

## BELİRSİZ VE DİNAMİK TALEP ALTINDA MALZEME İHTİYAÇ PLANLAMASI İÇİN BİR OPTİMİZASYON MODELİ

Meliha ULUPINAR\*  
Ş. Armağan TARIM†

### Öz

Çok yaygın olarak kullanımına rağmen MRP sistemleri hala birçok zayıflığı bünyesinde taşımaktadır. Birincisi, talepteki belirsizliğin MRP modellerine etkin şekilde katılmamasıdır. Belirsizlik gösteren talebin, olasılık dağılım fonksiyonu yerine, beklenen talep olarak MRP modelinde dikkate alınması, optimal çözümden sapmalara neden olmaktadır. İkinci sorun ise, MRP’de sistem sinirliliğidir; planlanan siparişlerin durağan olmaması durumudur. Üretim sürecinin bir aşamasındaki durağan olmama durumu tüm sistemi olumsuz etkilemektedir. MRP’deki zayıflıkları giderebilmek için Tarım-Kingsman’ın tek ve çok kademeli stok sistemleri için dinamik-stokastik talebi karşılamaya yönelik geliştirdiği matematiksel model MRP sistemlerine uyarlanmıştır. Bu yöntemle, MRP’de optimum sonucu verecek sipariş miktarları ve zamanları tespit edilmiştir. Hangi dönemde, hangi üst sınıra kadar sipariş verilmesi gerektiğini planlama ufkunun başında belirleyen Tarım-Kingsman’ın çalışması MRP sistemini de sinirlilikten uzaklaştıracak potansiyele sahiptir.

**Anahtar Sözcükler:** Malzeme ihtiyaç planlama, belirsizlik, sinirlilik.

### Abstract

#### An Optimization Model for Material Requirement Planning Under Stochastic Dynamic Demand

Although MRP has advantages over statistical inventory control, it has some weak points. One is that uncertainty on demand cannot be added effectively to the MRP models. Another weakness is the system nervousness, which is the state of non-stagnancy of the planned orders.

---

\*Dr., Hacettepe Üniversitesi, Ağaçışleri End. Müh. Bölümü, 06800, Beytepe-ANKARA, meliha@hacettepe.edu.tr.

†Doç.Dr., Hacettepe Üniversitesi, İşletme Bölümü, 06800, Beytepe-ANKARA, armagan.tarim@hacettepe.edu.tr.

This situation in one step of production process affects the whole system. Mathematical model, aimed at meeting the dynamic-stochastic demand developed by Tarım-Kingsman for single and multi-level inventory systems, to eliminate the weaknesses in MRP, adapted to MRP. By this method, order amounts and periods determined those would give the optimum result. In addition, the study of Tarım-Kingsman that determines, at the beginning of the planning, up to which upper limit the orders have to be received has a potential to take the system nervousness away from the MRP system.

**Keywords:** Material requirement planning, uncertainty, nervousness.

## GİRİŞ

Malzeme ihtiyaç planlaması, üretim planlama ve envanter kontrol faaliyetlerini gerçekleştiren bilgisayar destekli bir sistemdir. Malzeme ihtiyaç planlama sistemi, etkili planlamayı, malzeme kontrolünü ve meydana gelebilecek değişikliklerde planların yeniden düzenlenmesini sağlamaktadır. Stok seviyesini minimum seviyede tutarken, gerekli olan malzemenin istenilen yerde ve zamanda hazır olmasını sağlamaktadır.

Malzeme ihtiyaç planlama modellerine yöneltilen eleştirilerin başında, talepteki belirsizliğin modelleme sürecine etkin bir biçimde katılamaması gelmektedir. Yapılan çalışmalar, olasılık dağılımı gösteren dönem talebinin, olasılık dağılım fonksiyonu yerine, sadece beklenen değerinin malzeme ihtiyaç planlaması modelinde dikkate alınmasının, optimal çözümden büyük ölçüde sapmaya yol açacağını göstermiştir. Bu çerçevede araştırmanın amacı, nihai ürüne olan talebin dönemsellik gösterdiği ve belirsizlik taşıdığı durumlarda, üretim sistemi için malzeme ihtiyaç planlamasının yapılabilmesini sağlayacak matematiksel modellerin geliştirilmesidir.

Bu amaçla, kullanılacak modelleme ve çözüm yaklaşımı, temelde çok aşamalı envanter sistemlerinin planlamasında kullanılan yaklaşımlara dayanacaktır. Malzeme ihtiyaç planlama sistemlerinin, özde bağımlı envanter sistemleri olarak düşünülmesi bu doğal bağlantıyı ortaya çıkarmaktadır. Bu noktadan hareketle, Tarım ve Kingsman'ın "dinamik-stokastik" talebi karşılamaya yönelik (t, S) politikasını kullanan matematiksel modelinin malzeme ihtiyaç planlama (MRP) sistemine uygulanması hedeflenmiştir.

## I. MALZEME İHTİYAÇ PLANLAMA SİSTEMİNDEKİ BELİRSİZLİKLER

Malzeme ihtiyaç planlama sistemindeki belirsizlikler talep ve temin olmak üzere iki kaynaktan oluşmaktadır. Talep belirsizliği müşteri siparişlerini etkileyen dış faktörlerden oluşur. Temin belirsizliği ise satıcılardan veya üretim sisteminin iç karakteristiklerinden oluşur. Bu belirsizlikleri bertaraf edebilmek için emniyet stokları ve emniyet temin süreleri sisteme ilave edilebilir (Wacker 1985).

MRP'deki belirsizlikleri dört ana kaynağa bağlanmaktadır;

- 1- Tedarik Zamanı
- 2- Tedarik Miktarı
- 3- Talep Zamanı
- 4- Talep Miktarı

2 ve 4 numaralı kaynaklar miktar belirsizliğini içerdiğinden güvenlik stoklarından elde edilebilirler. 1 ve 3 için asıl önemli olan güvenlik zamanlarıdır.

Belirsizliğin önlenmesinde aşağıdaki yöntemlerin uygulanması yarar sağlayabilir;

- Doğrudan dış kullanımı olan ürünlerin güvenlik stoğu,
- Önemli bir değişken ile üretilen ürünler için güvenlik stoğu,
- Üretimde dar boğaz yaratan ürünlerin güvenlik stoğu,
- Yarı bitmiş ürünlerin güvenlik stoğu,
- Hammaddeler için güvenlik stoğu

Temel amaç, öncelikle bitmiş ürünler için güvenlik stoğu hesaplamaktır (Silver, 1998: 613).

Planlarda sapmaların olması ve sürekli güncellenme ihtiyacının ortaya çıkması sinirlilik (tedirginlik-nervousness) olarak adlandırılmaktadır. Sinirlilik bir anlamda da plan düzensizliğidir (De Kok, Inderfurth 1997:55). MRP'nin en büyük problemlerinden olan *sistem sinirliliği*, hem pratikte, hem de akademik çalışmalarda en büyük ilgi alanı olmuştur (Ho, 1995).

MRP sistem sinirliliğinin çözümleri araştırılmaktadır. Penlesky vd. (1989), iki vade tarihli hōristiği (statik ve dinamik) kıyaslamıştır. Bunu müşteri hizmetleri ve toplam envanter seviyelerine göre yapmıştır. Sridharan vd (1987),

farklı uzunluktaki dondurulmuş aralıkların, son ürün seviyesindeki ana üretim planının durağanlığı üzerindeki etkisini tahlil etmiştir. Daha sonra yapılan bir çalışmada, Sridharan ve Berry (1990), bir başka tek seviyeli deneyde kullanılan alternatif ana üretim planı doldurma yöntemlerinin performanslarını kıyaslamışlardır. Ho (1989), MRP sistem sinirliliği ile ölçülen, alternatif azaltma yöntemlerinin performansı üzerine işlem çevrelerinin etkilerini incelemiştir. Ancak, ürün yapısının her seviyesinde kullanılan, belirsizliği azaltma yöntemlerinin incelendiği geniş bir çalışma çerçevesini temsil eden bir çalışma yapılmamıştır.

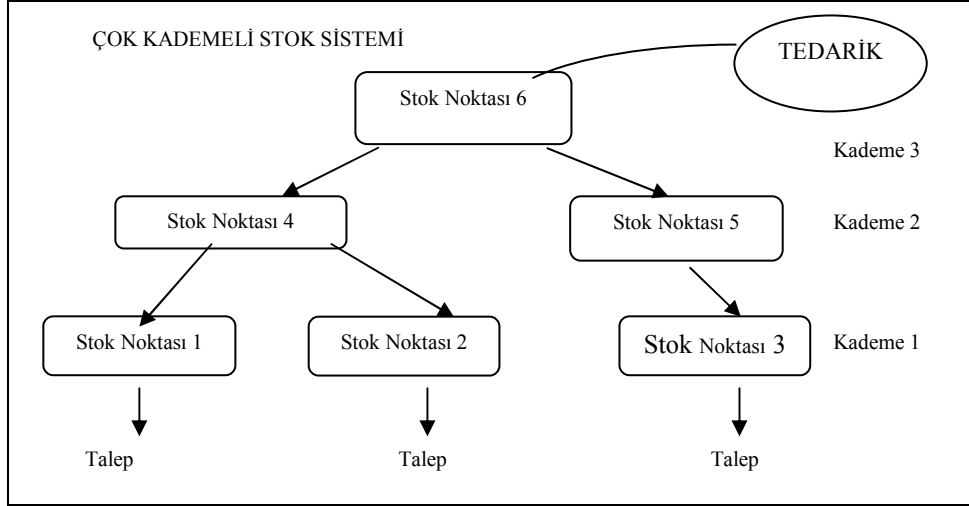
MRP'deki sistem sinirliliği ile başa çıkmakta parti büyüklüğü kurallarının uygulanmasının etkinliği tahlil edilmiştir. Sonuçta, son ürün seviyesindeki "lot-for-lot" kullanımının geleneksel başarısının, sistem sinirliliğinin azaltılması için sadece belirli işlem çevrelerinde işe yaradığı görülmüştür. Parça-Periyod (Part Period Balancing) algoritması ile sipariş büyüklüğü belirleme ve Silver-Meal algoritmasının, toplam maliyet üzerinde ve çoğu işlemdeki sistem sinirliliğini azaltmada iyi performans gösterdiği görülmüştür (Chrwan ve Ho 1999).

## II. ÇOK KADEMELİ STOK SİSTEMLERİ VE MRP

Ters ağaç yapısı gösteren envanter sistemlerinin incelendiği tek kalemlili hiyerarşik yapılarda sistem dışından tedarik edilen miktar tepe noktasında envanter sistemine girmekte ve buradan tepe noktasına bağlı alt düzeydeki envanter noktalarına gönderilmektedir. Bu süreç daha alt düzeyler için de benzer şekilde gerçekleşmektedir. Dışsal talebin en alt hiyerarşik düzeyde karşılandığı bu sistem ters ağaç yapısı özelliği göstermektedir.

Üç kademeli ve altı stok noktalı bir envanter sistemi Şekil 1'de gösterilmiştir. Oklar, malların sistem üzerinden akışını gösterir. Gösterilen sistemde, müşteri talebi sadece kademe 1'de olur. Kademe n'nin kademe n+1'den gelen kendi stokları vardır.

Malzeme ihtiyaç planlaması sistemleri ise ters ağaç yapısı gösteren envanter sistemlerinin ters çevrilmiş şekli olarak düşünülebilmektedir. Bu çerçevede, çok aşamalı envanter sistemlerinde talebin karşılandığı en alt düzeyde nihai ürüne ait parçaların üretim sürecine girdiği ve daha üst hiyerarşik düzeylerde parçaların birleştirilerek en son aşamada nihai ürüne ulaşıldığı görülür. Dolayısıyla, ters ağaç yapısında var olan malzeme akışının yönünün ters çevrilmesiyle elde edilen sistemler ve malzeme ihtiyaç planlama sistemleri arasında analogik bir yapı bulunmaktadır.



Şekil-1: Çok Kademeli Stok Sistemine Bir Örnek

Çalışma, bu analojik tespit çerçevesinde, ters ağaç yapılı envanter sistemleri için, Tarım-Kingsman tarafından geliştirilmiş olan matematiksel modelin malzeme ihtiyaç planlamasına uygulanmasını hedeflemektedir.

### II.1. Tarım ve Kingsman Optimizasyon Modeli

Tarım ve Kingsman, envanter modellerinde önemli bir parametre olan talebin, pratikte planlama aşamasında bilinemeyeceğini, sadece tahmin edilebileceğini savunmaktadır (Tarım ve Kingsman 1996:1-18). Araştırmaları, tahmin edilen talebin gerçekleşmemesi durumunda ise, mevcut stokların oluşan talebi karşılayamama veya planlanandan fazla stok bulundurma sonuçlarını yaratacağını öngörmektedir. Stoksuz kalmamaya yönelik bulundurulacak emniyet stoğunun da, daha fazla stok miktarına ve daha yüksek sipariş maliyetine yol açacağı ifade edilmektedir. Dolayısıyla envanter problemlerinin çözümüne yönelik çalışmaların, öngörü hatalarını dikkate almasının ve dinamik-stokastik talebi karşılamaya yönelik hazırlanmasının daha gerçekçi olacağı iddia edilmektedir. Tarım ve Kingsman dinamik ve stokastik talebi karşılamaya yönelik (t, S) politikasını kullanan bir yöntem geliştirmişlerdir.

Dinamik ve stokastik talebin karşılanmasına yönelik çalışmalardan, Bookbinder ve Tan'ın, Tarım ve Kingsman'ın araştırmasındaki hareket noktasını oluşturmaktadır.

Bookbinder ve Tan ise çalışmalarında (Bookbinder ve Tan 1988: 1096-1108) ;

$$E\{TM\} = \sum_{t=1}^N C_h E\{X_t\} + C_o \delta_t$$

ile ifade edilen beklenen toplam maliyeti en aza indirecek sipariş zamanlarını ve sipariş miktarlarını bulmaya yönelmiştir.

Maliyet fonksiyonunun bağlı olduğu şartlar ise şöyle sunulmaktadır:

$$E\{X_t\} = X_o + \sum_{i=1}^t U_i - \sum_{i=1}^t E\{d_i\}$$

$$\Pr\{X_t \geq 0\} \geq \alpha_t$$

$$\delta_t = \begin{cases} 1; U_t > 0, \\ 0; U_t \leq 0 \end{cases}$$

$$U_t \geq 0$$

Bu ifadelerde :

N : planlama ufkündeki dönem sayısı,

$\delta_t$  : sipariş verilen dönemlerde 1, diğer dönemlerde 0 değerini alan değişken,

$X_t$  : t dönemi sonunda elde kalan stok miktarı,

$X_o$  : ilk dönemde elde bulunan stok miktarı,

$U_t$  : t dönemindeki sipariş miktarı

için kullanılmaktadır.

Problemde ortaya konan varsayımlar ise şunlardır:

a) t dönemindeki talep,  $d_t$ ,  $g_t(d_t)$  olasılık dağılım fonksiyonuna bağlı rassal talep değişkenidir ve t döneminin başında ortaya çıkmaktadır.

b) Her dönemdeki talep diğerinden bağımsızdır ve ortalamaları farklı olabilmektedir.

c) Bir dönemden diğerine geçerken, elde kalan stokların birim elde tutma maliyeti  $C_h$ 'dir.

d) Verilen her siparişin, büyüklüğüne bakılmaksızın, sipariş maliyeti  $C_o$ 'dur.

e) t dönemi sonunda, elde bulunan stoğun negatif olmama olasılığı  $\alpha_t$ 'dir.

f)  $\alpha_t$ 'nin yüksek seçilmesi durumunda, karşılanmayan talep az olacak, dolayısıyla stok bulundurmama maliyeti düşük olacak ve ihmal edilecektir.

Bu varsayımların ışığında Bookbinder ve Tan, oluşacak dinamik-stokastik problemi çözebilmek için önce sipariş zamanları tespit etmekte, daha sonra bu zamanlarda verilecek sipariş miktarlarını belirlemektedir. Bu çözüm yönteminde, sipariş zamanlarının ve sipariş miktarlarının karşılıklı birbirine bağımlılığı ihmal edilmektedir. Bu nedenle Bookbinder ve Tan'ın çalışması optimum maliyet değerlerine ulaşamamakta ve sezgisel olarak nitelendirilmektedir. Tarım ve Kingsman ise bu yönteme karşılık, sipariş zaman ve miktarlarının birlikte tespit edileceği, dolayısıyla bu iki unsurun birbirine bağımlılığının ihmal edilmediği bir yöntem önermektedir. Bu yöntemin minimum değer hedeflenen amaç fonksiyonu şöyledir:

$$E\{TM\} = \int \int \dots \int_{d_1, d_2, \dots, d_N} \left\{ \sum_{t=1}^N C_o \delta_t + C_h X_t \right\} g_1(d_1) g_2(d_2) \dots g_N(d_N) d(d_1) d(d_2) \dots d(d_N)$$

Şartlar ise şöyledir:

$$U_t - M\delta_t \leq 0 \quad t = 1, \dots, N,$$

$$X_t = X_0 + \sum_{i=1}^t (U_i - d_i) \quad t = 1, \dots, N,$$

$$\Pr\{X_t \geq 0\} \geq \alpha_t \quad t = 1, \dots, N,$$

$$U_t \geq 0, \quad \delta_t \in \{0, 1\} \quad t = 1, \dots, N,$$

M büyük bir tam sayıdır.

Tarım ve Kingsman, m adet sipariş döneminin olduğu bir sistemde, bu dönemleri  $\{T_1, T_2, \dots, T_m\}$  ile ifade etmektedir. Bu dönemlerle ilgili:

$$T_j \geq T_{j-1} \text{ ve } T_m \leq N \text{ geçerlidir.}$$

Bu tanıma göre, her döneme ait  $U_t$  sipariş miktarları,  $T_1, T_2, \dots, T_m$  sipariş dönemleri dışında sıfır olacaktır. Bir dönemden diğerine aktarılan stok miktarı ise artık şöyle ifade edilmektedir:

$$X_t = X_0 + \sum_{j=1}^i U_{T_j} - \sum_{k=1}^t d_k,$$

$$T_i \leq t < T_{i+1},$$

$$i = 1, \dots, m$$

Bookbinder ve Tan,  $U_t$  yerine, beklenen stok düzeyindeki değişikliği ifade edebilecek  $V_{T_i} \in \mathbb{R}$  değişkenini tanımlamıştır:

$$\begin{aligned} U_{T_1} &= V_{T_1} \\ U_{T_2} &= V_{T_2} + d_{T_1} + \dots + d_{T_2-1} \\ &\vdots \\ &\vdots \\ U_{T_m} &= V_{T_m} + d_{T_{m-1}} + \dots + d_{T_m-1} \end{aligned}$$

Yukarıdaki ifadelerin toplanması halinde,

$$\sum_{j=1}^i U_{T_j} = \sum_{j=1}^i V_{T_j} + \sum_{k=1}^{T_i-1} d_k, i = 1, \dots, m$$

ifadesine ulaşılabilecektir. Böylelikle bir dönemden diğerine aktarılan stok miktarı şöyle ifade edilebilecektir:

$$X_t = X_0 + \sum_{j=1}^i V_{T_j} - \sum_{k=T_i}^t d_k, T_i \leq t < T_{i+1}, i = 1, \dots, m$$

Görülmektedir ki,  $X_t$ , en son sipariş döneminden bulunulan periyoda kadar oluşan talebe bağlı olmaktadır.

i. sipariş dönemindeki üst stok seviyesi olarak açıklanabilecek  $R_{T_i}$  değişkeni tanımlanınca:

$$R_{T_i} = X_0 + \sum_{j=1}^i V_{T_j}$$

$X_t$  şu şekilde ifade edilebilecektir:

$$X_t = R_{T_i} - \sum_{k=T_i}^t d_k, T_i \leq t < T_{i+1}, i = 1, \dots, m$$

Böylelikle Bookbinder ve Tan'ın önerdikleri çözüm, bu yeni  $R_{T_i}$  ve  $T_i$  değişkenleri için iki aşama yerine tek aşamada çözülebilecek hale gelmiştir.

Çözümü kolaylaştırmak için, Tarım ve Kingsman yeni bir ifade önermektedir:

$$X_t = r_t - d_t, t = 1, \dots, N$$



Bu ifadeye göre, eğer  $t$  döneminde herhangi bir sipariş verilmemiş ise,  $r_t, X_{t-1}$  'e eşit olacaktır. Bu durum farklı bir şekilde gösterilebilir:

$$\left. \begin{array}{l} r_t - X_{t-1} \leq M\delta_t \\ r_t \geq X_{t-1} \end{array} \right\} \quad t = 1, \dots, N$$

Görülmektedir ki,  $\delta_t = 1$  olduğu dönemlerdeki  $r_t$  değerleri aslında  $R_{T_i}$  'leri ifade edecektir:

$$r_{T_i} = R_{T_i}, i = 1, \dots, m$$

Servis düzeyinin olasılıksal ifadesi yukarıdaki düzenlemelerin ışığında yeni bir hal alacaktır:

$$\Pr \left\{ R_{T_i} \geq \sum_{k=T_i}^t d_k \right\} \geq \alpha_t, \quad t = 1, \dots, N$$

Bu ifade tekrar düzenlendiğinde,

$$G_{d_{T_i} + d_{T_{i+1}} + \dots + d_t} (R_{T_i}) \geq \alpha_t, \quad T_i \leq t < T_{i+1}, \quad i = 1, \dots, m$$

ve daha sonra

$$X_t \geq G_{d_{T_i} + d_{T_{i+1}} + \dots + d_t}^{-1} (\alpha_t) - \sum_{k=T_i}^t d_k, \quad T_i \leq t < T_{i+1}, \quad i = 1, \dots, m$$

haline gelecektir.

$G_{d_{T_i} + d_{T_{i+1}} + \dots + d_t} (\cdot)$ ,  $d_{T_i} + d_{T_{i+1}} + \dots + d_t$  ifadesinin toplam olasılık dağılım fonksiyonu olarak kullanılmaktadır. Tarım ve Kingsman tarafından  $G$ 'nin artan fonksiyon olduğu varsayılmakta, bu nedenle  $G^{-1}$  fonksiyonu bire bir tanımlanan bir fonksiyon olarak ifade edilmektedir.

$G_{d_{T_i} + d_{T_{i+1}} + \dots + d_t}^{-1} (\cdot)$  fonksiyonu, sadece  $T_i$  değerleri belirlendikten sonra çözülebilmektedir. Oysa ki uygun sipariş dönemleri uygun  $G_{d_{T_i} + d_{T_{i+1}} + \dots + d_t}^{-1} (\cdot)$  değerleri bulunmadan belirlenemeyecektir. Bu döngüden kurtulmak için Tarım ve Kingsman karışık tamsayı programlama yöntemi kullanmışlardır.

Problem ufkunun sınırlı olması dolayısıyla,  $G_{d_{T_1}+d_{T_1+1}+\dots+d_t}^{-1}(\cdot)$  değerlerinin tüm durumlar için ifade edilebileceğini savunmaktadır. Bunu sağlamak için sadece 1 ve 0 değerleri alabilen  $I_{tj}$  değişkeni tanımlanmıştır. Bu değişken, eğer en son sipariş  $t-j+1$  döneminde verilmişse 1 aksi halde 0 olabilmektedir. Bu değişken kullanılarak yukarıdaki ifadeler tekrar düzenlenebilir:

$$G_{d_{T_1}+d_{T_1+1}+\dots+d_t}^{-1}(\alpha_t) = \sum_{j=1}^t G_{d_{t-j+1}+d_{t-j+2}+\dots+d_t}^{-1}(\alpha_t) \cdot I_{tj}, t = 1, \dots, N$$

$$X_t \geq \sum_{j=1}^t \left( G_{d_{t-j+1}+d_{t-j+2}+\dots+d_t}^{-1}(\alpha_t) - \sum_{k=t-j+1}^t d_k \right) I_{tj}, t = 1, \dots, N$$

En son verilen sipariş dönemini tespitite kullanılmakta olan  $I_{tj}$  değişkeni, bir planlama ufkunda sadece bir tane en son sipariş verilen dönem bulunması sebebiyle şu şekilde ifade edilebilmektedir:

$$\sum_{j=1}^t I_{tj} = 1, t = 1, \dots, N.$$

Tarım ve Kingsman, yukarıdaki ifadeyi değişik durumlarda şu şekilde test etmektedir:

a) Eğer  $\delta_{t-j+1}=1$  ve  $\sum_{k=t-j+2}^t \delta_k = 0$  ise,  $k=t-j+2, t-j+3, \dots, t$  için tüm  $\delta_k$  değerleri 0 olacaktır. Bu durumda  $I_{tj}=1$  olmalıdır ve  $t-j+1$  döneminde,  $t$  döneminden önceki en son sipariş verilmiştir.

b) Eğer  $\delta_{t-j+1}=0$  ve  $\sum_{k=t-j+2}^t \delta_k = 0$  ise,  $t$  döneminden önceki en son sipariş dönemi  $t-j+1$  döneminden önce olduğundan  $I_{tj}=0$  olmalıdır.

c) Eğer  $\delta_{t-j+1}=1$  ve  $\sum_{k=t-j+2}^t \delta_k \geq 1$  ise,  $t$ 'den önceki sipariş dönemi  $t+j-1$  döneminden sonra olacaktır ve  $I_{tj}=0$  olmalıdır.

Tüm bu durumlar sonucunda aşağıdaki ifadeler oluşturulabilir:

$$I_{tj} \geq \delta_{t-j+1} - \sum_{k=t-j+2}^t \delta_k, t = 1, \dots, N, j = 1, \dots, t$$

$$\sum_{j=1}^t I_{tj} = 1, t = 1, \dots, N$$

Sonuç olarak beklenen toplam maliyet amaç fonksiyonu ve şartlar tekrar oluşturulabilir:

$$E\{TC\} = \int \int \dots \int \left\{ \sum_{t=1}^N C_o \delta_t + C_h X_t \right\} g_1(d_1) g_2(d_2) \dots g_N(d_N) d(d_1) d(d_2) \dots d(d_N)$$

$$X_t = r_t - d_t, \quad t = 1, \dots, N$$

$$r_t \geq X_{t-1}, \quad t = 1, \dots, N$$

$$r_t - X_{t-1} \leq M \delta_t, \quad t = 1, \dots, N$$

$$X_t \geq \sum_{j=1}^t \left( G_{d_{t-j+1} + d_{t-j+2} + \dots + d_t}^{-1}(\alpha_t) - \sum_{k=t-j+1}^t d_k \right) I_{tj}, \quad t = 1, \dots, N$$

$$\sum_{j=1}^t I_{tj} = 1, \quad t = 1, \dots, N$$

$$I_{tj} \geq \delta_{t-j+1} - \sum_{k=t-j+2}^t \delta_k, \quad t = 1, \dots, N, \quad j = 1, \dots, t,$$

$$X, r \geq 0, \quad \delta, I \in \{0, 1\}$$

Karar yöntemi olarak Bookbinder ve Tan'ın statik-dinamik belirsizlik stratejisi kullanıldığı için, sipariş dönemleri,  $\delta_t$  ve  $I_{tj}$ , talepler belli olmadan planlama ufkunun başında belirlenmelidir. Dolayısıyla stokastik hale gelen  $r_t$ ,  $X_t$  ve  $d_t$  değişkenleri beklenen olarak ifade edilmelidir. Bu sebeple yukarıdaki ifadeler şu hale gelmektedir:

$$\text{Min } E\{TC\} = \sum_{t=1}^N C_o \delta_t + C_h E\{X_t\}$$

için,

$$\begin{aligned}
E\{X_t\} &= E\{r_t\} - E\{d_t\}, & t = 1, \dots, N \\
E\{r_t\} &\geq E\{X_{t-1}\}, & t = 1, \dots, N \\
E\{r_t\} - E\{X_{t-1}\} &\leq M\delta_t, & t = 1, \dots, N \\
E\{X_t\} &\geq \sum_{j=1}^t \left( G_{d_{t-j+1}+d_{t-j+2}+\dots+d_t}^{-1}(\alpha_t) - \sum_{k=t-j+1}^t E\{d_k\} \right) I_{tj}, & t = 1, \dots, N \\
\sum_{j=1}^t I_{tj} &= 1, & t = 1, \dots, N \\
I_{tj} &\geq \delta_{t-j+1} - \sum_{k=t-j+2}^t \delta_k, & t = 1, \dots, N, \quad j = 1, \dots, t, \\
E\{X\}, E\{r\} &\geq 0, \quad \delta, I \in \{0,1\}
\end{aligned}$$

Bu model ile sipariş dönem ve miktarları aynı anda, tüm planlama ufku için bir defada bulunmaktadır.

### III. SAYISAL ÇALIŞMALAR

Tarım-Kingsman'ın, tek ve çok kademeli stok sistemleri için geliştirdiği, dinamik-stokastik talebi karşılamaya yönelik sipariş büyüklüğü belirleme modeli MRP'ye uygulanmıştır.

Çalışmada, 10 periyottan oluşan planlama süreci esas alınmıştır. İki ayrı amaç fonksiyonu geliştirilmiştir. Amaç fonksiyonları aşağıda verilmiştir;

$$\begin{aligned}
Z_{min} &= 10*\delta_A + 30*\delta_B + 50*\delta_C + 70*\delta_D + 110*\delta_E + 150*\delta_F + \\
&1*X_A + 0.7*X_B + 0.6*X_C + 0.4*X_D + 0.3*X_E + 0.2*X_F)
\end{aligned}$$

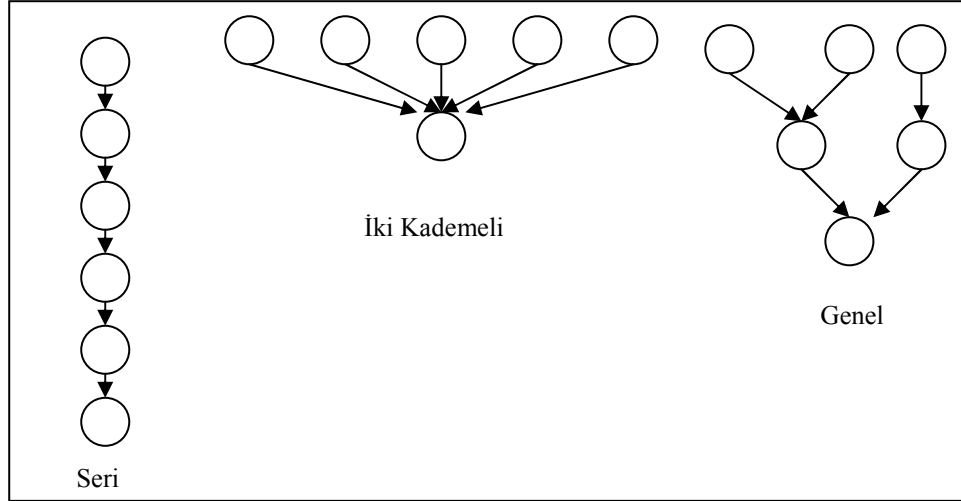
$$\begin{aligned}
Z_{min} &= 60*\delta_A + 70*\delta_B + 75*\delta_C + 80*\delta_D + 100*\delta_E + 150*\delta_F + \\
&0.9*X_A + 0.6*X_B + 0.4*X_C + 0.3*X_D + 0.2*X_E + 0.1*X_F)
\end{aligned}$$

Burada;

$\delta$ : Sipariş verilen dönemlerde 1, diğer dönemlerde 0 değerini alan değişken

$X$ : Dönem sonunda elde kalan stok miktarı

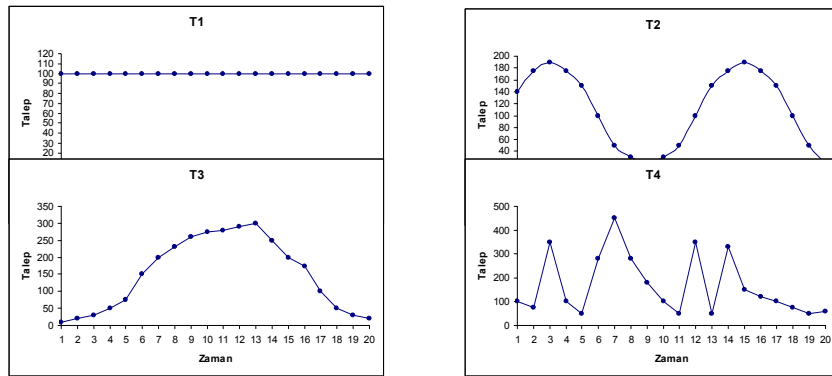
Belirlenen problemlere ait, elde tutma maliyetleri ve sipariş maliyetleri amaç fonksiyonlarında verildiği gibidir. Ayrıca servis düzeyi  $\alpha = 0,95$ 'tir. Üç farklı üretim modeli için toplam 216 adet örnek çalışma üzerinde durulmuştur. Seri, iki kademeli ve genel üretim (ürün ağacı) modelleri Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil-2: Üretim Modelleri

Üretim modellerinin her birinde, iki ayrı amaç fonksiyonu, üç ayrı değişkenlik katsayısı ve dört ayrı taleple kombinasyon yapılmıştır. Değişkenlik katsayıları;  $\sigma/\mu_1 = 1/4$ ,  $\sigma/\mu_2 = 1/3$ ,  $\sigma/\mu_3 = 1/2$  şeklindedir.

Talep desenlerinin zamana göre oluşumları Berry (1972)'den alınmıştır.



Şekil-3: Talep Desenleri

Çalışmadaki talep değerleri, Şekil 3'te görülen T1, T2, T3, T4 dağılımlarından bulunmuş ve Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo-1: Talep Verileri**

	TALEP			
	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	<i>T4</i>
<i>1</i>	100	140	30	275
<i>2</i>	100	175	75	450
<i>3</i>	100	140	200	300
<i>4</i>	100	60	250	175
<i>5</i>	100	25	280	100
<i>6</i>	100	60	300	75
<i>7</i>	100	140	220	400
<i>8</i>	100	175	100	75
<i>9</i>	100	140	70	375
<i>10</i>	100	60	30	150

Bu çalışmada, üç ayrı model bulunmaktadır. Bu modeller, *Optimum*, *Yayımla ve Deterministik Parti Büyüklüğü (DPB)* olarak adlandırılmıştır. Bu üç modele ait toplam 216 adet örnek model kurulmuş ve çözülmüştür.

Optimum modelde, Tarım-Kingsman tarafından dinamik-stokastik talebe karşı, çok kademeli envanter sistemi için geliştirilen model malzeme ihtiyaç planlamasına uyarlanmıştır. Optimum modelde, 24 adet seri, 24 adet ikili ve 24 adet genel üretim yapısı için olmak üzere toplam 72 adet model kurulmuş ve çözümlenmiştir. Bu 72 modelin 36 tanesi birinci amaç fonksiyonu için geri kalan 36 tanesi ikinci amaç fonksiyonu için çözülmüştür. Her bir amaç fonksiyonu için ayrı ayrı geliştirilen 36 adet model, değişkenlik katsayısındaki değişiklikler (1/4, 1/3 ve 1/2) ve talepteki değişikliklere (T1, T2, T3, T4) göre ayrı ayrı çözülmüştür. Çözümleme sonucunda her bir örnek modele ait,  $Z_{\min}$  (minimum maliyet verisi) değeri, her bir parça için sipariş miktarları ve bu siparişlerin verileceği periyotlar verileri elde edilmiştir.

Yayımla modelinde, tek stok noktası (son ürün için) için optimum çözüm bulunmuş ve bu tüm üretim sistemine uyarlanarak maliyete olan etkileri araştırılmıştır. Optimum modelde elde edilen sonuçlarla kıyaslayabilmek amacıyla, son ürün için gerekli olan sipariş miktarı ve zamanları matematiksel model ile tespit edilmiş ve sistemin tamamını nasıl etkilediği gözlemlenmiştir. Bu model için de, Tarım-Kingsman'ın tek stok noktası için geliştirdiği matematiksel model, son ürün seviyesine uygulanmıştır. Son ürün için elde edilen sipariş miktarı ve zamanları, çok kademeli sistem için veri olarak bilgisayara girilmiş ve üst kademelerdeki parçalara ait sipariş miktarları ve zamanlarını nasıl etkilediği ve bunun maliyete olan etkileri görülmüştür.

DPB modelinde, daha önceki iki modelde olduğu gibi Tarım-Kingsman modeli kullanılmıştır. Ancak örnek modeller stokastik değil deterministik olarak çözülmüştür. Bunun için model içindeki değişkenlik katsayıları ve ilgili bölümler ihmal edilmiştir.

Matematiksel modeller bilgisayar ortamında, CPLEX programı kullanılarak çözülmüştür.

### III.1. SAYISAL SONUÇLAR

Optimum, yayılma ve DPB modellerine ait maliyet verileri Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo-2: Gruplara Ait Maliyet Verileri**

	$Z_{min}$	$\sigma/\mu$	Talep	Optimum			Yayılma modeli			DPB Modeli		
				Seri	İkili	Genel	Seri	İkili	Genel	Seri	İkili	Genel
1	$10*\delta_A(ij)+30*\delta_B(ij)+50*\delta_C(ij)+70*\delta_D(ij)+110*\delta_E(ij)+150*\delta_F(ij)+1*X_A(ij)+0.7*X_B(ij)+0.6*X_C(ij)+0.4*X_D(ij)+0.3*X_E(ij)+0.2*X_F(ij)$	1/4	T1	2531	2861	2861	2540	3240	3070	2531	3122	3122
2			T2	2314	2654	2654	2349	2958	2797	2675	3195	3195
3			T3	2861	3206	3206	2897	3469	3343	3526	3947	3947
4			T4	3407	3622	3622	3437	3876	3761	4403	4685	4685
5		1/3	T1	2668	2998	2998	2670	3370	3200	2668	3359	3359
6			T2	2423	2749	2749	2447	3004	2876	2915	3502	3502
7			T3	3050	3360	3360	3079	3612	3503	3937	4386	4386
8			T4	3704	3911	3911	3725	4137	4027	5019	5302	5302
9		1/2	T1	2942	3272	3272	2950	3650	3480	2942	3834	3834
10			T2	2664	2977	2977	2691	3166	3078	3394	4117	4117
11			T3	3378	3670	3670	3405	3893	3794	4759	5264	5264
12			T4	4353	4553	4553	4385	4760	4656	6253	6536	6536

Tablo-2'nin Devamı:

13	$60 * \delta_c \cdot  j  + 70 * \delta_b \cdot  j  + 75 * \delta_c \cdot  j  + 80 * \delta_b \cdot  j  + 100 * \delta_c \cdot  j  + 150 * \delta_b \cdot  j  + 0.9 * X_c \cdot  j  + 0.6 * X_b \cdot  j  + 0.4 * X_c \cdot  j  + 0.3 * X_b \cdot  j  + 0.2 * X_E \cdot  j  + 0.1 * X_F \cdot  j $	1/4	T1	2954	3175	3175	3028	3793	3473	3171	3365	3365
14			T2	2753	2985	2985	2790	3512	3247	3177	3504	3504
15			T3	3346	3590	3590	3439	4074	3849	3889	4392	4392
16			T4	3890	4094	4094	3932	4420	4231	4747	5209	5209
17		1/3	T1	3096	3298	3298	3145	3910	3590	3384	3611	3611
18			T2	2863	3100	3100	2891	3587	3337	3453	3839	3839
19			T3	3516	3752	3752	3608	4236	4016	4259	4898	4898
20			T4	4145	4327	4327	4173	4632	4462	5303	5876	5876
21		1/2	T1	3371	3545	3545	3397	4162	3842	3812	4105	4105
22			T2	3088	3300	3300	3114	3760	3535	4006	4507	4507
23			T3	3823	4098	4098	3866	4448	4227	5000	5911	5911
24			T4	4713	4930	4930	4743	5158	4999	6413	7210	7210

### III.1.1. Optimum Modele Ait Sonuçlar

Optimum modelde, ikili ve genel üretim yapılarına ait maliyetler aynı çıkarken, seri üretim yapısına ait maliyet verileri bu iki modelde farklı çıkmıştır. Maliyetler seri üretim modelinde, diğer iki modele göre daha düşük çıkmıştır. Değişkenlik katsayısının 1/4 olduğu ve talebin T1 olduğu durumda, seri üretim modeli ve diğer iki model arasındaki maliyet farkı %13'tür. Talebin T2 yapısında olduğu durumda fark %14, T3 olduğu durumda %12 ve T4 olduğu durumda %6 olmuştur. Değişkenlik katsayısının 1/3 olduğu ve talebin T1 olduğu durumda, seri üretim ve diğer yapılar arasındaki maliyet farkı %12, talebin T2 olduğu durumda fark %13, T3 olduğu durumda %10 ve T4 olduğu durumda %5 olmuştur. Aynı şekilde değişkenlik katsayısı 1/2 ve talep T1 iken aradaki maliyet farkı %11, talep T2 iken %11, T3 iken %8 ve T4 iken %4,5 olmuştur.



Değişkenlik katsayısının artmasıyla optimum model maliyet verilerinde artış gözlenmiştir. Örneğin, seri üretim yapısında, T1 talebi altında değişkenlik katsayısı 1/4 iken maliyet 2531 birim, 1/3 iken 2668 birim ve 1/2 iken 2942 birim olarak kaydedilmiştir.

Optimum grafiklerde de, her üç üretim yapısı için, son ürüne ve diğer parçalara ait sipariş miktarları, zamanları ve güvenlik stokları görülmektedir. Seri üretim yapısında, son ürün için hemen hemen her periyotta sipariş verilmiş ve grafikteki gibi güvenlik stoğu tutulmuştur. Güvenlik stoğu periyotlar arasında farklılık göstermektedir. İkili ve genel yapılarda, sipariş miktarları aynı olmakla beraber, her periyotta sipariş verilmemektedir. Siparişler iki veya üç periyotta bir verilmekte ve bu periyotlardaki güvenlik stokları grafikte görülmektedir.

### **III.1.2. Yayılma Modeline Ait Sonuçlar**

Yayılma modelinde, seri, ikili ve genel üretim yapılarına ait maliyetler birbirinden farklı çıkmıştır. Maliyetler seri üretim modelinde, diğer iki modele göre daha düşük çıkmıştır. Bunu genel üretim yapısı takip etmiştir. En yüksek maliyet ikili üretim yapısında görülmüştür. Değişkenlik katsayısının 1/4 olduğu ve talebin T1 olduğu durumda, seri üretim modelinin maliyeti 2540 birim iken, ikili üretim modelinde 3240 birim, genel üretim modelinde 3070 birim çıkmıştır. Değişkenlik katsayısının artmasıyla yayılma modeli maliyet verilerinde artış gözlenmiştir. Örneğin, seri üretim yapısında, T1 talebi altında değişkenlik katsayısı 1/4 iken maliyet 2540 birim, 1/3 iken 2670 birim ve 1/2 iken 2950 birim olarak kaydedilmiştir.

Yayılma modeli grafiklerinde, her üç üretim yapısı için, son ürüne ve diğer parçalara ait sipariş miktarları, zamanları ve güvenlik stokları görülmektedir. Seri ikili ve genel üretim yapılarında, son ürün için hemen hemen her periyotta sipariş verilmiş ve grafikteki gibi güvenlik stoğu tutulmuştur. Güvenlik stokları periyattan periyoda farklılık göstermiştir. Üç modele ait, sipariş büyüklükleri, zamanları ve güvenlik stokları aynı olmuştur. Çünkü, yayılma modelinde, son ürün için geçerli olan bu büyüklükler, tek stok noktası için optimum çözüm sonuçlarıdır. Yani modelin yapısından da anlaşılacağı gibi son ürün için optimum sonuçlar, modele veri olarak girilmiştir. Üst kademelerdeki parçaların sipariş büyüklüğü ve zamanlarına etkilerine bakılmıştır. İkili yapıda, bir üst seviyedeki parça için 8. dönem dışında her sipariş döneminde sipariş verilmiştir. Seri ve genel yapılarda sipariş zamanları seri yapıda olduğu kadar sık değildir.

### III.1.3. DPB Modeline Ait Sonuçlar

DPB modelinde, seri üretim yapısı ile ikili ve genel üretim yapılarına ait maliyetler birbirinden farklı çıkmıştır. İkili ve genel üretim yapısında maliyetler aynı seri üretimde bu iki yapıdan daha düşük maliyet elde edilmiştir. Değişkenlik katsayısının 1/4 olduğu ve talebin T1 olduğu durumda, seri üretim modelinin maliyeti 2531 birim iken, ikili üretim modelinde 3122 birim, genel üretim modelinde de ikili üretimle aynı yani 3122 birim çıkmıştır. Değişkenlik katsayısının artmasıyla DPB modeli maliyet verilerinde artış gözlenmiştir. Örneğin, seri üretim yapısında, T1 talebi altında değişkenlik katsayısı 1/4 iken maliyet 2531 birim, 1/3 iken 2668 birim ve 1/2 iken 2942 birim olarak kaydedilmiştir.

DPB modeline ait grafiklerde, her üç üretim yapısı için, son ürüne ve diğer parçalara ait sipariş miktarları, zamanları ve güvenlik stokları görülmektedir. Seri üretim yapısında son ürün için her periyotta sipariş verilmiş ve grafikteki gibi güvenlik stoğu tutulmuştur. Güvenlik stoğu miktarı her periyotta eşit olup 186 adet olarak tespit edilmiştir. İkili ve genel üretim yapılarında her periyotta sipariş verilmemiş ancak bu yapılarda da elde tutulan güvenlik stoğu miktarı 186 adet olarak tespit edilmiştir.

### III.1.4. Modellerin Karşılaştırılması

Optimum modelde, ikili ve genel üretim modellerinin maliyetleri aynı çıkmış, seri üretim modelinin maliyeti bu iki modelden farklı çıkmıştır. Örneğin, seri üretim modelinin maliyetinin 3407 birim olduğu, yani talep deseninin T4, değişkenlik katsayısının 1/4 olduğu ve 1. amaç fonksiyonunun kullanıldığı şartlarda, ikili ve genel üretim yapılarında bu maliyet 3622 birim olmuştur. İki maliyet arasındaki fark %6,3 olmaktadır. DPB modelinde de, ikili ve genel üretim modelleri maliyet verileri aynı değerde seri üretim modeli maliyeti bu iki üretim sisteminden farklı çıkmıştır. Örneğin, seri üretim modelinde aynı şartlar altında 4403 birim olan maliyet, ikili ve genel üretim sistemlerinde 4685 birim çıkmıştır. Aradaki fark %6,4 olmuştur. Yayılma modelinde, maliyet verileri her üç modelde de farklı çıkmıştır. Örneğin, seri üretim için yine yukarıdaki şartlar altında, 3437 birim olan maliyet, ikili üretim yapısında 3876 birim, genel üretim sisteminde 3761 birim olarak tespit edilmiştir. