planlama dönemi boyunca genellikle belirsizdir. Bu çalışmada BÜP kararı, en uygun BÜP planını belirlemek için bir ODP yaklaşımı geliştirmeye dayanmaktadır. Kullanılan notasyonlar şu şekildedir:

İndeks kümeleri

n = ürün tipi $n = 1, 2, \dots, N$

t = planlama dönemi $t = 1, 2, \dots, T$

Karar değişkenleri

Q_{nt} = t döneminde ürün n 'nin normal mesai üretim miktarı (adet)

O_{nt} = t döneminde ürün n 'nin fazla mesai üretim miktarı (adet)

S_{nt} = t döneminde ürün n 'nin taşıyon miktarı (adet)

I_{nt} = t döneminde ürün n 'nin stok miktarı (adet)

B_{nt} = t döneminde ürün n 'nin ertelenen sipariş miktarı (adet)

H_t = t döneminde işe alınan işçi miktarı (işçi-saat)

F_t = t döneminde işten çıkarılan işçi miktarı (işçi-saat)

Parametreler

$\tilde{D}_{nt}$ = t döneminde ürün n 'nin talep tahmini (adet)

$\tilde{a}_{nt}$ = t döneminde ürün n 'nin normal mesai üretim maliyeti (TL/adet)

$\tilde{b}_{nt}$ = t döneminde ürün n 'nin fazla mesai üretim maliyeti (TL/adet)

$\tilde{c}_{nt}$ = t döneminde ürün n 'nin taşıyon maliyeti (TL/adet)

$\tilde{d}_{nt}$ = t döneminde ürün n 'nin stok bulundurma maliyeti (TL/adet)

$\tilde{e}_{nt}$ = t döneminde ürün n 'nin ertelenen sipariş maliyeti (TL/adet)

$\tilde{k}_t$ = t döneminde bir işçiyi işe alma maliyeti (TL/işçi-saat)

$\tilde{m}_t$ = t döneminde bir işçiyi işten çıkarma maliyeti (TL/işçi-saat)

$i_{a,b,c,d,e,f}$ = eskalasyon faktörü (her bir maliyet sınıfı için) (%)

l_{nt} = t döneminde ürün n 'nin gerekli işçilik süresi (işçi-saat/adet)

$S_{nt \max}$ = t döneminde ürün n 'nin maksimum taşıyon miktarı (adet)

$I_{nt \min}$ = t döneminde ürün n 'nin minimum elde tutulan stok miktarı (adet)

$B_{nt \max}$ = t döneminde ürün n 'nin maksimum ertelenen sipariş miktarı (adet)

$\tilde{r}_{nt}$ = t döneminde ürün n 'nin makine kullanım süresi (makine-saat/adet)

Bütünleşik Üretim Planlamasında Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama Modeli ve Bir Uygulama

$v_{nt} = t$ döneminde ürün n 'nin kapladığı depo alanı (m^2 / adet)

$\tilde{W}_{nt \max} = t$ döneminde maksimum normal mesai işgücü düzeyi (işçi-saat)

$\tilde{W}_{tf \max} = t$ döneminde maksimum fazla mesai işgücü düzeyi (işçi-saat)

$\tilde{M}_{nt \max} = t$ döneminde normal mesaide maksimum makine kapasitesi (makine-saat)

$\tilde{M}_{tf \max} = t$ döneminde fazla mesaide maksimum makine kapasitesi (makine-saat)

$V_{t \max} = t$ döneminde maksimum depo alanı (m^2)

$H_{t \max} = t$ döneminde maksimum işe alınan işçi sayısı (işçi-saat)

$F_{t \max} = t$ döneminde maksimum işten çıkarılan işçi sayısı (işçi-saat)

Olabilirlikçi Doğrusal Programlama Modeli

Amaç fonksiyonları

Model, üç farklı amaç fonksiyonundan oluşmaktadır.

Amaç 1: Toplam maliyetin minimizasyonu

Modelin birinci amaç fonksiyonu, birçok BÜP modelinde olduğu gibi maliyetlerin minimizasyonu şeklindedir. Toplam maliyet; planlama dönemi süresince karşılaşılan üretim maliyetlerinin ve işgücü düzeyindeki değişikliğin neden olduğu maliyetlerin toplamıdır. Önerilen modele ait amaç fonksiyonu şu şekilde ifade edilebilir:

$Min \tilde{z}_1 =$

$$\sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T [\tilde{a}_{nt} Q_{nt} (1+i_a)^t + \tilde{b}_{nt} O_{nt} (1+i_b)^t + \tilde{c}_{nt} S_{nt} (1+i_c)^t + \tilde{d}_{nt} I_{nt} (1+i_d)^t + \tilde{e}_{nt} B_{nt} (1+i_e)^t] + \sum_{t=1}^T (\tilde{k}_t H_t + \tilde{m}_t F_t) (1+i_f)^t \quad (1)$$

Eşitlik (1)'de $\tilde{a}_{nt}, \tilde{b}_{nt}, \tilde{c}_{nt}, \tilde{d}_{nt}, \tilde{e}_{nt}, \tilde{k}_t$ ve $\tilde{m}_t$ üçgensel olabilirlik dağılımlarıyla ifade edilen belirsiz katsayılarıdır. Amaç fonksiyonunun,

$$\sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T [\tilde{a}_{nt} Q_{nt} (1+i_a)^t + \tilde{b}_{nt} O_{nt} (1+i_b)^t + \tilde{c}_{nt} S_{nt} (1+i_c)^t + \tilde{d}_{nt} I_{nt} (1+i_d)^t + \tilde{e}_{nt} B_{nt} (1+i_e)^t]$$

ile gösterilen ilk bölümü toplam üretim maliyetini ifade etmektedir. Toplam üretim maliyeti 5 bileşenden oluşmaktadır. Bunlar; normal mesai, fazla mesai, taşeron, stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyetleridir.

Amaç fonksiyonunun $\sum_{t=1}^T (\tilde{k}_t H_t + \tilde{m}_t F_t) (1+i_f)^t$ ile ifade edilen

ikinci bölümü ise işgücü düzeyindeki değişikliği ifade etmektedir. İşgücü düzeyindeki değişikliği, işe alma ve işten çıkarma maliyetleri oluşturmaktadır. Ayrıca her bir maliyet sınıfı için eskalasyon faktörü eklenmiştir. Eskalasyon, enflasyon nedeniyle artan fiyatlar için belirlenen birim artış katsayısıdır.

Amaç 2: Toplam stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyetlerinin minimizasyonu

$$\text{Min } \tilde{z}_2 = \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T [\tilde{d}_{nt} I_{nt} (1+i_d)^t + \tilde{e}_{nt} B_{nt} (1+i_e)^t] \quad (2)$$

Amaç 3: İşgücü düzeylerindeki değişim maliyetlerinin minimizasyonu

$$\text{Min } \tilde{z}_3 = \sum_{t=1}^T (\tilde{k}_t H_t + \tilde{m}_t F_t) (1+i_f)^t \quad (3)$$

Kısıtlar

Modeldeki amaçların aşağıdaki kısıtlar altında gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Talep ile ilgili kısıtlar

$$I_{nt-1} - B_{nt-1} + Q_{nt} + O_{nt} + S_{nt} - I_{nt} + B_{nt} = \tilde{D}_{nt} \quad \forall n, \forall t \quad (4)$$

$$S_{nt} \leq S_{nt \max} \quad \forall n, \forall t \quad (5)$$

$$I_{nt} \geq I_{nt \min} \quad \forall n, \forall t \quad (6)$$

$$B_{nt} \leq B_{nt \max} \quad \forall n, \forall t \quad (7)$$

Eşitlik (4)'te $\tilde{D}_{nt}$, t dönemindeki ürün n 'nin bulanık tahmini talebini göstermektedir. Gerçek BÜP problemlerinde tahmini talep, piyasanın dinamik olması nedeniyle değişkenlik göstermekte, kesin olarak bilinmemektedir. Normal ve fazla mesai üretim miktarı, taşeron, stok ve

Bütünleşik Üretim Planlamasında Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama Modeli ve Bir Uygulama

ertelenen sipariş düzeylerinin toplamı piyasa talebine eşit düzeyde olmalıdır. Ayrıca dönem boyunca tahmin edilen talep ya karşılanabilir ya da sipariş edilebilir olmalı, ancak bir sipariş bir önceki dönemden mutlaka karşılanmalıdır. Yani uygulamada siparişler bir dönemden daha fazla ertelenmemektedir. Eşitlik (5), her bir dönemde taşeron miktarının kendi üst limitini aşamayacağı anlamına gelmektedir. Eşitlik (6), siparişlerin ertelenmesini önlemek için belirlenen minimum stok düzeyini göstermektedir. Bu, her bir dönemde stok düzeyinin, kendi alt limitinden daha az olamayacağı anlamına gelmektedir. Eşitlik (7) ise her bir dönemde ertelenen sipariş miktarının kendi üst limitini aşamayacağı anlamına gelmektedir.

İşgücü düzeyleri ile ilgili kısıtlar

$$\sum_{n=1}^N \tilde{I}_{nt-1} (Q_{nt-1} + O_{nt-1}) + H_t - F_t = \sum_{n=1}^N \tilde{I}_{nt} (Q_{nt} + O_{nt}) \quad \forall t \quad (8)$$

$$\sum_{n=1}^N \tilde{I}_{nt} Q_{nt} \leq \tilde{W}_{tn \max} \quad \forall t \quad (9)$$

$$\sum_{n=1}^N \tilde{I}_{nt} O_{nt} \leq \tilde{W}_{tf \max} \quad \forall t \quad (10)$$

$$H_t \leq H_{t \max} \quad \forall t \quad (11)$$

$$F_t \leq F_{t \max} \quad \forall t \quad (12)$$

Eşitlik (8)'e göre; $t-1$ dönemindeki işgücü düzeyi ile yeni işe alınanlar ve işten çıkarılanların toplamı, t dönemindeki işgücü düzeyine eşit olmalıdır. Eşitlik (9), normal mesaide fiili işgücü düzeyinin her dönemdeki maksimum mevcut normal mesai işgücü düzeyinden fazla olamayacağı, Eşitlik (10) ise fazla mesaide fiili işgücü düzeyinin her dönemdeki maksimum mevcut fazla mesai işgücü düzeyinden fazla olamayacağı anlamına gelmektedir. Her dönemdeki maksimum elverişli işgücü düzeyi piyasa taleplerine göre belirsizlik gösterecektir. Bu nedenle t döneminde bir adet ürün n için gerekli işgücü düzeyi ve maksimum normal ve fazla mesai işgücü düzeyi bulanık alınmıştır. Eşitlik (11) ve (12), her bir dönemde işe alınan ve işten çıkarılan işçi miktarının kendi üst limitini aşamayacağı anlamına gelmektedir.

Makine kapasitesi ile ilgili kısıtlar

$$\sum_{n=1}^N \tilde{r}_{nt} Q_{nt} \leq \tilde{M}_{tm \max} \quad \forall t \quad (13)$$

$$\sum_{n=1}^N \tilde{r}_{nt} O_{nt} \leq \tilde{M}_{tf \max} \quad \forall t \quad (14)$$

Eşitlik (13) ve (14)'e göre her bir dönemde normal ve fazla mesai makine kapasiteleri kendi üst limitlerini aşamaz. t döneminde bir adet ürün n için gerekli makine kullanım süresi ve maksimum normal ve fazla mesai makine kapasiteleri de t döneminde bir adet ürün n için gerekli işgücü düzeyi ve maksimum normal ve fazla mesai işgücü düzeyleri gibi piyasa taleplerine göre belirsizlik göstereceği için bulanık alınmıştır.

Depo alanı ile ilgili kısıtlar

$$\sum_{n=1}^N v_{nt} I_{nt} \leq V_{t \max} \quad \forall t \quad (15)$$

Eşitlik (15), her bir dönemde depo alanının kendi üst limitini aşamayacağı anlamına gelmektedir.

Negatif olmama kısıtları

$$Q_{nt}, O_{nt}, S_{nt}, I_{nt}, B_{nt}, H_t, F_t \geq 0 \quad (16)$$

Eşitlik (16) ise karar değişkenlerinin negatif değer alamayacağını belirtmektedir.

MODELİN ÇÖZÜMÜ

Üçgensel Olabilirlik Dağılımı ile Belirsiz Verinin Modellenmesi

Bu çalışmada karar vericilerin tüm belirsiz katsayılar için üçgensel olabilirlik dağılım şeklini benimsediği varsayılmıştır. Olabilirlik dağılımı, belirsiz veri ile bir olayın oluş derecesi olarak ifade edilebilmektedir. Pratikte bir karar verici, üç belirgin veriye dayanan $\tilde{a}_{nt}$ 'nin üçgensel olabilirlik dağılımını şu şekilde düzenleyebilmektedir:

(1) Mevcut değerler kümesine ait olma olasılığı çok düşük (normalize edilirse olabilirlik derecesi = 0) olan en kötümser değer (a_{nt}^p)

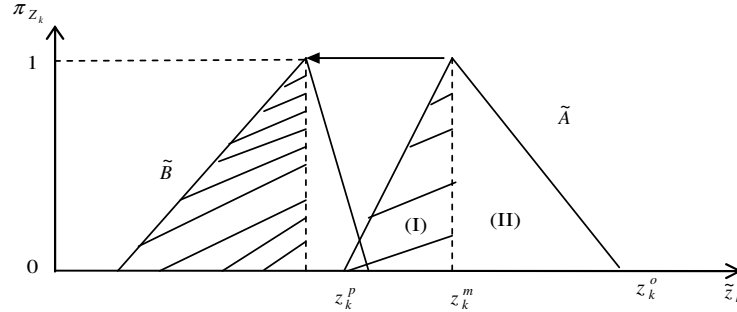
(2) Mevcut değerler kümesine tam olarak ait (normalize edilirse olabilirlik derecesi = 1) olan en olası değer (a_{nt}^m)

Bütünleşik Üretim Planlamasında Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama Modeli ve Bir Uygulama

(3) Mevcut değerler kümesine ait olma olasılığı çok düşük (normalize edilirse olabilirlik derecesi = 0) olan en iyimser değer (a_{nt}^o)

Amaç Fonksiyonlarındaki Bulanıklığın Giderilmesi

Oluşturulan ODP modelinde $\tilde{z}_k$ ($k = 1, 2, 3$) amaç fonksiyonları, üçgensel olabilirlik dağılımlarıyla belirsizdir. Geometrik olarak bu belirsiz amaçlar, üç belirgin nokta $(z_k^p, 0)$, $(z_k^m, 1)$ ve $(z_k^o, 0)$ ile tam olarak belirlenebilmektedir. Belirsiz amaçlar, bu üç noktayı sola iterek minimize edilebilmektedir. Belirgin noktaların dikey koordinatları 1 ya da 0 olarak sabitlendiği için sadece üç yatay koordinat dikkate alınmaktadır. Sonuç olarak, belirsiz amacı çözmek z_k^p , z_k^m ve z_k^o 'yu aynı anda minimize etmeyi gerektirmektedir. Lai ve Hwang (1992)'ın yaklaşımını kullanarak burada geliştirilen yaklaşım, z_k^p , z_k^m ve z_k^o 'yu aynı anda minimize etmek yerine z_k^m 'yi minimize etmekte, $(z_k^m - z_k^p)$ 'yi maksimize etmekte ve $(z_k^o - z_k^m)$ 'yi minimize etmektedir. Yani, önerilen yaklaşım aynı anda belirsiz maliyetlerin en olası değeri z_k^m 'yi minimize etmeyi, daha düşük maliyet $(z_k^m - z_k^p)$ 'yi elde etme olasılığını maksimize etmeyi ve daha yüksek maliyet $(z_k^o - z_k^m)$ 'yi elde etme riskini minimize etmeyi içermektedir. Son iki amaç, aslında belirsiz toplam maliyetlerin en olası değeri z_k^m 'den görece uzaklıklardır. Şekil 1, belirsiz amaç fonksiyonunu minimize etme stratejisini göstermektedir.



Şekil 1: Maliyetleri Minimize Etme Stratejisi

Şekil 1’de gösterildiği gibi $\tilde{B}$ olabilirlik dağılımı, $\tilde{A}$ olabilirlik dağılımına tercih edilmektedir. Bu nedenle, Eşitlik (1)’deki belirsiz toplam maliyet amaç fonksiyonu için üç yeni kesin amaç fonksiyonu şu şekilde gösterilmektedir:

$$\begin{aligned} \text{Min} z_{11} &= z_1^m \\ &= \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T [a_{nt}^m Q_{nt}(1+i_a)^t + b_{nt}^m O_{nt}(1+i_b)^t + c_{nt}^m S_{nt}(1+i_c)^t + d_{nt}^m I_{nt}(1+i_d)^t + e_{nt}^m B_{nt}(1+i_e)^t] \\ &\quad + \sum_{t=1}^T (k_t^m H_t + m_t^m F_t)(1+i_f)^t \end{aligned} \quad (17a)$$

$$\begin{aligned} \text{Max} z_{12} &= (z_1^m - z_1^p) \\ &= \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T [(a_{nt}^m - a_{nt}^p) Q_{nt}(1+i_a)^t + (b_{nt}^m - b_{nt}^p) O_{nt}(1+i_b)^t + (c_{nt}^m - c_{nt}^p) S_{nt}(1+i_c)^t + (d_{nt}^m - d_{nt}^p) I_{nt}(1+i_d)^t \\ &\quad + (e_{nt}^m - e_{nt}^p) B_{nt}(1+i_e)^t] + \sum_{t=1}^T ((k_t^m - k_t^p) H_t + (m_t^m - m_t^p) F_t)(1+i_f)^t \end{aligned} \quad (17b)$$

$$\begin{aligned} \text{Min} z_{13} &= (z_1^o - z_1^m) \\ &= \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T [(a_{nt}^o - a_{nt}^m) Q_{nt}(1+i_a)^t + (b_{nt}^o - b_{nt}^m) O_{nt}(1+i_b)^t + (c_{nt}^o - c_{nt}^m) S_{nt}(1+i_c)^t + (d_{nt}^o - d_{nt}^m) I_{nt}(1+i_d)^t \\ &\quad + (e_{nt}^o - e_{nt}^m) B_{nt}(1+i_e)^t] + \sum_{t=1}^T ((k_t^o - k_t^m) H_t + (m_t^o - m_t^m) F_t)(1+i_f)^t \end{aligned} \quad (17c)$$

Eşitlik (17a), aynı anda maliyetlerin en olası değerini minimize etmeye, Eşitlik (17b), daha düşük maliyet elde etme olabilirliğini (Şekil 1’de bölge I’i) maksimize etmeye ve Eşitlik (17c), daha yüksek toplam maliyet elde etme riskini (Şekil 1’de bölge II’yi) minimize etmeye denktir. Eşitlik (2) ve (3)’teki ikinci ve üçüncü belirsiz amaç fonksiyonlarının her biri için üç yeni kesin amaç fonksiyonu da aynı birinci amaç fonksiyonu için gösterildiği gibidir.

Kısıtlardaki Bulanıklığın Giderilmesi

ODP modelinde Eşitlik (4)’te mevcut kaynak yani kısıtlayıcıların sağ taraf sabit değeri ($\tilde{D}_{nt}$), belirsiz olup en çok ve en az olası değerler ile üçgensel olabilirlik dağılımına sahiptir. Gerçek BÜP karar problemlerinde bir karar verici deneyim ve bilgilerine dayanarak belirsiz talep için olası bir

Bütünleşik Üretim Planlamasında Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama Modeli ve Bir Uygulama

aralık tahmin edebilmektedir. Temel sorun, belirsiz talep için kesin temsili bir sayı elde etmektir. Bu çalışmada, $\tilde{D}_{nt}$ 'yi kesin bir sayıya çevirmek için Lai ve Hwang (1992) tarafından önerilen ağırlıklı ortalama yöntemi kullanılmıştır. Minimum kabul edilebilir olabilirlik düzeyi (β) verildiğinde, Eşitlik (4)'teki bulanık eşitlik kısıtları kesin eşitlik kısıtları olarak şu şekilde ifade edilebilir:

$$I_{nt-1} - B_{nt-1} + Q_{nt} + O_{nt} + S_{nt} - I_{nt} + B_{nt} = w_1 D_{nt,\beta}^p + w_2 D_{nt,\beta}^m + w_3 D_{nt,\beta}^o \quad \forall n, \forall t \quad (18)$$

Eşitlik (18)'de $w_1, w_2, w_3 \geq 0$ ve $w_1 + w_2 + w_3 = 1$ olmak üzere sırasıyla belirsiz talep miktarlarının en kötümser, en olası ve en iyimser değerlerinin ağırlıklarını ifade etmektedir. w_1, w_2 ve w_3 ağırlıkları, karar vericinin deneyim ve bilgisine bağlı olarak subjektif olarak belirlenebilmektedir. Aynı şekilde, Eşitlik (8)'de teknoloji katsayısı ($\tilde{l}_{nt}$) belirsizdir. β verildiğinde, Eşitlik (8)'deki bulanık eşitsizlik kısıtları, kesin eşitsizlik kısıtları olarak Eşitlik (19)'daki gibi gösterilebilir:

$$\sum_{n=1}^N w_1 l_{nt-1,\beta}^p + w_2 l_{nt-1,\beta}^m + w_3 l_{nt-1,\beta}^o (Q_{nt-1} + O_{nt-1}) + H_t - F_t - \sum_{n=1}^N w_1 l_{nt,\beta}^p + w_2 l_{nt,\beta}^m + w_3 l_{nt,\beta}^o (Q_{nt} + O_{nt}) = 0 \quad \forall t \quad (19)$$

