



## TEDARİK ZİNCİRİ AĞI İÇERİSİNDE ÜRETİM PLANLAMA PROBLEMİ İÇİN MELEZ ANALİTİK/BENZETİM ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

*(HYBRID ANALYTIC SIMULATION APPROACH FOR PRODUCTION PLANNING  
PROBLEM WITHIN SUPPLY CHAIN NETWORK)*

**Bilge BİLGEN\*, Cansu Pınar DİKSİREK**

### ÖZET/ABSTRACT

Endüstriyel rekabet arttıkça tedarik zinciri yönetimi literatürde daha fazla önem kazanmaktadır. Tedarik zinciri yönetimi ürünlerin tedarigi, üretilmesi, depolanması, dağıtımı ve kontrolünü içeren bütünlük bir yapıdır. Bu makalede tedarikçilerden çeşitli bileşenlerin tedarik edildiği ve fabrikada nihai ürün üretiminin yapıldığı bir tedarik zinciri sisteminde tedarik ve üretim planlama problemi ele alınmıştır. Planlama periyodu boyunca bileşenlerin montajının yapıldığı problem için doğrusal bir matematiksel model geliştirilmiştir. Beklenmedik gecikmeler, makine bozulmaları, makine çalışma süreleri gibi bazı stokastik faktörlerden dolayı matematiksel modeller gerçek sistemlerin dinamik karakteristiklerini temsil edemezler. Bu nedenle, gerçek sistemin davranışını ortaya çıkarmak üzere melez bir matematiksel programlama/benzetim modeli önerilmiştir. Model ve yaklaşımın uygulanabilirliği bir örnek problem üzerinde gösterilmiştir.

*As the industrial environment becomes more competitive, supply chain management (SCM) has received much more attention in the literature. The supply chain (SC) can be defined as an integrated structure involving the procurement, production, storage, distribution and control of goods. This paper addresses the procurement and production planning problem in a supply chain system that involves the supply of various components from a set of suppliers and production of end products within the plant. A linear programming model is proposed to describe the problem, where multiple components can be assembled within a planning horizon. Due to stochastic factors such as unexpected delays, queuing and machine failure, operation time provided by mathematical model cannot reflect dynamic characteristic of realworld systems and optimal solution of mathematical model is not acceptable in practice. Therefore, to explore the behaviour of the real-world system, a hybrid mathematical-simulation approach is proposed. The applicability and flexibility of the proposed model and approach are illustrated through an example problem.*

### ANAHTAR KELİMELEK/KEYWORDS

Üretim planlama, Doğrusal programlama, Benzetim, Melez yaklaşım  
*Production planning, Linear programming, Simulation, Hybrid approach*

---

\* 1. Dokuz Eylül Ün., Endüstri Müh. Böl., İZMİR

## 1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ve bunun olağan sonucu küreselleşme günümüz endüstriyel piyasasında rekabet koşullarını daha da güçlendirmektedir. Tedarik zinciri yönetimi (TZY) küresel pazarda firmalara rekabet avantajı sağlayan en önemli yaklaşımlardan biridir. Son yıllarda, Tedarik Zinciri Planlamaya olan ilgi giderek artmaktadır. Bunun başlıca nedeni Tedarik Zincirinin (TZ) bütünleşik ve sistematik olarak planlanması ile firmaların kârlılıklarını arttırabilmeleri, üretim ve tedarik maliyetlerinin düşürebilmeleri ve müşteri hizmet düzeylerinin yükseltebilmeleridir. Bu sayede işletmeler küreselleşme sonucu artan rekabet ortamında kendilerine bir pazar payı yaratabilmektedir.

Akademik literatürde de TZY çalışmalarına olan ilgi giderek artmaktadır. Son yıllarda yayınlanan çok sayıda araştırma makalesi mevcuttur (Bilgen ve Özkarahan, 2004; Arshinder ve Deshmukh, 2008; Chen ve Pundoor, 2009; Peidro vd., 2010).

Bu kaynakların pek çoğunda çözüm yöntemi olarak analitik çözüm teknikleri kullanılmaktadır. Ancak analitik modelleme yaklaşımı TZ problemlerinin çözümünde tek başına kullanıldığı takdirde kapasitenin gerçekçi şekilde modellenmesi mümkün olamamaktadır. Gerçek üretim sistemi karakteristiklerinin, örneğin kuyruk oluşumu, istasyonlar arası taşımalar v.b. gibi stokastik (zamanla değişiklik gösteren) durumların formülasyonunda bu modelleme yaklaşımı yetersiz olmaktadır (Byrne ve Bakir, 1999). Analitik modelleme ile karşılaştırıldığında benzetim modellerinin de bir çok avantaj ve dezavantajlarından söz edilebilir. Gerçek ortam koşullarına ilişkin durumlar, geliştirilen modele yansıtılmak istendiğinde benzetim model yansıtılmak istenen gerçekçiliğin her aşamasını içerebilmektedir. Bu sebeple çözüm yöntemi olarak, analitik modelleme yaklaşımını tek kullanmak yerine sistemin bazı dinamik ve tedarik zinciri ağındaki belirsizlik durumlarının çözüme yansıtılabilmesi amacıyla benzetim modelleme ile melez olarak dikkate alınması uygun olacaktır (Shanthikumar ve Sargent, 1983).

Ele alınan problemlere ilişkin kapsamlı tasarımının geliştirilmesi sırasında benzetim ve optimizasyon modellerinin birleştirilmesiyle oluşan melez çözüm tekniği kullanılarak farklı modelleme tekniklerinin sağlayacağı olası avantajlardan faydalanabilmek amaçlanmaktadır. Problemin çözümü amacıyla benzetim yaklaşımına başvurulması sebeplerinden birisi, analitik çözümlerin problemin çözümü açısından uygun olmadığı ve yetersiz kaldığı durumlardır. Buna karşın, iki modelleme yaklaşımını çözüm yöntemi olarak beraber kullanmak sistemin modellenmesinde farklı bakış açıları sağlaması açısından daha uygun bir yaklaşım olacaktır (Gnoni vd., 2003). Bu sebeple sistemlerin modellenmesi için daha iyi bir yol olan, iki modelleme yaklaşımının birleştirilmesi ile oluşan melez modelleme yaklaşımı bu çalışmada konu olarak alınmıştır.

Çözüm yöntemi olarak, optimizasyon ve benzetim modelleme yaklaşımlarının çok çeşitli problemler için entegre edilerek kullanıldığı bir çok çalışma literatürde yer almaktadır. Bu çözüm yaklaşımına, ilk olarak belirsizlik durumlarını içeren spesifik problemlerin çözümüne odaklanmak amacıyla başvurulmuştur (Acar vd., 2008). Benzetim ve optimizasyon modellerin entegre edilerek oluşturulan melez yaklaşımı, ilk olarak 1972 yılında Nolan ve Sovergin tarafından geliştirilmiştir (Nolan ve Sovereign, 1972). 2000 yılında ise Leung ve Cheung, DHL Hong Kong taşıma ağı için tekrarlamalı melez benzetim/analitik çözüm yöntemini geliştirmiştir. Literatürde üretim planlama problemi için melez benzetim/analitik çözüm yaklaşımının kullanıldığı çok sayıda makale mevcuttur. Doğrusal programlama (DP) modelleme ve benzetim yaklaşımının geniş ölçüde kullanıldığı, basit üretim senaryoları için doğrusal programlama modellerin benzetim modellerine göre daha etkin ve en iyiye daha yakın sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Tam tersi durumda ise, yani karmaşık durumların yer aldığı problemler için benzetim modeller daha etkin olabilmektedir. Bu nedenle melez yöntem

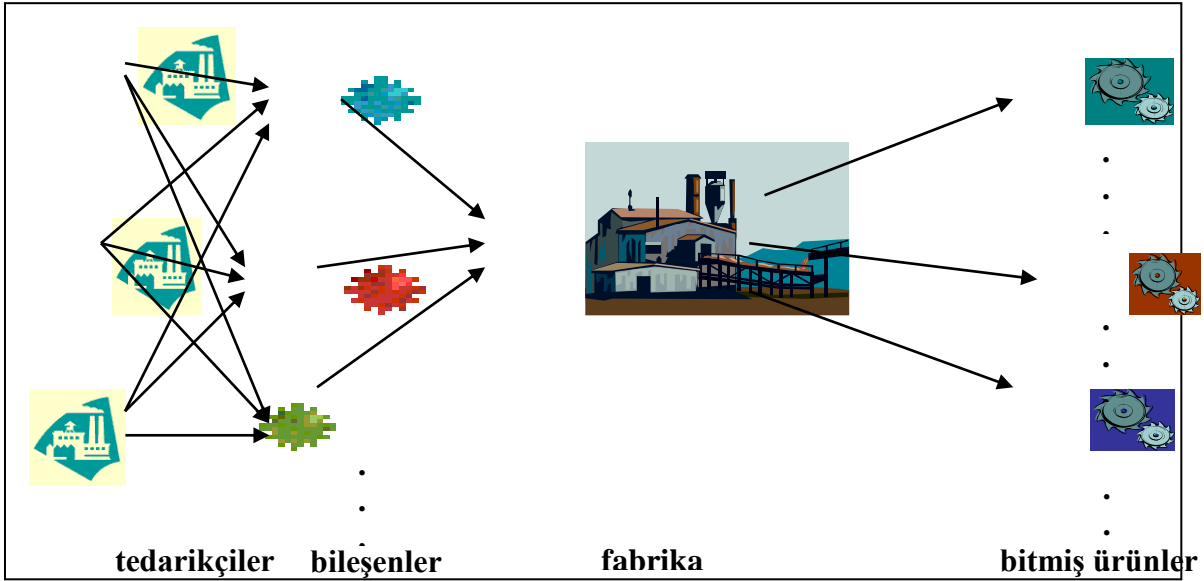
ile bu iki yöntemin sağlayabileceği avantajlardan yararlanılabilmektedir (Byrne ve Hossain, 2005). Byrne ve Bakir üretim planlama problemi için, analitik ve benzetim çözüm tekniğinin birlikte kullanıldığı melez bir çözüm yaklaşımı önermiştir (Byrne ve Bakir, 1999). Kim ve Kim, Byrne ve Bakir tarafından kullanılan model ve çözüm tekniğinde düzenlemeler yapmıştır (Kim ve Kim, 2001; Byrne ve Bakir, 1999). Üretim miktarının iş yükü profili ve makinelerin gereksinim duyduğu gerçek kapasite değerlerini dikkate alarak DP modelini genişletmiştir. Byrne ve Hossain, Byrne ve Bakir ve Kim ve Kim tarafından geliştirilen modelleri dikkate almıştır (Byrne ve Hossain, 2005; Byrne ve Bakir, 1999; Kim ve Kim, 2001). Kapasite açısından uygun bir üretim planı geliştirebilmek için melez benzetim/analitik modelleme yaklaşımına başvurulmuştur. Geliştirilmiş olan yaklaşımlarda alınarak tam zamanında üretim kavramı modele yansıtılarak bir DP modeli oluşturulmuştur.

Tedarik zinciri yapısının modellenmesi için melez benzetim/analitik modelleme yaklaşımının çözüm yöntemi olarak kullanıldığı çalışmalar da literatürde önem kazanmıştır. Lee ve Kim çoklu ürün, çoklu periyot için bir üretim ve dağıtım modeli geliştirmiştir (Lee ve Kim, 2002). Bu çalışmada, makine operasyon ve dağıtım zamanları stokastik parametreler olarak ele alınmış, benzetim yaklaşımı ile düzeltme yapılmıştır. Aynı yazarlara ait bir diğer çalışmada ise geliştirilen modelde makine ve dağıtım kapasiteleri stokastik faktör olarak ele alınmış ve üretim ve dağıtım modelini içeren benzetim modelinde düzeltmeler yapılmıştır (Lee vd., 2002). Ko vd. depolardaki hizmet zamanını ve de müşterilerdeki dinamik faktörleri dikkate alarak dağıtım ağı tasarımı için melez optimizasyon benzetim yaklaşımı önermişlerdir (Ko vd., 2006). Safaei vd. çoklu periyotlu, çoklu ürün üretim ve dağıtım problemini ele almıştır (Safaei vd., 2010). Daha gerçekçi bir planlama elde etmek için melez matematiksel programlama, benzetim yaklaşımı önerilmiştir. Son yıllarda yapılan bir diğer çalışmada Acar vd. küresel kimya endüstrisinde faaliyet gösteren bir tedarik zincirinde karar destek sistemi geliştirmiştir (Acar vd., 2010). Geliştirilen yaklaşım bütünlüklü optimizasyon ve benzetim yaklaşımlarını kullanmaktadır. Matematiksel modelleme ile en iyi tedarik zinciri planları oluşturulurken, sistemdeki belirsizlikler benzetim modelleme yaklaşımı ile dikkate alınmıştır.

Bu makalede bir tedarik ve üretim planlama modeli için melez benzetim/analitik çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Çalışmada Byrne ve Bakir tarafından geliştirilen model esas olarak alınmıştır (Byrne ve Bakir, 1999). Önerilen çalışmada, tedarikçi ve de farklı bileşenler dikkate alınarak model genişletilmiştir. İkinci bölümde tedarik ve üretim planlama problemi tanımlanmıştır. Üçüncü bölümde problem için matematiksel model önerilmiştir. Bu modeli çözmek için geliştirilen melez benzetim/analitik çözüm yaklaşımı dördüncü bölümde verilmiştir. Beşinci bölümde önerilen modellerin geçerliliğini göstermek için, tasarlanan bir hipotetik örnek üzerinde uygulama gerçekleştirilmiştir. Son olarak sonuçlar ve gelecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

## 2. PROBLEM TANIMI

Dikkate alınan problemde, sistemde bulunan 3 farklı tedarikçiden, tedarik edilen 3 farklı tipte bileşen, son ürünlerin üretiminde kullanılmak üzere fabrikada çeşitli işlemlere tabii tutulacaktır. Tedarikçilerden ve fabrikadan oluşan tedarik zinciri yapısı, Şekil 1'de belirtilmiştir. Üretim sisteminde bu bileşenlerin işlem gördüğü 4 adet farklı iş istasyonu bulunmaktadır. Her bir iş istasyonunda, 1'er adet makine bulunmaktadır. Her bir iş istasyonunun kapasitesi her zaman dönemi için, 800 dakika/hafta olarak kısıtlanmıştır. Tedarikçiden tedarik edilen bileşenler ve işlem gören parçalar, rotalarındaki istasyonlarda işlem görmek üzere 2 adet taşıyıcıyla taşınmaktadır. Bu iş istasyonları arasındaki mesafeler ve taşıyıcıların hızları geliştirilen benzetim modeline girilmiştir.



Şekil1. Probleme ilişkin tedarik zinciri yapısının gösterimi

Analitik model ile makinelerin kapasite kısıtının modellenmesi zordur. Toplam makine kapasitesi ile üretim planında belirlenen beklenen üretim miktarının gerçekleştirilebilmesi için gereken toplam zaman arasında, önemli farklar vardır. Üretim planını gerçekleştirmek için harcanan zaman basit doğrusal fonksiyona tercihen, karmaşık ve genellikle doğrusal olmayan karar değişkenleri tarafından ifade edilebilmektedir. Bu durumdan dolayı, kapasite kullanımının temel formülasyonu gerçek sistemlere ilişkin kapasite kullanımını yansıtmakta yetersiz ve başarısız olmaktadır. Ayrıca malzeme kullanma karakteristiklerinin de analitik bir şekilde ifadesi oldukça zordur. Malzeme taşıma ve işleme tesislerinde yer alan işlem ve taşıma zamanlarındaki değişkenlik durumu modellemede bazı önemli problemler yaratmaktadır (Byrne ve Hossain, 2005). Bu problemlerden dolayı üretim sistemlerinin analitik modeline doğrulama yapmak amacıyla benzetim modeline başvurulmuştur. Benzetim söz konusu problemlerin çözümünün gerçekleştirilmesi için olurlu bir yaklaşım olmaktadır. Bu makalede, analitik model üzerindeki operasyonel karakteristiklerin etkilerinin modele yansıtılması için benzetim ve analitik modellemeyi içeren bir yöntem kullanılacaktır. Sözü edilen yöntem ile gerçek sisteme ait analitik modelleme ile yansıtılmayan karakteristikler yansıtılabilecektir.

### 3. MODEL FORMÜLASYONU

Model formülasyonunda kullanılan temel varsayımlar aşağıda belirtilmiştir.

- Tedarik zinciri ağı, tedarikçiler ve farklı iş istasyonlarından oluşan fabrikadan oluşmaktadır.
- Herbir tedarikçi bileşenleri kapasitesi ile sınırlı olarak tedarik edebilmektedir.
- Tedarikçiler ve fabrika arasındaki taşıma tedarik zamanı ihmal edilmiştir.
- Talep belirli ve bilinmektedir.
- Her bir nihai ürünün her bir iş istasyonunda birim üretim zamanı verilmiştir. Üretim kapasitesi bilinmektedir.
- Tüm maliyet parametreleri belirli ve bilinmektedir.

Problem için gerekli notasyon aşağıda tanımlanmıştır.

### İndisler

$p$	bileşen
$l$	tedarikçi
$i$	ürün
$s$	iş istasyonu
$t$	zaman periyodu

### Parametreler

$a_{pi}$	bir birim $i$ ürünüde yer alan $p$ bileşeni sayısı
$Cap_{pl}$	$p$ bileşeni için $l$ tedarikçisi kapasitesi
$PCap_{st}$	iş istasyonu $s$ 'nin her zaman periyodu $t$ için kapasitesi
$b_{is}$	$s$ iş istasyonunda bir birim $i$ ürünü üretmek için gerekli zaman
$d_{it}$	$t$ zaman periyotunda $i$ ürününe olan talep miktarı
$m_{plt}$	bir birim $p$ bileşenini $l$ tedarikçisinde $t$ periyotunda tedarik etmenin birim maliyeti
$v_{it}$	bir birim $i$ ürünü için $t$ zaman periyotunda oluşan birim üretim maliyeti
$h_{it}$	bir birim $i$ ürünü için $t$ zaman periyodu için elde tutma maliyeti
$n_{it}$	$t$ zaman periyotunda $i$ ürününden karşılanmayan talepler dolayısıyla oluşan birim maliyet

### Karar Değişkenleri

$Y_{plt}$	$l$ tedarikçisinden $t$ periyotunda tedarik edilen $p$ bileşen miktarı
$X_{it}$	$t$ zaman periyotun üretilen $i$ ürünü miktarı
$I_{it}$	$t$ zaman periyotunda elde tutulan $i$ ürünü miktarı
$S_{it}$	$t$ zaman periyotunda karşılanamayan $i$ ürünü talep miktarı

### Model Formülasyonu

#### Amaç Fonksiyonu

$$\sum_p \sum_l \sum_t m_{plt} Y_{plt} + \sum_i \sum_t v_{it} X_{it} + \sum_i \sum_t h_{it} I_{it} + \sum_i \sum_t n_{it} S_{it} \quad (1)$$

#### Kısıtlar

$$\sum_l Y_{plt} = \sum_i a_{pi} X_{it} \quad \forall p, t \quad (2)$$

$$\sum_t Y_{plt} \leq Cap_{pl} \quad \forall p, l \quad (3)$$

$$\sum_i b_{is} X_{it} \leq PCap_{st} \quad \forall s, t \quad (4)$$

$$X_{it} + I_{it-1} - I_{it} - S_{it-1} + S_{it} = d_{it} \quad \forall i, t \quad (5)$$

$$I_{i3} = 0 \quad \forall i \quad (6)$$

$$Y_{plt}, X_{it}, I_{it} \geq 0 \quad \forall p, l, i, t \quad (7)$$

Amaç fonksiyonu olarak verilen Eşitlik 1 formülasyon tedarik, üretim, elde tutma ve talebi karşılayamama maliyetlerini minimize etmektedir. Kısıt (2) tedarikçilerden sağlanan bileşen  $p$ 'nin  $t$  zaman periyotunda çeşitli  $i$  ürünlerinin üretilmesini garanti eden kısıttır. Kısıt (3)'te tedarikçi kapasitesi, Kısıt (4)'te üretim kapasitesi sınırlandırılmaktadır. Kısıt (5) talebin karşılanması garanti eden kısıttır. İlk ele alınan modelde talebin karşılanamaması dikkate alınmamaktadır. 3. Dönem sonunda envanter miktarı 0'dır.

Yapılan çalışmada, taleplerin bir sonraki döneme aktarılma durumuna izin verilmemesi varsayımı altında karşılanamayan taleplerin ceza maliyetine maruz kaldığı ve karşılanamayan taleplerin bir sonraki dönemde karşılanmak üzere aktarıldığı, 2 farklı üretim planlama modeli dikkate alınmıştır.

#### 4. PROBLEME İLİŞKİN GELİŞTİRİLEN MELEZ SİMÜLASYON/ANALİTİK MODELLEME PROSEDÜRÜ

Probleme ilişkin kullanılacak melez modelleme yaklaşımında, benzetim ve matematiksel modelleme yaklaşımları entegre bir şekilde kullanılmıştır. İlk olarak, analitik modelde elde edilen sonuçlar, benzetim modeline girdi olarak yansıtılır. Benzetim modelinde yer alan tüm parametreler ya da parametrelerden bazılarının değerleri, analitik model çözüm yaklaşımı ile belirlenmektedir. Benzetim modellemeye elde edilen sonuçlar dikkate alınarak analitik modelin kapasite kısıtında düzeltmeler yapılır. Bu yöntem iki modelleme yaklaşımı arasında birbirini tekrar eder biçimde devam eder. Byrne ve Hossein tarafından yılında geliştirilen yaklaşım temel olarak alınmıştır (Byrne ve Hossein, 2005).

Problemimize ilişkin uygulanacak melez benzetim/analitik yaklaşımı aşağıda belirtilen adımlardan oluşur:

**1.adım:** Optimum üretim planı yapısını analitik modelde oluştur.

Bu adımda, baz alınan üretim planlama problemine ilişkin matematiksel model, verilen veriler dikkate alınarak düzenlenir.

**2.adım:** Analitik model kullanarak optimum üretim seviyesini belirle. Elde edilen verileri benzetim modelde girdi olarak kullan.

Elde edilen sonuçlar dikkate alınarak belirlenen toplam üretim miktarı, benzetim modeline yansıtılır.

**3.adım:** Üretim sisteminin gerçek operasyonel durumlarını dikkate alarak benzetim modelini oluştur.

Gerçek üretim sisteminde oluşabilecek, elde edilebilecek ürün miktarını etkileyebilecek operasyonel durumlar benzetim modelinde dikkate alınmıştır. Bu durumlar, makinelerin önünde işlem görmeyi ve işlem görecekları istasyonlara taşınmayı bekleyen parçaların kuyruk oluşturması durumu, makineler için bozulma durumu, istasyonlar arasında parçaların taşınmasını gerçekleştiren taşıyıcıların bozulma durumu; ayrıca üretim birimleri arasında taşıyıcılarla ürünlerin rotalarındaki istasyonlara aktarılması sırasında ortaya çıkacak taşıma süreleri, analitik modelden farklı olarak benzetim modeline dahil edilmiş gerçek bir üretim sistemine ait durumlardır.

**4.adım:** Benzetim modeli ile analitik modelde 2.adımda belirlenen optimum üretim seviyesi, olurlu zaman içerisinde sağlanabiliyorsa 7. adıma git. Eğer benzetim modeli ile elde edilen sonuçlar, kullanılabilir zaman için analitik modelleme ile elde edilen sonuçları sağlamıyorsa 5. adıma git.

Analitik modelleme ile belirlenen optimum üretim seviyesi, benzetim modeline veri olarak 2. adımda girilmiştir. Benzetim modelinin çalıştırılması sonrasında elde edilen sonuçlar dikkate alındığında; eğer kapasite kısıtı verilen sürede belirlenen üretim miktarını gerçekleştirebiliyorsa 7. adıma git. Eğer benzetim modeline girilen üretim miktarını

gerçekleştirmek için problemde verilen kapasiteye ilişkin süre yetersiz kalıyorsa, o zaman bir sonraki adıma geçilecektir.

**5.adım:** Analitik modele yansıtılmak üzere, benzetim modeli sonuçları dikkate alınarak düzeltilmiş kapasite kısıtını hesapla.

Bu adımda Byrne ve Bakir tarafından yılında kapasite düzgünleştirilmesi amacıyla geliştirilmiş formülasyonlar kullanılarak ve 3.adımda benzetim modelinden elde edilen sonuçlar esas alınarak analitik modelde yer alan kapasite kısıtına ilişkin hesaplamalar yapılacaktır (Byrne ve Bakir, 1999).

**6.adım:** Adım 1'e git.

Bir önceki adımda belirlenen düzeltilmiş değerleri analitik modele yansıtılmak amacıyla, bu adımda, benzetim modellemeyen analitik modellemeye bir geçiş sağlanmaktadır.

**7.adım:** Benzetim modeli ile elde edilen sonuç, olurlu zaman süresi için analitik modelleme ile belirlenen optimum üretim seviyesini sağlıyorsa, bu durumda belirlenen üretim seviyesi, "gerçek optimum üretim seviyesi" olacaktır.

**8.adım:** Çözüm prosedürünü sonlandır.

Bu çözüm tekniği şekil 2'de akış diyagramı olarak gösterilmiştir.

Çözüm yönteminde birbirinden bağımsızca geliştirilen analitik ve benzetim modelleri, problemin çözümü için beraber kullanılmaktadır. Bu prosedürde benzetim modeli yardımcı model (alt model) olarak görülebilir. Kapasite düzgünleştirmek için (Byrne ve Bakir, 1999) yılında önerilen yaklaşım kullanılacaktır.

$$1- C_{rkt} = ST_{rt} * NM_k \quad (8)$$

$C_{rkt}$  = r replikasyonunda, k iş istasyonunda, t zaman periyodunda harcanan simülasyon zamanı

$ST_{rt}$  = r replikasyonu için t zaman periyodunda harcanan toplam simülasyon zamanı

$NM_k$  = k iş istasyonunda yer alan toplam makine sayısı

Ele alınan problem için her bir iş istasyonunda yer alan makine sayısı aynı olup, istasyonlarda 1 adet makine bulunacaktır. ( $NM_k = 1$ )

$$2- AF_{rkt} = GC_{kt} / CT_{rkt} \quad (9)$$

$AF_{rkt}$  = r replikasyonu, k iş istasyonu ve t zaman periyoduna ait düzeltme faktörü

$CT_{rkt}$  = Eşitlik (8)'de hesaplanan r replikasyonunda, k iş istasyonunda, t zaman periyodunda harcanan simülasyon zamanı

$GC_{kt}$  = t zaman periyodunda k istasyonu için toplam kapasite

Ele alınan problem açısından bu değer her bir istasyon ve her bir zaman periyodu için aynı olup, kapasite, haftalık 800 dakika olarak belirlenmiştir. ( $GC_{kt} = 800$  dakika/hafta)

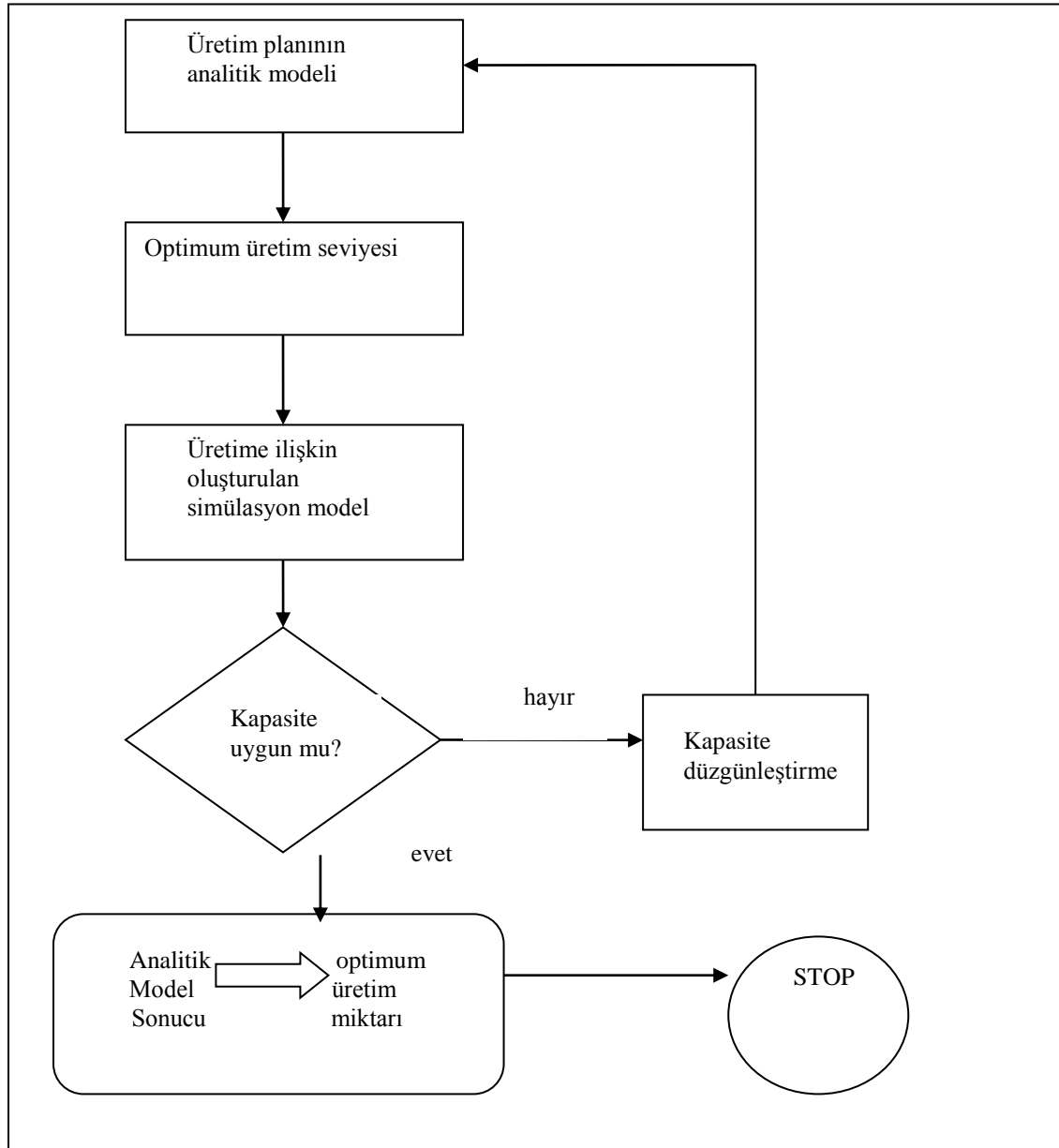
$$3- ANC_{rkt} = ANC_{r-1kt} * AF_{rkt} \quad (10)$$

$ANC_{rkt}$  = r replikasyonu, k iş istasyonu ve t zaman periyodu için hesaplanan yeni kapasite

$ANC_{r-1kt}$  = bir önceki replikasyon için (r-1), k iş istasyonu ve t zaman periyodu için düzeltilmiş olan kapasite

Bu düzeltilmiş kapasite daha önce analitik modele dahil edilerek hesaplamalar yapılmış; ancak bu kapasite benzetim yaklaşımı ile elde edilen sonucu sağlamadığından kapasitede tekrar düzgünleştirme yapma yoluna gidilmiştir. Ancak ilk replikasyon için  $ANC_{r-1kt}$  değeri  $GC_{kt}$  yani toplam kapasite değeri olarak alınacaktır.

$AF_{rkt}$  = Eşitlik (9)'da bulunan r replikasyonu k iş istasyonu ve t zaman periyoduna ait düzeltme faktörü.



Şekil 2. Melez simülasyon/analitik modelleme çözüm tekniği (Bryne ve Bakır, 1999)

## 5. UYGULAMA

Çizelge 1 ve Çizelge 2’de bileşenler için birim tedarik maliyeti ve birim üretim maliyet değerleri yer almaktadır. Çizelge 3’de ürün ağacı, Çizelge 4’te tedarikçi bileşen kapasiteleri, Çizelge 5’te talep değerleri verilmiştir. Çizelge 6 ve 7’de ürünlerin işlem zamanları ve işlem



rotaları yer almaktadır. Çizelge 8’de birim karşılanamayan talep maliyetleri verilmiştir. Tüm sistem parametrelerinin kesin olarak bilindiği varsayılmıştır.

Çizelge 1. Tedarik maliyeti

	Bileşenlerin birim tedarik maliyetleri								
	1.tip bileşen			2.tip bileşen			3.tip bileşen		
	Zaman Periyodu								
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<b>1.tedarikçi</b>	20	20	20	20	20	20	25	25	30
<b>2.tedarikçi</b>	25	30	25	25	20	20	30	20	20
<b>3.tedarikçi</b>	25	20	20	25	15	20	15	20	25

Çizelge 2. Üretime maliyeti

Ürünler	Üretim Maliyeti								
	Birim üretim maliyeti			Stok tutma maliyeti			Eksiklik maliyeti		
	Zaman periyotları								
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<b>1</b>	100	100	100	25	25	100	400	400	400
<b>2</b>	150	150	150	30	30	150	450	450	450
<b>3</b>	125	125	125	35	35	200	500	500	500

Çizelge 3. Her bir birim ürünün üretiminde kullanılan bileşen sayıları

bileşenler	Ürünler		
	1. tip ürün	2. tip ürün	3. tip ürün
<b>1. tip bileşen</b>	2 adet	3 adet	1 adet
<b>2. tip bileşen</b>		1 adet	2 adet
<b>3. tip bileşen</b>	3 adet	2 adet	

Çizelge 4. Tedarikçilerin bileşen kapasitesi

bileşenler	Tedarikçiler		
	1.tedarikçi	2.tedarikçi	3.tedarikçi
<b>1.tip bileşen</b>	300 adet	300 adet	200 adet
<b>2.tip bileşen</b>	200 adet	300 adet	350 adet
<b>3.tip bileşen</b>	300 adet	200 adet	250 adet

Çizelge 5. Talep

Ürün	Zaman periyodu		
	1	2	3
<b>1</b>	50	45	53
<b>2</b>	35	50	50
<b>3</b>	45	55	45

Çizelge 6. İşlem süreleri (dakika)

Ürün	İş istasyonları			
	S1	S2	S3	S4
1	5		4	10
2	7	7	5	
3	7	6	10	

Çizelge 7. İşlem rotaları

Ürün	İşlem gerektiren istasyonlar		
1	S1	S3	S4
2	S1	S2	S3
3	S1	S2	S3

Çizelge 8. Karşılanamayan taleplerin bir sonraki döneme aktarılma birim maliyeti

Maliyet	“Backlogging”		
	Zaman periyodu		
Ürünler	1	2	3
1	40	40	40
2	45	45	45
3	50	50	50

Çizelge 7’de görüldüğü üzere, tüm ürün tiplerinin 3 tip işlem görmesi gerekmektedir. Bu işlemler, ürün tiplerine göre farklı iş istasyonlarında gerçekleşmektedir. Ürünlerin her birinin, bitmiş ürün olarak talebi karşılamaya hazır olacak bir ürün haline gelebilmesi için geçmesi gereken işlem rotaları, istasyonlar bazında çizelgede yer almaktadır.

Ele alınan problem için melez benzetim/analitik çözüm yaklaşımı adımları uygulanarak, her bir iterasyonda elde edilen sonuçlar Çizelge 9’da verilmiştir. Çizelgedeki değerler, karşılanamayan taleplerin bir sonraki zaman dönemine aktarılamadığı, ceza maliyetlerinin ortaya çıkmasına yol açtığı varsayılarak elde edilmiş sonuçlardır. Çizelge 9’da her bir ürün tipi için, her bir zaman dönemi dikkate alınarak üretilecek ürün miktarları, ayrıca bu ürünlerin üretimleri sonucu oluşan toplam maliyetler yer almaktadır.

Çizelge 9’da yer alan sonuçlar değerlendirilirse; ancak 5. iterasyonda ürünlerin üretim miktarlarına ilişkin elde edilen sonuçların bir önceki iterasyona yakınsadığı görülmektedir. Bu durum göz önüne alınarak analitik modelleme yaklaşımı ile elde edilen üretim miktarlarına ilişkin sonuçların, gerçek ortam koşullarındaki değişkenliklerin yansıtıldığı benzetim modeline aktarılması ile kapasite kısıtının aşıldığı anlaşılabilmektedir. Bu bağlamda, analitik modelden elde edilen optimum üretim miktarlarının, benzetim modeli açısından problem tanımında verilen kapasite değerinde olurlu olmadığı anlaşılabilir. 1. iterasyonda belirlenen optimum üretim miktarının gerçekleştirilmesi için gereken kapasitenin gerçek üretim koşulları (taşımalar, makinelere ve taşıyıcılara ilişkin bozulmalar, kuyruk oluşumları) dikkate alındığında çok daha yüksek olması gerektiği söylenebilir. Bu nedenle 1. iterasyondan sonra kapasite düzleştirilmeleri her bir iterasyon sonrasında uygulanarak, elde edilen düzleştirilmiş kapasiteler bir sonraki iterasyonda analitik modeldeki kapasite kısıtına yansıtılmıştır. Bu tekrarlamalı yaklaşım, analitik model ile belirlenen üretim miktarı benzetim modeline yansıtılarak elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde kapasite kısıtı sağlanıyor ise

son bulur. Bu durumda belirlenen üretim miktarı analitik modelleme açısından optimum olduğu gibi; ayrıca benzetim modelleme açısından da olurlu bir çözüm olur. Bu durumda 4. ve 5. iterasyonda elde edilen sonuçlar, her bir ürün tipi için optimum üretim miktarı olarak değerlendirilmektedir.

Çizelge 9. İterasyonlardan elde edilen sonuçlar

Zaman dönemleri	Ürünler	İterasyon Numarası				
		1. İterasyon	2. iterasyon	3. iterasyon	4. iterasyon	5. iterasyon
		Üretim Miktarı (adet)				
Periyot 1	1	53	50	50	50	50
	2	35	16	15	15	15
	3	41	28	26	26	26
Periyot2	1	42	45	47	47	47
	2	42	19	15	14	14
	3	42	28	26	25	25
Periyot 3	1	53	53	51	51	51
	2	33	13	12	11	11
	3	42	27	25	24	24
Toplam maliyet (TL)		102913,4	127542,3	130401,2	130654,2	130927,4

Analitik modelleme yaklaşımı ile problemde belirlenen kapasite değerini sağlayan optimum üretim miktarı 1. iterasyonda gösterilmiş olup, bu üretim miktarının gerçekleşebilmesi durumunda amaç fonksiyonu değeri çizelgeye yansıtılmıştır. Ancak yukarıda sözü edilen üretim miktarları gerçek üretim koşulları dikkate alındığında benzetim modeli açısından olurlu değerleri sağlamadığından, uygulanan melez benzetim/analitik yaklaşımı sonrasında 6. iterasyon sonucu elde edilen optimum üretim oranlarının gerçekleşmesi durumunda ortaya çıkacak olan maliyetler yaklaşık % 27 oranında artış göstermiştir. Maliyetlerdeki bu artış, üretim miktarında azalmaların ortaya çıkması nedeniyle tüm zaman dönemlerine ilişkin karşılama beklenen talep miktarlarının karşılanamaması dolayısıyla eksiklik maliyetlerinin ortaya çıkmasından kaynaklanmaktadır.

Özellikle 2. tip ve 3. tip ürünlerin üretim miktarlarında, 1. iterasyona göre büyük azalmaların olduğu tablodan anlaşılabilmektedir. 1.iterasyonda elde edilen optimum üretim miktarının, 1. Tip ürün açısından tamamı 6. iterasyonda sağlanabilirken, 2. tip ürünün toplam üretim miktarının ancak yaklaşık % 36.5, 3. tip ürünün ise % 60'ının üretiminin belirlenen kapasitede (800 dakika/hafta) gerçekleşebildiği anlaşılabilmektedir.

Çizelgede belirtilen iterasyonlara ilişkin melez modelleme yaklaşımını oluşturan matematiksel programlama sonuçlarının Lindo programı ile, bu çıktılarda yer alan üretim miktarlarının yansıtıldığı benzetim modeli Siman simülasyon dili kullanılarak elde edilmiştir (Pegden vd., 1990).

Karşılanamayan taleplerin bir sonraki döneme aktarılma durumu göz önüne alınırsa (backlogging durumuna izin verilirse), melez benzetim/analitik çözüm yaklaşımı sonucunda elde edilen iterasyon sonuçları Çizelge 10'da her bir iterasyon dikkate alınarak verilmiştir.

Gerçek üretim koşulları dikkate alındığında 1. iterasyonda belirlenen optimum üretim miktarının belirlenen kapasitede üretiminin gerçekleşemeyeceği, bu üretim miktarına

ulaşabilmek için belirlenmesi gereken kapasitenin çok daha yüksek olması gerektiği anlaşılabilmektedir. Ancak 3. iterasyondan sonra üretim oranları belirlenen kapasite açısından olurlu olmaktadır. İterasyonlar sonucu elde edilen optimum üretim miktarının gerçekleşmesi sonucu ortaya çıkacak maliyetler, ilk iterasyona oranla yaklaşık % 67 oranında artış göstermektedir. Özellikle 2. ve 3. tip ürünlerin üretim miktarlarında büyük azalışların yaşanması sebebiyle karşılanamayan taleplerin bir sonraki döneme aktarılması durumunun ortaya çıkaracağı maliyetler, maliyetlerde artışa neden olmuştur. Bu durum Çizelge 10'da görülebilmektedir. Bu 2 problem melez benzetim/analitik modelleme yaklaşımı ile çözülmüş ve elde edilen sonuçlar, karşılaştırılmalı olarak Çizelge 11 ve 12'de verilmiştir.

Çizelge 10. İterasyonlardan elde edilen sonuçlar (karşılanamayan talebe izin verildiği durum)

Zaman dönemleri	Ürünler	İterasyon Numarası			
		1. iterasyon	2. iterasyon	3. iterasyon	4. iterasyon
		Üretim Miktarı (adet)			
Periyot 1	1.tip	50	50	50	50
	2.tip	35	16	15	15
	3.tip	43	28	26	26
Periyot2	1.tip	45	45	45	45
	2.tip	40	19	18	18
	3.tip	42	28	27	27
Periyot 3	1.tip	53	53	53	53
	2.tip	35	15	12	12
	3.tip	41	27	26	26
Toplam maliyet (TL)		116357,1	188919,5	194295,7	194295,7

Çizelge 11. Toplam üretim oranlarının karşılaştırılması

İterasyonlar	Talebin bir sonraki periyotta karşılanmasına izin verilmediği durum			Talebin bir sonraki periyotta karşılanmasına izin verildiği durum		
	Toplam üretim miktarı					
	1. tip ürün	2. tip ürün	3. tip ürün	1. tip ürün	2. tip ürün	3. tip ürün
1. iterasyon	148	110	125	148	110	126
Son iterasyon	148	40	75	148	45	79

Çizelge 11'de, 2 farklı model için ilk iterasyonda ve son iterasyonda elde edilen toplam üretim miktarı tüm ürün tipleri dikkate alınarak gösterilmiştir. Bu çizelgede yer alan üretim miktarı 2 üretim planlama modeli açısından karşılaştırılırsa, taleplerin bir sonraki döneme aktarıldığı yaklaşımda üretim miktarının mevcut kapasite ile sağlanması 3 iterasyondan sonra gerçekleşmiştir. Diğer modelde optimum üretim miktarının 4. iterasyondan sonra elde edilebildiği dikkate alınır, 2. üretim planlama modelinde daha hızlı sonuç elde edilebildiği söylenebilir. Ayrıca her 2 modelde de elde edilen sonuçlar birbirine çok yakın değerler olup 2.

modelde 2. ve 3. ürün tipi için elde edilen toplam üretim miktarının biraz daha yüksek olduğu söylenebilir.

Çizelge 12. maliyetlerin karşılaştırılması

İterasyonlar	Toplam maliyetler (TL)	
	Talebin bir sonraki periyotta karşılanmasına izin verilmediği durum	Talebin bir sonraki periyotta karşılanmasına izin verildiği durum
1.İterasyon	102913,4	116357,1
Son İterasyon	130927,4	194295,7

Dikkate alınan 2 farklı üretim planlama modeli, toplam maliyetler bakımından karşılaştırılmak istenirse; 2. model olan karşılanamayan taleplerin bir sonraki döneme aktarılması durumunun analitik modele yansıtılması sonucu ortaya çıkan maliyetler, bu taleplerin bir sonraki dönemde üretim maliyetlerine sebep olması nedeniyle, ilk modele göre daha yüksek maliyet değerlerinin elde edildiği Çizelge 12’de görülebilmektedir.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada, analitik ve benzetim modellerinin bir arada kullanıldığı melez yaklaşıma yer verilmiştir. Bu yaklaşım kullanılarak her iki yaklaşımın ayrı ayrı kullanılması sonucunda sağladıkları avantajlardan yararlanılabilmemiş ayrıca yaklaşımların sebep olacakları dezavantajlar da önlenebilmiştir. Tedarik zinciri yapısı içerisinde bulunan bir üretim birimi için üretim planlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modelde talebin bir sonraki periyotta karşılanmasına izin verildiğini, ve de izin verilmediğini dikkate alınan 2 tip üretim planlama modeli için melez benzetim/analitik modelleme yaklaşımı uygulanmıştır. Benzetim modelinde, probleme ilişkin geliştirilen DP modelinden farklı olarak, gerçek üretim sistemlerine ait karakteristikler modele yansıtılabilmıştır. Bu özelliklerin analitik modele yansıtılabilmesi çok zor olmakla birlikte sadece analitik modelleme yaklaşımı kullanılarak elde edilecek olan optimum çözüm olurlu bir çözüm olmayabilmektedir. Tekrarlamalı melez benzetim/analitik yaklaşımı tutarsızlıkların giderilmesine dolayısıyla gerçek en iyi çözümün bulunmasına olanak vermiştir.

Benzetim modelleme yaklaşımı ile doğrusal olarak değişiklik göstermeyen operasyonlara ilişkin karakteristikler modele kolayca dahil edilebilir. Benzetim modelde üretim sisteminde iki adet taşıyıcı ile istasyonlar arası taşımaların yapıldığı varsayılmıştır; ayrıca taşımayı bekleyen bileşenler veya işlem görmek için rotasında bulunan bir sonraki iş istasyonuna taşımayı bekleyen işlem görmüş parçalar taşıyıcı kuyruğuna girmektedir. Taşıyıcıların kuyrukta bulunan parçalar arasından kendisine en yakında bulunan parçayı rotasındaki istasyona taşımak üzere seçtiği söylenebilir. Bu gerçek üretim sistemine ait durumlar dışında; ayrıca istasyonlarda tek bir makine yer alması sebebiyle işlem görmeyi bekleyen parçalar makineler önünde kuyruk oluşturacak, “ilk giren ilk çıkar” kuralına uygun olarak kuyruktaki ilk parça işlem görmek üzere makineye aktarılacaktır. Bu karakteristiklerden farklı olarak, taşıyıcılara ilişkin bozulma durumları ve istasyonlardan bazılarında yer alan makinelere ilişkin bozulma durumlarında geçen süreler benzetim modeline yansıtılmıştır.

Her iki tip üretim planlama modelinde de, gerçek üretim karakteristikleri dikkate alındığında üretim miktarlarının sağlanabilmesi açısından, verilen haftalık kapasite süreleri,

yapılan çoklu iterasyonlar sonrasında olurlu sonuç vermiştir. Her iki modelleme yaklaşımında da, 1. iterasyonda analitik model açısından optimum üretim miktarı belirlenirken dikkate alınan kapasite değerleri gerçekte o üretim değerlerine ulaşabilmek için çok daha yüksek olmalıdır. Bu amaçla her bir zaman periyodunda talep edilen ürünlerin üretimini sağlanabilmesi için kapasite artırılması yoluna gidilebilir. Bu amaçla iş istasyonlarında yer alan makine sayıları artırılabilir.

Sonuç olarak, tedarik zinciri yapısında bulunan bir üretim birimine ait üretim planlama probleminin çözümünde melez benzetim/analitik çözüm yaklaşımına başvurularak belirlenen kapasite değerlerinin gerçek üretim sistemi açısından olurlu olmadığı, üretim miktarlarının çok daha az ve açığa çıkan üretim maliyetlerinin de çok daha yüksek olduğu gözlemlenebilmiştir.

İleride yapılacak olan çalışmada ele alınan tedarik zinciri ağı dağıtım fonksiyonu da dikkate alınarak genişletilebilir. Deterministik olan mevcut model bulanık küme teorisi ve stokastik yöntemler dikkate alınarak geliştirilebilir.

## KAYNAKLAR

- Acar Y., Kadıpaşaoğlu, S. N., Day J. M. (2008): "Incorporating Uncertainty in Optimal Decision Making: Integrating Mixed Integer Programming and Simulation to Solve Combinatorial Problems", *Computers & Industrial Engineering*, Cilt 56, No. 1, s. 106-112.
- Acar Y., Kadıpaşaoğlu S. N., Schipperijn P. (2010): "A Decision Support Framework for Global Supply Chain Modelling: An Assessment of the Impact of Demand, Supply and Lead-Time Uncertainties on Performance", *International Journal of Production Research*, Cilt 48, No. 11, s. 3245-3268.
- Arshinder K. A., Deshmukh S. G. (2008): "Supply Chain Coordination: Perspectives, Empirical Studies, and Research Directions", *International Journal of Production Economics*, Cilt 115, s. 316-335.
- Bilgen B., Özkarahan I. (2004): "Strategic, Tactical and Operational Production Distribution Models: A Review". *International Journal of Technology Management*, Cilt 28, s. 151-171.
- Byrne M. D., Bakir M. A. (1999): "Production Planning Using a Hybrid Simulation-Analytical Approach", *International Journal of Production Economics*, Cilt 59, No. 1, s. 305-311.
- Byrne M. D., Hossain M. M. (2005): "Production Planning: An Improved Hybrid Approach", *International Journal of Production Economics*, Cilt 93-94, No. 1, s. 225-229
- Chen Z.L., Pundoor G. (2009), "Integrated order scheduling and packing, *Production and Operations Management*", Cilt 18, No.6, s. 672-692.
- Gnoni, M.G., Iavagnilio, R., Mossa, G., Mummolo, G., ve Lena, A. D. (2003): "Production Planning of a Multi-Site Manufacturing System by Hybrid Modeling: A Case Study From The Automotive Industry", *International Journal Of Production Economics*, Cilt 85, No. 2, s. 251-262.
- Kim B., Kim S. (2001): "Extended Model for Hybrid Production Planning Approach", *International Journal Of Production Economics*, Cilt 73, s. 165-173.
- Ko H. J., Ko C. S., Kim T. (2006): "A Hybrid Optimization/Simulation Approach for a Distribution Network Design of 3PLS", *Computer & Industrial Engineering*, Cilt 50, No. 1, s. 440-450.
- Lee Y. H., Kim S. H., Moon C. (2002): "Production-Distribution Planning in Supply Chain Using a Hybrid Approach", *Production Planning & Control*, Cilt 13, No. 1, s. 36-46.

- Lee Y. H., Kim S. H. (2002): "Production-Distribution Planning in Supply Chain Considering Capacity Constraints, Computers & Industrial Engineering, Cilt 43, No.1-2, s.169-190.
- Nolan R. L., Sovereign M. G. (1972): "A Recursive Optimization and Simulation Approach to Analysis with an Application to Transportation Systems", Management Science, Cilt 18, No. 12, s. 679-690.
- Pegden C. D., Shannon R. E., Sadowski R. P. (1990): "Introduction to Siman", New Jersey: McGraw-Hill Inc.
- Peidro D., Mula J., Diaz M. M., Vicens E. (2010): "Mathematical Programming Models for Supply Chain Production and Transport Planning", European Journal of Operational Research, Cilt 204, s. 377-390.
- Safaei A. S., Moattar H. S. M., Farahani R. Z., Jolai F., Ghodsypour S. H. (2010). Integrated Multi-Site Production-Distribution Planning in Supply Chain by Hybrid Modeling, International Journal of Production Research, Cilt 48, No.14, s. 4043-4069.
- Shanthikumar J. G., Sargent R. G. (1983): "A Unifying View of Hybrid Simulation & Analytic Models and Modeling", Operation Research, Cilt 31, No. 6, s. 1030-1052.