Ayrıca, belirsiz teknoloji katsayısı ($\tilde{l}_{nt}$) ve mevcut kaynaklar ($\tilde{W}_{m \max}$ ve $\tilde{W}_{tf \max}$) ile Eşitlik (9) ve (10)'u çözmek için burada önerilen yaklaşım, bulanık sıralama kavramını kullanarak belirsiz eşitsizlik kısıtlarını kesin olana çevirmektir. Sonuç olarak Eşitlik (9) ve (10)'daki bulanık eşitsizlik kısıtları, kesin eşitsizlik kısıtları olarak sırasıyla Eşitlik (20) ve (21)'deki gibi ifade edilebilir:

$$\sum_{n=1}^N l_{nt,\beta}^p (Q_{nt} + O_{nt}) \leq W_{m \max,\beta}^p \quad \forall t \quad (20a) \quad \sum_{n=1}^N l_{nt,\beta}^p (Q_{nt} + O_{nt}) \leq W_{tf \max,\beta}^p \quad \forall t \quad (21a)$$

$$\sum_{n=1}^N l_{nt,\beta}^m (Q_{nt} + O_{nt}) \leq W_{m \max,\beta}^m \quad \forall t \quad (20b) \quad \sum_{n=1}^N l_{nt,\beta}^m (Q_{nt} + O_{nt}) \leq W_{tf \max,\beta}^m \quad \forall t \quad (21b)$$

$$\sum_{n=1}^N l_{nt,\beta}^o (Q_{nt} + O_{nt}) \leq W_{m \max,\beta}^o \quad \forall t \quad (20c) \quad \sum_{n=1}^N l_{nt,\beta}^o (Q_{nt} + O_{nt}) \leq W_{tf \max,\beta}^o$$

$$\forall t \quad (21c)$$

Aynı şekilde belirsiz teknoloji katsayısı ($\tilde{r}_{nt}$) ve mevcut kaynaklar ($\tilde{M}_{m \max}$ ve $\tilde{M}_{tf \max}$) ile Eşitlik (13) ve (14)'teki bulanık eşitsizlik kısıtları da kesin eşitsizlik kısıtları olarak sırasıyla Eşitlik (22) ve (23)'teki gibi ifade edilebilir:

$$\sum_{n=1}^N r_{nt,\beta}^p (Q_{nt} + O_{nt}) \leq M_{m \max,\beta}^p \quad \forall t \quad (22a)$$

$$\sum_{n=1}^N r_{nt,\beta}^p (Q_{nt} + O_{nt}) \leq M_{tf \max,\beta}^p \quad \forall t \quad (23a)$$

$$\sum_{n=1}^N r_{nt,\beta}^m (Q_{nt} + O_{nt}) \leq M_{m \max,\beta}^m \quad \forall t \quad (22b) \quad \sum_{n=1}^N r_{nt,\beta}^m (Q_{nt} + O_{nt}) \leq M_{tf \max,\beta}^m$$

$$\forall t \quad (23b)$$

$$\sum_{n=1}^N r_{nt,\beta}^o (Q_{nt} + O_{nt}) \leq M_{m \max,\beta}^o \quad \forall t \quad (22c) \quad \sum_{n=1}^N r_{nt,\beta}^o (Q_{nt} + O_{nt}) \leq M_{tf \max,\beta}^o$$

$$\forall t \quad (23c)$$

Amaç Fonksiyonlarına İlişkin Üyelik Fonksiyonlarının Oluşturulması

Amaç fonksiyonlarına ilişkin üyelik fonksiyonlarını oluşturmak için her bir bulanık amaç fonksiyonunun pozitif ideal çözüm (*PIS*) ve negatif ideal çözüm (*NIS*) değerleri belirlenmelidir. Birinci amaç fonksiyonu için *PIS* ve *NIS* değerleri Eşitlik (24)'teki gibi belirtilebilir:

$$Z_{11}^{PIS} = \min z_1^m \quad Z_{11}^{NIS} = \max z_1^m \quad (24a)$$

$$Z_{12}^{PIS} = \max (z_1^m - z_1^p) \quad Z_{12}^{NIS} = \min (z_1^m - z_1^p) \quad (24b)$$

$$Z_{13}^{PIS} = \min (z_1^o - z_1^m) \quad Z_{13}^{NIS} = \max (z_1^o - z_1^m) \quad (24c)$$

Bütünleşik Üretim Planlamasında Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama Modeli ve Bir Uygulama

İkinci ve üçüncü amaç fonksiyonu için *PIS* ve *NIS* de aynı şekilde belirlenir. Birinci amaç fonksiyonu için uygun doğrusal üyelik fonksiyonu Eşitlik (25)'teki gibidir:

$$\mu_{11}(Z_{11}(x)) = \begin{cases} 1 & ; \text{eğer } Z_{11}(x) < Z_{11}^{PIS} \text{ ise} \\ \frac{Z_{11}^{NIS} - Z_{11}(x)}{Z_{11}^{NIS} - Z_{11}^{PIS}} & ; \text{eğer } Z_{11}^{PIS} \leq Z_{11}(x) \leq Z_{11}^{NIS} \text{ ise (25a)} \\ 0 & ; \text{eğer } Z_{11}(x) > Z_{11}^{NIS} \text{ ise} \end{cases}$$

$$\mu_{12}(Z_{12}(x)) = \begin{cases} 1 & ; \text{eğer } Z_{12}(x) > Z_{12}^{PIS} \text{ ise} \\ \frac{Z_{12}(x) - Z_{12}^{NIS}}{Z_{12}^{PIS} - Z_{12}^{NIS}} & ; \text{eğer } Z_{12}^{NIS} \leq Z_{12}(x) \leq Z_{12}^{PIS} \text{ ise (25b)} \\ 0 & ; \text{eğer } Z_{12}(x) < Z_{12}^{NIS} \text{ ise} \end{cases}$$

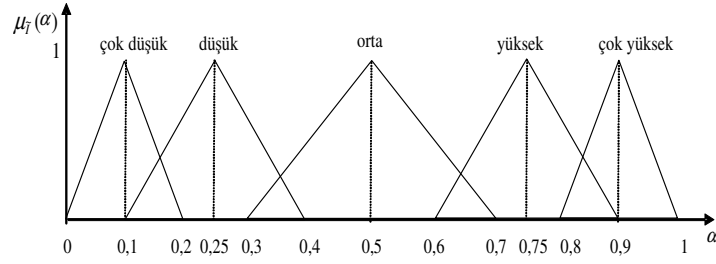
$$\mu_{13}(Z_{13}(x)) = \begin{cases} 1 & ; \text{eğer } Z_{13}(x) < Z_{13}^{PIS} \text{ ise} \\ \frac{Z_{13}^{NIS} - Z_{13}(x)}{Z_{13}^{NIS} - Z_{13}^{PIS}} & ; \text{eğer } Z_{13}^{PIS} \leq Z_{13}(x) \leq Z_{13}^{NIS} \text{ ise (25c)} \\ 0 & ; \text{eğer } Z_{13}(x) > Z_{13}^{NIS} \text{ ise} \end{cases}$$

İkinci ve üçüncü amaç fonksiyonu için uygun üyelik fonksiyonları da birinci amaç fonksiyonu için gösterildiği gibidir.

Amaçlara İlişkin Hedeflerin Başarım Derecelerinin ve Öncelik İlişkilerinin Belirlenmesi

Oluşturulan modelde belirlenen amaçlara ilişkin hedeflerin farklı önceliklere sahip olduğu durum da incelenmiş ve tüm bulanık hedeflerin başarım derecelerinin toplamını maksimize etmek için Chen ve Tsai (2001)'nin yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşım, karar verici tarafından daha önemli olarak belirlenen hedeflerin daha yüksek başarım derecelerine sahip olmasını sağlamıştır. Yani hedef ne kadar önemli ise istenen başarım derecesi de o kadar yüksek olmalıdır. Bunu yapmak için her bir bulanık hedefin istenen başarım dereceleri bulunmaktadır. Daha

sonra elde edilen bu değerlere göre hedeflerin öncelikleri belirlenerek göreceli öncelik ilişkisi, modele kısıt olarak eklenmektedir.



Şekil 2: Farklı Amaçların Önem Derecesi ile İlgili Sözel Terimler için Üyelik Fonksiyonları

Bulanık ortamda bir hedef için istenen başarımlı derecesini belirlemek karar verici için zor bir iş olabilmektedir. Bu çalışmada istenen başarımlı derecelerini tam olarak değerlendirmek için "çok düşük", "düşük", "orta", "yüksek" ve "çok yüksek" sözel terimleri kullanılmış ve böylece her bir bulanık amaç için önem derecesi sözel olarak belirlenmiştir. Şekil 2, bu sözel terimler için $\mu_T(\alpha)$ 'yı göstermektedir. $\mu_T(\alpha)$, $\mu_T(\alpha) \in [0,1]$ olmak üzere farklı hedeflerin önemi hakkında her bir sözel terimin üyelik fonksiyonunu göstermek için belirlenmiştir. Chen ve Hwang (1992) tarafından önerilen bu sözel değerlere uygun üçgensel bulanık sayılar Şekil 2'deki gibidir.

Şekil 2'de $0 \leq \alpha_{\min} \leq \alpha_{\max} \leq 1$ olmak üzere α , $[\alpha_{\min}, \alpha_{\max}]$ aralığında bir başarımlı derecesi alan değişkeni ifade etmektedir. Bulanık hedeflerin önemini $[0, 1]$ aralığında temsil eden bir sayı elde etmek için bulanık sayıları sıralama yöntemlerinden biri kullanılabilir (Chen ve Tsai, 2001). Bu çalışmada, bulanık sayıları sıralamak için Liou ve Wang (1992)'ın yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşımda $\alpha \in [0,1]$ olarak verildiğinde üçgensel bulanık sayı $\tilde{A} = (a, b, c)$ 'nin toplam integral değeri aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned} I_T^\alpha(\tilde{A}) &= \alpha I_R(\tilde{A}) + (1 - \alpha) I_L(\tilde{A}) \\ &= \alpha \int_0^1 g_A^R(y) dy + (1 - \alpha) \int_0^1 g_A^L(y) dy \end{aligned}$$

Bütünleşik Üretim Planlamasında Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama Modeli ve Bir Uygulama

$$\begin{aligned}
 &= \alpha \int_0^1 [c + (b - c)y] dy + (1 - \alpha) \int_0^1 [a + (b - a)y] dy \\
 &= \frac{1}{2} [\alpha.c + b + (1 - \alpha).a] \quad (26)
 \end{aligned}$$

Eşitlik (26)'da $I_\alpha^T(\tilde{A})$, $\tilde{A}$ üçgensel bulanık sayının toplam integral değeridir. $g_{\tilde{A}}^R(y)$, $\tilde{A}$ bulanık sayısının sağ üyelik fonksiyonu $R(x)$ 'in ters fonksiyonudur; $g_{\tilde{A}}^L(y)$, $\tilde{A}$ bulanık sayısının sol üyelik fonksiyonu $L(x)$ 'in ters fonksiyonudur; $I_R(\tilde{A})$, $\tilde{A}$ bulanık sayısının sağ integral değeridir; $I_L(\tilde{A})$, $\tilde{A}$ bulanık sayısının sol integral değeridir ve α , bir karar vericinin iyimserlik derecesini sunan iyimserlik indeksidir. α yükseldikçe iyimserlik derecesi yükselmektedir. Bu çalışmada $\alpha_k = I_T^\alpha(\tilde{A}_k)$, k bulanık hedefinin istenen başarımlı derecesi olarak değerlendirilmiştir. $\tilde{A}_k$, k bulanık hedefinin önemini gösteren bir bulanık sayıdır.

Eşdeğer DP Modeli ve Çözümü

BÜP karar problemini çözmek için oluşturulan çok amaçlı ODP modeli, Bellman ve Zadeh (1970)'in bulanık karar verme ve Zimmermann (1978)'in bulanık programlama yöntemi kullanılarak bu modele eşdeğer bir tek amaçlı DP modeli olarak şu şekilde formüle edilebilir:

Amaç fonksiyonu

$\max \lambda$

Kısıtlar

$$\lambda \leq \mu_{1j}(Z_{1j}(x)), \quad j = 1, 2, 3$$

$$\lambda \leq \mu_{2j}(Z_{2j}(x)), \quad j = 1, 2, 3$$

$$\lambda \leq \mu_{3j}(Z_{3j}(x)), \quad j = 1, 2, 3$$

$$I_{nt-1} - B_{nt-1} + Q_{nt} + O_{nt} + S_{nt} - I_{nt} + B_{nt} = w_1 D_{nt,\beta}^p + w_2 D_{nt,\beta}^m + w_3 D_{nt,\beta}^o$$

$$\forall n, \forall t$$

$$S_{nt} \leq S_{nt \max}$$

$$I_{nt} \geq I_{nt \min}$$

$$B_{nt} \leq B_{nt \max}$$

$$\forall n, \forall t$$

$$\begin{aligned}
 & \sum_{n=1}^N w_1 l_{nt-1,\beta}^p + w_2 l_{nt-1,\beta}^m + w_3 l_{nt-1,\beta}^o (Q_{nt-1} + O_{nt-1}) + H_t - F_t - \\
 & \sum_{n=1}^N w_1 l_{nt,\beta}^p + w_2 l_{nt,\beta}^m + w_3 l_{nt,\beta}^o (Q_{nt} + O_{nt}) = 0 \quad \forall t \\
 & \sum_{n=1}^N l_{nt,\beta}^p (Q_{nt} + O_{nt}) \leq W_{m \max,\beta}^p \quad \forall t \quad \sum_{n=1}^N l_{nt,\beta}^p (Q_{nt} + O_{nt}) \leq W_{tf \max,\beta}^p \\
 & \quad \forall t \\
 & \sum_{n=1}^N l_{nt,\beta}^m (Q_{nt} + O_{nt}) \leq W_{m \max,\beta}^m \quad \forall t \quad \sum_{n=1}^N l_{nt,\beta}^m (Q_{nt} + O_{nt}) \leq W_{tf \max,\beta}^m \\
 & \quad \forall t \\
 & \sum_{n=1}^N l_{nt,\beta}^o (Q_{nt} + O_{nt}) \leq W_{m \max,\beta}^o \quad \forall t \quad \sum_{n=1}^N l_{nt,\beta}^o (Q_{nt} + O_{nt}) \leq W_{tf \max,\beta}^o \\
 & \quad \forall t \\
 & H_t \leq H_{t \max} \quad \forall t \quad F_t \leq F_{t \max} \quad \forall t \\
 & \sum_{n=1}^N r_{nt,\beta}^p (Q_{nt} + O_{nt}) \leq M_{m \max,\beta}^p \quad \forall t \quad \sum_{n=1}^N r_{nt,\beta}^p (Q_{nt} + O_{nt}) \leq M_{tf \max,\beta}^p \\
 & \quad \forall t \\
 & \sum_{n=1}^N r_{nt,\beta}^m (Q_{nt} + O_{nt}) \leq M_{m \max,\beta}^m \quad \forall t \quad \sum_{n=1}^N r_{nt,\beta}^m (Q_{nt} + O_{nt}) \leq M_{tf \max,\beta}^m \\
 & \quad \forall t \\
 & \sum_{n=1}^N r_{nt,\beta}^o (Q_{nt} + O_{nt}) \leq M_{m \max,\beta}^o \quad \forall t \quad \sum_{n=1}^N r_{nt,\beta}^o (Q_{nt} + O_{nt}) \leq M_{tf \max,\beta}^o \\
 & \quad \forall t \\
 & \sum_{n=1}^N v_{nt} I_{nt} \leq V_{t \max} \quad \forall t \\
 & \lambda \in [0,1] \text{ ve } Q_{nt}, O_{nt}, S_{nt}, I_{nt}, B_{nt}, H_t, F_t, \lambda \geq 0
 \end{aligned}$$

Bu çalışmada model, öncelikle yukarıda görüldüğü gibi bir yardımcı değişkenin (λ) modele ilave edilmesiyle, eşdeğer bir DP modeline çevrilmiş ve WinQSB paket programıyla çözülmüştür. λ , karar vericinin tüm bulanık amaçlarına ilişkin toplam memnuniyet düzeyidir. Bu durumda her bir hedefin başarımlar derecesinin eşit olduğu varsayılmıştır.

İkinci olarak model, Tiwari, Dharmar ve Rao (1986)'nın toplamsal yöntemi kullanılarak λ 'nın maksimizasyonu yerine $\mu_1 + \mu_2 + \mu_3$

Bütünleşik Üretim Planlamasında Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama Modeli ve Bir Uygulama

toplamının maksimizasyonu dikkate alınarak çözülmüştür. Bu yöntemde kural, öncelik düzeyi yüksek hedefler gerçekleştirilmedikçe düşük öncelikli hedeflerin dikkate alınmaması olarak belirlenmiştir. Bundan dolayı λ , her hedefte ayrı ayrı tanımlanmış (μ_1, μ_2, μ_3) ve bu değişkenlerin toplamını maksimum yapan çözüm kümesi elde edilmeye çalışılmıştır. Bu durumda amaç fonksiyonu ve amaç fonksiyonlarına ilişkin kısıtlar şu şekilde formüle edilmiştir:

Amaç fonksiyonu

$$\max \mu_1 + \mu_2 + \mu_3$$

Amaç fonksiyonlarına ilişkin kısıtlar

$$\mu_1 \leq \mu_{1j}(Z_{1j}(x)), \quad j = 1, 2, 3$$

$$\mu_2 \leq \mu_{2j}(Z_{2j}(x)), \quad j = 1, 2, 3$$

$$\mu_3 \leq \mu_{3j}(Z_{3j}(x)), \quad j = 1, 2, 3$$

$$\mu_k(x) \in [0,1], \quad \forall k, \quad x \geq 0 \quad k = 1, 2, 3$$

$$Q_{nt}, O_{nt}, S_{nt}, I_{nt}, B_{nt}, H_t, F_t, \mu_1, \mu_2, \mu_3 \geq 0$$

Diğer kısıtlar aynıdır. Burada μ_k , her bir bulanık hedefin başarımlı derecesidir. Böylece, her bir bulanık amaca ilişkin hedeflerin başarımlı dereceleri ayrı ayrı belirlenmiştir.

Son olarak bulanık hedeflerin her birinin istenen başarımlı derecesi ve önceliğini karar vericilerin belirlemesine izin veren Chen ve Tsai (2001)'nin yaklaşımı kullanılmıştır. Bunun için hedeflerin istenen başarımlı derecelerine göre oluşturulan göreceli öncelik ilişkisi, toplamsal yöntem ile çözülen bir önceki modele kısıt olarak ilave edilmiştir. Böylece karar verici tarafından daha önemli olan hedefin, başarımlı derecesinin de yüksek olması sağlanmıştır.

Önerilen Modelin Çözüm Algoritması

Özetlenecek olursa, BÜP karar problemini çözmek için bu çalışmada önerilen algoritma aşağıdaki gibidir:

Adım 1: Belirsiz çok amaçlı ve çok ürünlü BÜP karar problemi için ODP modeli formüle edilir.

Adım 2: Üçgensel olabilirlik dağılımları kullanılarak belirsiz katsayılar ($\tilde{a}_{nt}, \tilde{b}_{nt}, \tilde{c}_{nt}, \tilde{d}_{nt}, \tilde{e}_{nt}, \tilde{k}_t, \tilde{m}_{nt}, \tilde{l}_{nt}, \tilde{r}_{nt}$) ve sağ taraf sabit değerleri ($\tilde{D}_{nt}, \tilde{W}_t, \tilde{M}_t$) modellenir.

Adım 3: Bulanık amaç fonksiyonlarının her biri için aynı anda en olası maliyet değerini minimize etmeye, daha düşük maliyet elde etme olasılığını maksimize etmeye ve daha yüksek maliyet elde etme riskini minimize etmeye denk olan üç yeni kesin amaç fonksiyonu geliştirilir.

Adım 4: Verilen minimum kabul edilebilir olasılık düzeyi (β) ile ağırlıklı ortalama yöntemi ya da bulanık sıralama kavramı kullanılarak belirsiz kısıtlar, kesin kısıtlara dönüştürülür.

Adım 5: Her bir bulanık amaç fonksiyonu için geliştirilen üç yeni amaç fonksiyonunun doğrusal üyelik fonksiyonları belirlenir.

Adım 6: Bellman ve Zadeh (1970)'in bulanık karar verme yaklaşımı ve Zimmermann (1978)'in bulanık programlama yöntemi kullanılarak model klasik DP modeline çevrilir.

Adım 7: Model çözülerek ilk olarak karar vericinin tüm bulanık amaçlarına ilişkin toplam memnuniyet düzeyi belirlenir.

Adım 8: İkinci olarak Tiwari, Dharmar ve Rao (1986)'nın toplamsal yöntemi kullanılarak karar vericinin bulanık amaçlarına ilişkin toplam memnuniyet düzeyi her hedefte ayrı ayrı tanımlanır ve bu değişkenlerin toplamını maksimum yapan çözüm kümesi elde edilir.

Adım 9: Son olarak bulanık hedeflerin her birinin istenen başarımlı derecesi ve önceliğini karar vericilerin belirlemesine izin veren Chen ve Tsai (2001)'nin yaklaşımı kullanılarak model çözülür.

Adım 10: Karar verici başlangıç çözümünden memnun değilse model, memnun edici çözüm bulunana kadar etkileşimli olarak değiştirilir.

UYGULAMA

Çalışmanın bu bölümünde Denizli ilindeki bir tekstil işletmesinin konfeksiyon bölümü için BÜP yapılmıştır. Hem bilgi maliyetlerini azaltmak hem de daha gerçekçi çözümler elde etmek için işletmeye ait bütünleşik üretim planı bulanık ortamda karar vermeyi sağlayan modellerden biri olan ODP modeli ile çözülmüştür. Bu uygulamadaki amaç, gerçek hayatın bulanık yapısını yansıtabilen, karar verici ile etkileşimli olarak çalışan, onun tercihleri doğrultusunda amaçları önceliklendiren ve çözüm aşamasında da bu etkileşimi sürdürerek en iyi çözüme ulaşmaya çalışan bir model kullanılarak endüstriyel üretim sisteminde bütünleşik üretim planı gerçekleştirmektir.

**Bütünleşik Üretim Planlamasında Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal
Programlama Modeli ve Bir Uygulama**

Uygulamanın Yapıldığı İşletme için BÜP Probleminin Tanımlanması

Uygulamada ele alınan işletmenin konfeksiyon bölümünün 2010 yılı için yapılmak istenen BÜP'te planlama dönemi, aylık olarak düşünülmüştür. İşletme, üretmekte olduğu ürünleri iç giyim ve dış giyim olmak üzere iki gruba ayırmıştır. İşletmenin BÜP problemi; maliyetlerin, taleplerin, işçilik ve makine kullanım sürelerinin, maksimum işgücü düzeylerinin ve makine kapasitelerinin bulanık olduğu bir ortamda toplam maliyeti, toplam stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyetlerini ve işgücü düzeylerindeki değişim maliyetlerini minimize etmek olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla konfeksiyon bölümü için bulanık çok dönemli (12 ay), çok ürünlü (2 ürün grubu) ve çok amaçlı (3 amaç) bir BÜP problemi söz konusudur. Bu problem için bir önceki bölümde önerilen modeli oluşturmak için işletmeden alınan veriler Tablo 2'dedir.

Tablo 2: İlgili Maliyet Katsayı Verileri

Maliyet katsayıları	Ürün Grubu	
	İç Giyim	Dış Giyim
$\tilde{a}_{nt}$ - Normal mesai maliyeti (TL/adet)	(3,09, 3,29, 3,39)	(4,69, 4,92, 5,04)
$\tilde{b}_{nt}$ - Fazla mesai maliyeti (TL/adet)	(3,12, 3,33, 3,44)	(4,75, 4,99, 5,11)
$\tilde{c}_{nt}$ - Taşeron maliyeti (TL/adet)	(3,04, 3,24, 3,34)	(4,59, 4,79, 4,89)
$\tilde{d}_{nt}$ - Stok bulundurma maliyeti (TL/adet)	(0,035, 0,040, 0,045)	(0,057, 0,063, 0,069)
$\tilde{e}_{nt}$ - Ertelenen sipariş maliyeti (TL/adet)	(0,95, 1,24, 1,39)	(1,42, 1,86, 2,08)
$\tilde{k}_t$ - İşe alma maliyeti (TL/işçi-saat)	(1,94, 2,13, 2,20)	
$\tilde{m}_t$ - İşten çıkarma maliyeti (TL/işçi-saat)	(5,62, 5,91, 6,20)	

Maliyetler tam olarak ifade edilemediği için işletmenin planlama müdürü, geçmiş verilere ve tecrübelerine dayanarak bu değerleri en iyimser, en olası ve en kötümser olmak üzere yaklaşık olarak vermiştir. Tablo 2, işletmeden alınan ilgili maliyet katsayı verilerini göstermektedir.

Ayşegül Tuş Işık, Muhsin Özdemir

Görüldüğü gibi bu veriler üçgensel olabilirlik dağılımlarıyla belirsiz sayılardır. Kurulan modelde maliyetler için paranın zaman değerinin de dikkate alınması gerektiği düşünülmüştür. Bu nedenle T.C. Merkez Bankası verilerine bakılarak 2010 yılı için beklenen enflasyon oranı yıl sonu hedefinin % 6,5 olduğu görülmüştür. Dolayısıyla üretim maliyet sınıflarının her biri için aylık beklenen eskalasyon faktörü (i), yaklaşık 0,005 olarak alınmıştır.

Tablo 3: Tahmini Talep Verileri

Dönem	Ürün Grubu	
	İç Giyim ($\tilde{D}_{1t}$)	Dış Giyim ($\tilde{D}_{2t}$)
<i>Ocak</i>	(304.768, 312.788, 336.849)	(991.552, 1.069.833, 1.095.926)
<i>Şubat</i>	(528.960, 542.880, 584.640)	(775.640, 836.875, 857.287)
<i>Mart</i>	(538.434, 552.604, 595.112)	(1.336.073, 1.441.552, 1.476.712)
<i>Nisan</i>	(566.870, 581.788, 626.542)	(826.667, 891.931, 913.685)
<i>Mayıs</i>	(758.460, 778.420, 838.298)	(1.104.494, 1.191.691, 1.220.757)
<i>Haziran</i>	(376.208, 386.108, 415.808)	(702.822, 758.309, 776.804)
<i>Temmuz</i>	(604.754, 620.669, 668.412)	(760.386, 820.416, 840.426)
<i>Ağustos</i>	(253.524, 260.196, 280.210)	(1.350.673, 1.457.305, 1.492.849)
<i>Eylül</i>	(296.500, 304.303, 327.710)	(1.351.689, 1.458.402, 1.493.972)
<i>Ekim</i>	(488.751, 501.613, 540.198)	(1.390.440, 1.500.212, 1.536.802)
<i>Kasım</i>	(498.525, 511.644, 551.001)	(1.487.993, 1.605.466, 1.644.624)
<i>Aralık</i>	(294.246, 301.990, 325.219)	(651.570, 703.010, 720.156)

İşletmenin planlama müdürü, geçmiş verilere ve tecrübelerine dayanarak 2010 yılı iç ve dış giyim ürün gruplarının talep beklentileri için de en kötümser, en olası ve en iyimser değerleri vermiştir. Tablo 3, işletmeden alınan tahmini talep verilerini göstermektedir.

2010 yılı Ocak ayı başında eldeki başlangıç stok miktarı, iç giyim için 125.000, dış giyim için 183.000 adet, 2010 yılı Aralık ayı sonu bitiş stok miktarı ise iç giyim için 135.000, dış giyim için 223.000 adet olarak belirlenmiştir. Bir sonraki aya ertelenen maksimum sipariş miktarı, iç giyim için aylık 80.000, dış giyim için ise 200.000 adet olarak verilmiştir. Siparişlerin ertelenme olasılığını azaltmak için işletmenin belirlemiş olduğu minimum stok miktarı, iç giyim için aylık 120.000, dış giyim için ise

Bütünleşik Üretim Planlamasında Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama Modeli ve Bir Uygulama

175.000 adettir. Maksimum taşeron miktarı ise iç giyim için aylık 300.000, dış giyim için ise 980.000 adet olarak verilmiştir.

İşletmenin 2010 yılı başlangıç işgücü düzeyi 131.580 işçi-saat olarak alınmıştır. Bir işçinin iç giyim ürün grubu için her ay adet başına işçilik süresi, (0,10, 0,11, 0,12) işçi-saat, dış giyim ürün grubu için ise (0,23, 0,25, 0,27) işçi-saat olarak verilmiştir. Bir aylık maksimum normal mesai işçilik düzeyi (99.000, 108.900, 118.800) işçi-saat ve bir aylık maksimum fazla mesai işçilik düzeyi ise (30.000, 33.000, 36.000) işçi-saat olarak verilmiştir. Aylık maksimum işe alınan işçi düzeyi 1.548 işçi-saat ve işten çıkarılan işçi düzeyi 774 işçi-saattir.

Bir makinenin iç giyim ürün grubu için adet başına makine kullanım süresi, (0,030, 0,033, 0,036) makine-saat, dış giyim ürün grubu için (0,045, 0,050, 0,055) makine-saat olarak verilmiştir. Bir aylık maksimum normal mesai makine kullanım kapasitesi (39.600, 49.500, 59.400) makine-saat ve bir aylık maksimum fazla mesai makine kullanım kapasitesi ise (12.000, 15.000, 18.000) makine-saat olarak verilmiştir.

İç giyim ürün grubu için adet başına depo alanı 0,0024 m², dış giyim ürün grubu için ise 0,004 m²'dir. Maksimum depo alanı ise 2.000 m²'dir.

Çözüm Algoritması

İşletme için tanımlanan bulanık çok amaçlı BÜP probleminin çözümü için öncelikle Eşitlik (1)-(16) kullanılarak orijinal ODP modeli formüle edilmiştir. İkinci olarak Eşitlik (17) kullanılarak her bir belirsiz amaç için üç yeni kesin amaç fonksiyonu geliştirilmiştir. Modelde belirsiz veriler için temsili bir sayı elde etmede $w_2 = 4/6$ ve $w_1 = w_3 = 1/6$ olduğunu varsayan Lai ve Hwang (1992) yaklaşımıyla önerilen en olası değerler kavramı uygulanmıştır. Burada en olası değerleri kullanma sebebi, en olası değerlerin genellikle en önemli olması ve bu nedenle daha fazla ağırlık atanması gerektiğidir. Minimum kabul edilebilir olabilirlik düzeyi (β) ise 0,5 olarak alınmıştır. Modelde amaç fonksiyonları ve kısıtlardaki bulanıklık giderildikten sonra amaç fonksiyonlarına ilişkin üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur. Üç amaç fonksiyonunun $\beta = 0,5$ 'te *PIS* ve *NIS* değerleri sırasıyla şu şekildedir:

1. amaç fonksiyonu için:

$$Z_{11}^{PIS} = \text{Min } z_1^m = 88.136.860 \quad Z_{11}^{NIS} = \text{Max } z_1^m = 94.283.660 \quad (27a)$$

$$Z_{12}^{PIS} = \text{Max } (z_1^m - z_1^p) = 5.620.147 \quad Z_{12}^{NIS} = \text{Min } (z_1^m - z_1^p) = 4.181.120 \quad (27b)$$

$$Z_{13}^{PIS} = \text{Min } (z_1^o - z_1^m) = 2.120.759 \quad Z_{13}^{NIS} = \text{Max } (z_1^o - z_1^m) = 2.875.075 \quad (27c)$$

2. amaç fonksiyonu için:

$$Z_{21}^{PIS} = \text{Min } z_2^m = 244.764,1 \quad Z_{21}^{NIS} = \text{Max } z_2^m = 6.129.340 \quad (28a)$$

$$Z_{22}^{PIS} = \text{Max } (z_2^m - z_2^p) = 1.397.733 \quad Z_{22}^{NIS} = \text{Min } (z_2^m - z_2^p) = 25.867,2 \quad (28b)$$

$$Z_{23}^{PIS} = \text{Min } (z_2^o - z_2^m) = 25.867,2 \quad Z_{23}^{NIS} = \text{Max } (z_2^o - z_2^m) = 725.603,2 \quad (28c)$$

3. amaç fonksiyonu için:

$$Z_{31}^{PIS} = \text{Min } z_3^m = 13.860,71 \quad Z_{31}^{NIS} = \text{Max } z_3^m = 84.230,4 \quad (29a)$$

$$Z_{32}^{PIS} = \text{Max } (z_3^m - z_3^p) = 4.022,323 \quad Z_{32}^{NIS} = \text{Min } (z_3^m - z_3^p) = 0 \quad (29b)$$

$$Z_{33}^{PIS} = \text{Min } (z_3^o - z_3^m) = 0 \quad Z_{33}^{NIS} = \text{Max } (z_3^o - z_3^m) = 2.509,799 \quad (29c)$$

Eşitlik (27), (28) ve (29)'daki değerleri kullanarak her bir amaç fonksiyonu için uygun doğrusal üyelik fonksiyonları belirlenmiştir. Yapılan çalışmada belirlenen her bir bulanık amaca ilişkin hedeflerin farklı önceliklere sahip olduğu durum da incelenmiştir. Her bir hedefin istenen başarımlar derecelerini ve öncelik ilişkilerini belirlemek için işletmedeki dört karar vericiye bulanık amaçların önem dereceleri sorulmuştur. Karar vericiler; planlama müdürü, pazarlama müdürü, insan kaynakları müdürü ve satın alma müdürüdür. Karar vericilerden alınan bilgiler Tablo 4'teki gibidir.

Tablo 4'teki dört karar vericiye ait sözel değerlendirmeler, bir önceki bölümde gösterilen Chen ve Hwang (1992)'ın önerdiği üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Farklı bulanık amaçlara ilişkin hedeflerin başarımlar derecesini tam olarak belirlerken bulanık sayıları sıralamak için Liou ve Wang (1992)'ın yaklaşımı kullanılmıştır. $\alpha = 0,5$ olarak alınmıştır. Her bir karar vericinin ağırlıkları ise eşit olarak alınmıştır. Tablo 5, bulanık sayıların toplam integral değerlerini ve bulanık amaçlara ilişkin hedeflerin başarımlar derecelerini göstermektedir.

**Bütünleşik Üretim Planlamasında Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal
Programlama Modeli ve Bir Uygulama**

**Tablo 4: Karar Vericiler Tarafından Bulanık Amaçlara Verilen
Önem Dereceleri**

<i>Amaçlar</i>	<i>Karar Vericiler (KV)</i>			
	<i>KV₁</i>	<i>KV₂</i>	<i>KV₃</i>	<i>KV₄</i>
<i>Amaç 1</i>	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY
<i>Amaç 2</i>	Y	O	ÇY	O
<i>Amaç 3</i>	Y	Y	Y	Y

ÇY: çok yüksek; Y: yüksek; O: orta

**Tablo 5: Bulanık Sayıların Toplam İntegral Değerleri ve Bulanık
Amaçlara İlişkin Hedeflerin Başarım Dereceleri**

<i>Amaçlar</i>	<i>Karar Vericiler (KV)</i>				<i>Ortalama</i>
	<i>KV₁</i>	<i>KV₂</i>	<i>KV₃</i>	<i>KV₄</i>	
<i>Amaç 1</i>	0,9	0,9	0,9	0,9	0,90
<i>Amaç 2</i>	0,75	0,5	0,9	0,5	0,66
<i>Amaç 3</i>	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75

Tablo 5'teki değerlere bakıldığında bulanık amaçlara ilişkin hedeflerin istenen başarım derecelerine göre öncelik ilişkisi, $\mu_1 > \mu_3 > \mu_2$ şeklindedir.

Tüm bulanık amaçlara ilişkin memnuniyet düzeyini belirlemek için oluşturulan bulanık çok amaçlı BÜP modeli, yardımcı değişken λ 'nın da modele dâhil edilmesi ve tüm bulanık kümeleri birleştirmek için minimum operatörünün kullanılmasıyla, eşdeğer bir klasik DP modeline dönüştürülmüştür. Bu durumda modeldeki amaç fonksiyonu ve amaç fonksiyonları ile ilgili kısıtlar şu şekildedir:

max λ

1. amaç fonksiyonu ile ilgili kısıtlar $\lambda \leq \frac{94.283.660 - Z_{11}(x)}{94.283.660 - 8.136.860}$ $\lambda \leq \frac{Z_{12}(x) - 4.181.120}{5.620.147 - 4.181.120}$ $\lambda \leq \frac{2.875.075 - Z_{13}(x)}{2.875.075 - 2.120.759}$	2. amaç fonksiyonu ile ilgili kısıtlar $\lambda \leq \frac{6.129.340 - Z_{21}(x)}{6.129.340 - 244.764,1}$ $\lambda \leq \frac{Z_{22}(x) - 25.867,2}{1.397.733 - 25.867,2}$ $\lambda \leq \frac{725.603,2 - Z_{23}(x)}{725.603,2 - 25.867,2}$
3. amaç fonksiyonu ile ilgili kısıtlar $\lambda \leq \frac{84.230,4 - Z_{31}(x)}{84.230,4 - 13.860,71}$ $\lambda \leq \frac{Z_{32}(x) - 0}{4.022,323 - 0}$ $\lambda \leq \frac{2.509,799 - Z_{33}(x)}{2.509,799 - 0}$	

Bu durumda toplam maliyet (86.282.973, 91.194.230, 93.687.933) TL, toplam stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyeti (2.456.327, 3.171.705, 3.545.515,5) TL ve işgücü düzeylerindeki değişim maliyeti ise (24.972,314, 27.301,02, 28.241,3006) TL olarak elde edilmiştir. Bu sonuç, karar vericinin tüm bulanık amaç fonksiyonları için isteklerini % 48,62 düzeyinde karşılamaktadır.

Her bir bulanık amaca ilişkin memnuniyet düzeylerinin farklı olması durumunda Tiwari, Dharmar ve Rao (1986)'nın önerdiği toplamsal yöntem kullanılarak karar vericinin bulanık amaçlarına ilişkin toplam memnuniyet düzeyi her hedefte ayrı ayrı tanımlanmış ve bu değişkenlerin toplamını maksimum yapan çözüm kümesi elde edilmeye çalışılmıştır. Bu durumda modeldeki amaç fonksiyonu ve amaç fonksiyonlarına ilişkin kısıtlar şu şekilde formüle edilmiştir:

Bütünleşik Üretim Planlamasında Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama Modeli ve Bir Uygulama

$$\max \mu_1 + \mu_2 + \mu_3$$

<i>1. amaç fonksiyonu ile ilgili kısıtlar</i> $\mu_1 \leq \frac{94.283.660 - Z_{11}(x)}{94.283.660 - 8.136.860}$ $\mu_1 \leq \frac{Z_{12}(x) - 4.181.120}{5.620.147 - 4.181.120}$ $\mu_1 \leq \frac{2.875.075 - Z_{13}(x)}{2.875.075 - 2.120.759}$	<i>2. amaç fonksiyonu ile ilgili kısıtlar</i> $\mu_2 \leq \frac{6.129.340 - Z_{21}(x)}{6.129.340 - 244.764,1}$ $\mu_2 \leq \frac{Z_{22}(x) - 25.867,2}{1.397.733 - 25.867,2}$ $\mu_2 \leq \frac{725.603,2 - Z_{23}(x)}{725.603,2 - 25.867,2}$
<i>3. amaç fonksiyonu ile ilgili kısıtlar</i> $\mu_3 \leq \frac{84.230,4 - Z_{31}(x)}{84.230,4 - 13.860,71}$ $\mu_3 \leq \frac{Z_{32}(x) - 0}{4.022,323 - 0}$ $\mu_3 \leq \frac{2.509,799 - Z_{33}(x)}{2.509,799 - 0}$	

Bu durumda toplam maliyet (86.249.647, 91.161.660, 93.653.612) TL, toplam stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyeti (2.455.717,9, 3.171.211, 3.543.607,3) TL ve işgücü düzeylerindeki değişim maliyeti ise (25.824,798, 28.353,97, 29.285,6479) TL olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar, karar vericinin birinci amaç fonksiyonu için isteklerini % 52,02, ikinci amaç fonksiyonu için isteklerini % 51,51 ve üçüncü amaç fonksiyonu için isteklerini % 62,87 düzeyinde karşılamaktadır.

Yapılan çalışmada karar vericilerin tüm bulanık amaçlara ilişkin verdikleri öncelik farklıdır. Bu nedenle bu bölümde Chen ve Tsai (2001)'nin önerdiği gibi bir önceki modele öncelik ilişkisi ile ilgili kısıt ilave edilerek tüm bulanık amaçların başarımlarının toplamı maksimize edilmeye çalışılmıştır. Bir önceki modelin sonuçlarına bakıldığında $\mu_3 > \mu_1 > \mu_2$ 'dir. Oysa karar vericilerin vermiş olduğu öncelik ilişkisi $\mu_1 > \mu_3 > \mu_2$ 'dir. Bu nedenle bir önceki modele $\mu_1 > \mu_3$ kısıtı eklenmiştir. Bu durumda toplam maliyet (86.248.362, 91.160.620, 93.652.444) TL, toplam stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyeti (2.453.224,4, 3.169.189, 3.541.502,7) TL ve işgücü düzeylerindeki değişim maliyeti ise (23.590,196, 25.682,9, 26.606,8636) TL olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar, karar vericinin birinci amaç fonksiyonu için isteklerini % 52,04, ikinci amaç fonksiyonu için isteklerini % 51,56 ve

üçüncü amaç fonksiyonu için isteklerini % 52,02 düzeyinde karşılamaktadır.

Karar vericiler, bu sonuçlardan memnun olmadıklarını belirtmiştir. Bu durumda karar vericilerin memnuniyetini arttırmak için Wang ve Liang (2005)'ın önerdiği gibi bulanık amaç fonksiyonlarına ilişkin üyelik fonksiyonlarını değiştirmek gerekmektedir. Başlangıçta bulanık amaç fonksiyonlarına ilişkin üyelik fonksiyonlarını belirlerken her bir amaca ilişkin *PIS* ve *NIS* değerleri için teoride de anlatıldığı gibi modelden çıkan sonuçlar dikkate alınmıştır. Daha iyi bir çözüm elde etmek için karar vericiye sorularak yeni *PIS* ve *NIS* değerleri elde edilmiştir. Karar vericinin her bir amaç için vermiş olduğu *PIS* ve *NIS* değerleri Tablo 6'da görüldüğü gibidir.

Tablo 6: Her Bir Amaç Fonksiyonu için Yeni *PIS* ve *NIS* Değerleri

1. amaç fonksiyonu için:			2. amaç fonksiyonu için:		
	<i>PIS</i>	<i>NIS</i>		<i>PIS</i>	<i>NIS</i>
Z_{11}	90.000.000	95.000.000	Z_{21}	3.000.000	6.000.0000
Z_{12}	4.000.000	2.000.000	Z_{22}	750.000	800.000
Z_{13}	2.000.000	4.000.000	Z_{23}	300.000	
3. amaç fonksiyonu için:					
	<i>PIS</i>	<i>NIS</i>			
Z_{31}	25.000	100.0000			
Z_{32}	2.500	3.000			
Z_{33}	0				

Bütünleşik Üretim Planlamasında Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama Modeli ve Bir Uygulama

Bu değerleri dikkate alarak her bir amaç için üyelik fonksiyonları yeniden belirlenmiştir. Bu durumda amaç fonksiyonları ile ilgili kısıtlar modelde şu şekilde değiştirilmiştir:

1. amaç fonksiyonu ile ilgili kısıtlar

$$\lambda \leq \frac{95.000.000 - Z_{11}(x)}{95.000.000 - 90.000.000}$$

$$\lambda \leq \frac{Z_{12}(x) - 2.000.000}{4.000.000 - 2.000.000}$$

$$\lambda \leq \frac{4.000.000 - Z_{13}(x)}{4.000.000 - 2.000.000}$$

2. amaç fonksiyonu ile ilgili kısıtlar

$$\lambda \leq \frac{6.000.000 - Z_{21}(x)}{6.000.000 - 3.000.000}$$

$$\lambda \leq \frac{Z_{22}(x) - 0}{750.000 - 0}$$

$$\lambda \leq \frac{800.000 - Z_{23}(x)}{800.000 - 300.000}$$

3. amaç fonksiyonu ile ilgili kısıtlar

$$\lambda \leq \frac{100.000 - Z_{31}(x)}{100.000 - 25.000}$$

$$\lambda \leq \frac{Z_{32}(x) - 0}{2.500 - 0}$$

$$\lambda \leq \frac{3.000 - Z_{33}(x)}{3.000 - 0}$$

Bu durumda toplam maliyet (85.864.796, 90.647.560, 93.078.941) TL, toplam stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyeti (1.995.673,6, 2.563.512, 2.871.140,5) TL ve işgücü düzeylerindeki değişim maliyeti ise (19.530.495, 21.443,29, 22.147,9362) TL olarak elde edilmiştir. Bu sonuç, karar vericinin tüm bulanık amaç fonksiyonları için isteklerini % 75,86 düzeyinde karşılamaktadır.

Her bir bulanık amaca ilişkin memnuniyet düzeylerinin farklı olması durumunda karar vericinin bulanık amaçlarına ilişkin toplam memnuniyet düzeyi her hedefte ayrı ayrı tanımlanıp, bu değişkenlerin toplamını maksimum yapan çözüm kümesi elde edilmeye çalışıldığında modeldeki amaç fonksiyonlarına ilişkin kısıtlar şu şekilde değiştirilmiştir:

1. amaç fonksiyonu
ile ilgili kısıtlar

$$\mu_1 \leq \frac{95.000.000 - Z_{11}(x)}{95.000.000 - 90.000.000}$$

$$\mu_1 \leq \frac{Z_{12}(x) - 2.000.000}{4.000.000 - 2.000.000}$$

$$\mu_1 \leq \frac{4.000.000 - Z_{13}(x)}{4.000.000 - 2.000.000}$$

2. amaç fonksiyonu
ile ilgili kısıtlar

$$\mu_2 \leq \frac{6.000.000 - Z_{21}(x)}{6.000.000 - 3.000.000}$$

$$\mu_2 \leq \frac{Z_{22}(x) - 0}{750.000 - 0}$$

$$\mu_2 \leq \frac{800.000 - Z_{23}(x)}{800.000 - 300.000}$$

3. amaç fonksiyonu
ile ilgili kısıtlar

$$\mu_3 \leq \frac{100.000 - Z_{31}(x)}{100.000 - 25.000}$$

$$\mu_3 \leq \frac{Z_{32}(x) - 0}{2.500 - 0}$$

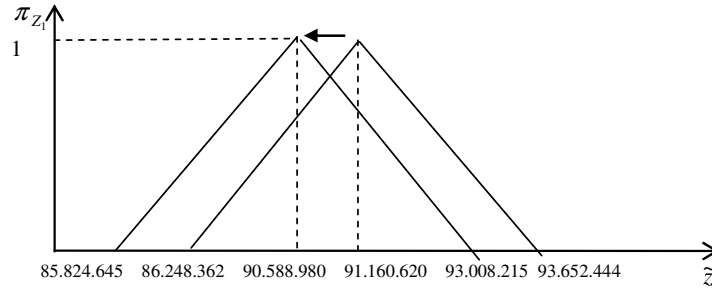
$$\mu_3 \leq \frac{3.000 - Z_{33}(x)}{3.000 - 0}$$

Bu durumda toplam maliyet (86.147.604, 91.016.790, 93.494.268) TL, toplam stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyeti (2.336.474,9, 3.007.304, 3.360.084,6) TL ve işgücü düzeylerindeki değişim maliyeti ise (19.531,938, 21.444,77, 22.149,3717) TL olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar, karar vericinin birinci amaç fonksiyonu için isteklerini % 76,17, ikinci amaç fonksiyonu için isteklerini % 89,86 ve üçüncü amaç fonksiyonu için isteklerini % 76,52 düzeyinde karşılamaktadır.

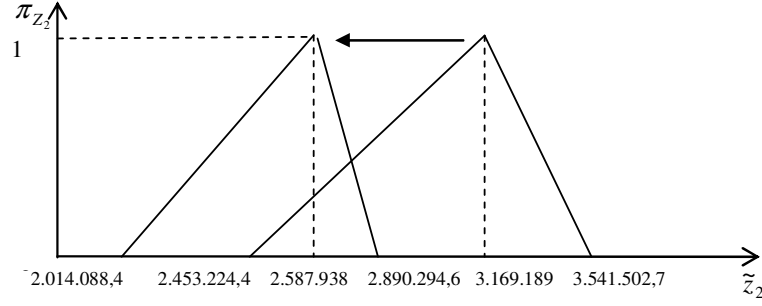
Karar vericilerin tüm bulanık amaçlara ilişkin verdikleri öncelik farklı olduğu için bir önceki modele öncelik ilişkisi ile ilgili kısıt ilave edilerek tüm bulanık amaçların başarımlı derecelerinin toplamı maksimize edilmeye çalışılmıştır. Bir önceki modelin sonuçlarına bakıldığında $\mu_2 > \mu_3 > \mu_1$ 'dir. Oysa karar vericilerin vermiş olduğu öncelik ilişkisi $\mu_1 > \mu_3 > \mu_2$ 'dir. Bu nedenle modele $\mu_1 > \mu_3$, $\mu_1 > \mu_2$ ve $\mu_3 > \mu_2$ kısıtları eklenmiştir. Bu durumda toplam maliyet (85.824.645, 90.588.980, 93.008.215) TL, toplam stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyeti (2.014.088,4, 2.587.938, 2.890.294,6) TL ve işgücü düzeylerindeki değişim maliyeti ise (19.531,948, 21.444,78, 22.149,3811) TL olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar, karar vericinin birinci amaç fonksiyonu için isteklerini % 79,72, ikinci amaç fonksiyonu için isteklerini % 76,51 ve üçüncü amaç fonksiyonu için isteklerini % 76,51 düzeyinde karşılamaktadır.

Bütünleşik Üretim Planlamasında Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama Modeli ve Bir Uygulama

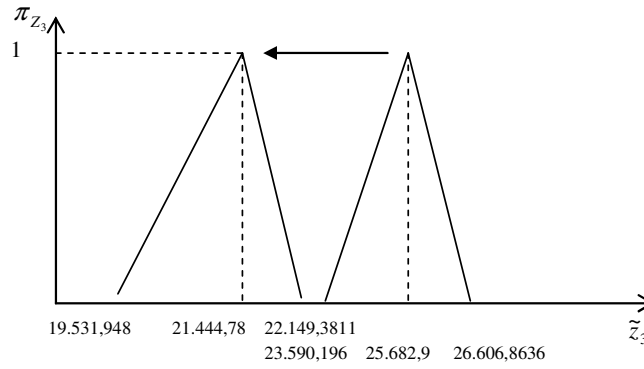
Her bir bulanık amaca ilişkin memnuniyet düzeylerinin karar vericilerin amaçlar için verdiği öncelik ilişkisi dikkate alınarak belirlendiği sonuçlar karşılaştırıldığında amaç fonksiyonlarının *PIS* ve *NIS* değerlerindeki değişim, amaçlara ilişkin hedeflerin başarımlarını etkilemiştir. Toplam maliyet, toplam stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyeti ve işgücü düzeylerindeki değişim maliyeti sırasıyla (86.248.362, 91.160.620, 93.652.444) TL'den (85.824.645, 90.588.980, 93.008.215) TL'ye, (2.453.224,4, 3.169.189, 3.541.502,7) TL'den (2.014.088,4, 2.587.938, 2.890.294,6) TL'ye ve (23.590,196, 25.682,9, 26.606,8636) TL'den (19.531,948, 21.444,78, 22.149,3811) TL'ye düşmüştür. Bu durumda karar vericinin toplam maliyet için isteklerini karşılama derecesi % 52,04'den % 79,72'ye, toplam stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyeti için isteklerini karşılama derecesi % 51,56'dan % 76,51'e ve işgücü düzeylerindeki değişim maliyeti için isteklerini karşılama derecesi % 52,02'den % 76,51'e çıkmıştır. Şekil 3, 4 ve 5 sırasıyla işletmenin belirsiz amaç fonksiyonları için üçgensel olabilirlik dağılımlarındaki değişimi göstermektedir.



Şekil 3: Optimal Toplam Maliyetin Olabilirlik Dağılımı



Şekil 4: Optimal Toplam Stok Bulundurma ve Ertelenen Sipariş Maliyetlerinin Olabilirlik Dağılımı



Şekil 5: Optimal İşgücü Düzeylerindeki Değişim Maliyetinin Olabilirlik Dağılımı

Bu durum, karar vericinin her bir amaç fonksiyonu için doğru olan doğrusal üyelik fonksiyonunu etkin bir şekilde araştırmak için uygun *PIS* ve *NIS* değerler kümesi belirlemesi gerektiğini göstermektedir. Önerilen model, karar vericiye memnun edici bir çözüm bulana kadar belirsiz veri ve ilgili model parametrelerini etkileşimli olarak düzenleyerek karar verme sürecini kolaylaştıran sistematik bir çatı oluşturmuştur. Ayrıca model, tahmin edilen talepteki değişikliklere karşılık normal mesai, fazla mesai, taşeron, stok, ertelenen sipariş miktarı, işe alınan ve işten çıkarılan işçi miktarı için alternatif stratejiler hakkında bilgi sağlamıştır.

Bütünleşik Üretim Planlamasında Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama Modeli ve Bir Uygulama

Sonuç olarak bulanık mantık yaklaşımı kullanılarak geliştirilen etkileşimli bulanık BÜP probleminin, karar vericinin etkisi altında probleme bir esneklik tanımasından dolayı çözüm aşamasında daha iyi sonuçlar elde edildiği gözlenmiştir. Karar değişkenlerinin aldığı değerlere bakarak, 2010 yılı için elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde model, işe alınan işçi miktarını arttırıp, işten çıkarılan işçi miktarını azaltarak normal mesaide üretilen ürün miktarının arttırılmasını, fazla mesaide üretilen ürün miktarının azaltılmasını, taşeronla üretmesi için sipariş edilen ürün miktarının arttırılmasını ve stokta tutulan ürün miktarını arttırarak ertelenen sipariş miktarının azaltılmasını önermektedir. Böylece maliyetler düşecek ve karar vericinin memnuniyeti artacaktır.

SONUÇ

Bilindiği gibi gerçek hayatta üretim sistemleri dinamiktir ve değişen çevre koşulları altında piyasa talebi, mevcut kaynaklar, kapasiteler ve ilgili üretim maliyetleri gibi çevresel katsayılar ve parametreler çoğunlukla belirsizdir. Bu nedenle BÜP problemlerinde verilerin deterministik olarak değil de stokastik veya bulanık alınması gerekmektedir. Verilerin stokastik olarak alınabilmesi için ise uygun olasılık dağılımı belirlenmelidir. Bunun için geçmişe ait yeterli veri olmalıdır. Ayrıca dağılım fonksiyonları tam olarak gerçeği yansıtmayabilmektedir. Deterministik ve stokastik yöntemlerdeki veri toplama, veri hesaplama, model kurma ve modeli test etme çalışmaları oldukça uzun zaman almakta ve maliyetli olmaktadır. Değişen üretim teknolojilerine ve rekabet şartlarına daha hızlı yanıt verebilmek için daha esnek ve daha kısa zamanda çözüm üretebilecek çalışmaların yapılması zorunlu hale gelmektedir. Bu nedenle kesin olarak belirlenemeyen veya geçmişe ait yeterli miktarda veri bulunamayan parametreler için belirsizliği dikkate alan ve uzman deneyimini de göz önünde bulunduran bulanık mantık yaklaşımını kullanmak oldukça yararlı olabilmektedir.

Yapılan bu çalışmada, gerçek hayatın özelliklerini yansıtabilen, onun belirsizliklerini göz ardı etmeyen ve karar verici ile çözüm süreci boyunca etkileşerek onun da karar sürecine katılımını sağlayan çok amaçlı, çok ürünlü ve çok dönemli bulanık bir BÜP modeli önerilmiştir. Önerilen modelde gerçek hayatta olduğu gibi talep miktarları, işgücü düzeyi, makine kapasitesi ve maliyetler belirsizdir. Tüm belirsiz veriler için üçgensel olabilirlik dağılımının benimsendiği varsayılmıştır. Ayrıca paranın zaman değeri de dikkate alınmıştır. Günümüz rekabet ortamında işletmelerin varlıklarını sürdürebilmeleri için belirsizlik altında birçok amacı

optimize edecek kararları verebilmeleri gerekmektedir. Bu nedenle modelde amaçlar; toplam maliyeti, toplam stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyetlerini ve işgücü düzeylerindeki değişim maliyetlerini minimize etmek olarak belirlenmiştir. Karar vericinin amaç fonksiyonlarına ilişkin istek düzeyleri ise bulanık olarak ele alınmıştır. İşletmelerin hedef değerleri için bulanık subjektif yargılarının olması BÜP probleminde, bulanık mantığı etkin yöntemlerden biri olarak karşımıza çıkarmaktadır. Oluşturulan bu BÜP modelinin çözümü için farklı amaçları aynı anda karşılayabilen Lai ve Hwang (1992)'ın ODP modeli esas alınmıştır. Önerilen modelin gerçek hayatta uygulanabilirliğini test etmek için Denizli ilinde faaliyet gösteren bir tekstil işletmesinin konfeksiyon bölümünün 2010 yılı için bütünleşik üretim planı hazırlanmıştır. Modelin çözümü etkileşimli olarak incelenmiştir. Böylece yönetime değişik stratejik varsayımlarla alternatif çözümlerin olduğu çok sayıda farklı senaryoların olası çıktılarını tahmin etmesinde önemli bir esneklik sağlanmıştır. Değişen koşullar altında hangi kararın alınması gerektiği karar verici tarafından belirlenmiştir. Bulanık mantığın en önemli avantajlarından biri, bu şekilde değişen koşullar altında karar verici için alternatif optimal çözümler sunma kabiliyetinin olmasıdır. Dolayısıyla gerçek hayatta karşılaşılan ve belirsizlikler içeren BÜP problemlerin çözümünde, bulanık mantığın, gerçeğe ve insanın düşünce ve karar verme mekanizmasına daha yakın sonuçlar verdiği, önerilen bulanık BÜP modelinin gerçek hayattaki problemlere uygulanabildiği ve bu tür problemlerde etkin çözüm üretmek amacıyla kullanılabileceği yapılan uygulama ile ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Modelin sonraki çalışmalarda geliştirilebilmesi için tekstil sektöründe başka işletmelerin veya başka sektörlerdeki işletmelerin bütünleşik üretim planlarının hazırlanmasında etkinliği denenebilir. Kullanılan yöntemin en büyük avantajı, karar vericiye alternatif durumlarda çeşitli kararlar sunmasıdır. Böylece, karar verici, kesin verilerin kullanıldığı deterministik BÜP yöntemlerinden farklı olarak belirsiz veriler için tayin ettiği kabul edilebilir minimum olabilirlik düzeyi parametresine bağlı olarak farklı planlar elde edebilir ve bunlar arasından seçim yapabilme olanağına sahip olabilir.

Her model, bazı varsayımlardan hareket edilerek düzenlenmektedir. Kuşkusuz sonuçların geçerliliği, modelin hazırlanmasında gerekli bilgilerin tutarlılığına bağlıdır. Varılan sonuçlar, mutlak ve değişmez değildir. Verilerin toplandığı dönemle uygulanacağı dönemin farklı olması veya istenen doğrulukta bilgi bulunmaması gibi nedenlerle kesin sonuçlara

Bütünleşik Üretim Planlamasında Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama Modeli ve Bir Uygulama

varılamayabilmektedir. Ancak, problemin nasıl çözüleceği belirlendiği için yeni verilerle gerçek durumu tespit etmek daha da kolaylaşmaktadır.

Çözümün etkinliğini belirleyen en önemli unsur, bulanıklığın modele yansıtılmasında kullanılacak olan parametrelerdir. Bu parametrelerin nasıl bir bulanık şekil teşkil ettiği karar verme sürecinin en hassas noktasıdır. Çünkü çözümün başarısı, modelin sistemi yansıtmadaki başarısına bağlıdır. Önerilen yaklaşımın temel zorluğu, belirsiz veriyi sunmak için üçgensel olabilirlik dağılımlarının varsayımıdır. Ancak, gerçek hayatta karar vericinin sübjektif karar ve geçmişe ilişkin kayıtlara bağlı olarak uygun dağılımlar (yamuksal, çan şekilli, üstel, hiperbolik veya belirsiz sayıları sunmak için diğer olabilirlikçi dağılım örnekleri) üretmesi ve elde etmesi gerekmektedir. Ayrıca önerilen yaklaşım, minimum işlemcisini varsayan Zimmermann'ın bulanık programlama yaklaşımına dayanmaktadır. Bundan sonraki çalışmalarda bulanık BÜP problemlerini çözmek için birleşim, ortalama ve diğer işlemciler uygulanabilir. Özetle, bundan sonra yapılacak çalışmalarda, parametrelerin bulanıklığını yansıtacak şekillerin belirlenmesinde, yani üyelik fonksiyonlarının oluşturulması üzerinde çalışma derinleştirilebilir.

KAYNAKÇA

- Baykoç, Ö.F. & Sakallı, Ü.S. (2009). An Aggregate Production Planning Model for Brass Casting Industry in Fuzzy Environment. *International Journal of Mathematical and Statistical Sciences*, 1(3): 154-158.
- Bellman, R. & Zadeh, L. (1970). Decision Making in a Fuzzy Environment. *Management Science*, 17(4): 141-164.
- Bitran, G.R. & Yanassee, H.H. (1984). Deterministic Approximations to Stochastic Production Problem. *Operations Research*, 32(5): 999-1018.
- Buckley, J.J. (1988). Possibilistic Linear Programming with Triangular Fuzzy Numbers. *Fuzzy Sets and Systems*, 26, 135-138.
- Chen, S.J. & Hwang, C.L. (1992). *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. New York: Springer.
- Chen, L.H. & Tsai, F.C. (2001). Fuzzy Goal Programming with Different Importance and Priorities. *European Journal of Operational Research*, 133(3): 548-556.

- Çubukçu, R. (2008). Proje Yönetiminde Zaman ve Maliyet Risklerinin Çizelgeleme Yöntemiyle Minimize Edilmesi. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Adana: Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Guiffreda, A.L. & Nagi, R. (1998). Fuzzy Set Theory Applications in Production Management Research: A Literature Survey, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 9(1): 39-56.
- Hausman, W.H. & McClain, J.D. (1971). A Note on the Bergstrom-Smith Multi-Item Production Planning Model. *Management Science*, 17(11): 783-785.
- Holt, C.C., Modigliani, F. & Simon, H.A. (1955). A Linear Decision Rule for Production and Employment Scheduling. *Management Science*, 2(1): 1-30.
- Hsu, H.M. & Wang, W.P. (2001). Possibilistic Programming in Production Planning of Assemble-to-Order Environments. *Fuzzy Sets and Systems*, 119(1): 59-70.
- Kanyalkar, A.P. & Adil, G.K. (2005). An Integrated Aggregate and Detailed Planning in a Multi-Site Production Environment Using Linear Programming. *International Journal of Production Research*, 43(20): 4431-4454.
- Lai, Y.J. & Hwang, C.L. (1992). A New Approach to Some Possibilistic Linear Programming Problems. *Fuzzy Sets and Systems*, 49(2): 121-133.
- Liang, T.F. (2007a). Application of Interactive Possibilistic Linear Programming to Aggregate Production Planning with Multiple Imprecise Objectives. *Production Planning and Control*, 18(7): 548-560.
- Liang, T.F. (2007b). Application of Possibilistic Linear Programming to Multi-Objective Distribution Planning Decisions. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 24(2): 97-109.
- Liou, T.S. & Wang, M.J.J. (1992). Ranking Fuzzy Numbers with Integral Value. *Fuzzy Sets and Systems*, 50(3): 247-255.
- Marler, R.T., Yang, J. & Rao, S.S. (2004). A Fuzzy Approach for Determining a Feasible Point in a Constrained Problem. *ASME/JSME Pressure Vessels and Piping Conference*, July 25-29, San Diego, CA, 115-124.
- Tang, J., Wang, D. & Fung, R.Y.K. (2001). Formulation of General Possibilistic Linear Programming Problems for Complex Industrial Systems. *Fuzzy Sets and Systems*, 119(1): 41-48.
- Tiwari, R.N., Dharmar, S. & Rao, J.R. (1986). Priority Structure in Fuzzy Goal Programming. *Fuzzy Sets and Systems*, 19(3): 251-259.

**Bütünleşik Üretim Planlamasında Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal
Programlama Modeli ve Bir Uygulama**

- Wang, R.C. & Liang, T.F. (2004). Application of Fuzzy Multi-Objective Linear Programming to Aggregate Production Planning. *Computers and Industrial Engineering*, 46(1): 17-41.
- Wang, R.C. & Liang, T.F. (2005). Applying Possibilistic Linear Programming to Aggregate Production Planning. *International Journal of Production Economics*, 98(3): 328-341.
- Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8 (3), 338-353.
- Zadeh, L.A. (1978). Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility. *Fuzzy Sets and Systems*, 1(1):3-28.
- Zimmermann, H.J. (1976). Description and Optimization of Fuzzy Systems. *International Journal of General System*, 2(4): 209-215.
- Zimmermann, H.J. (1978). Fuzzy Programming and Linear Programming with Several Objective Functions. *Fuzzy Sets and Systems*, 1(1):. 45-55.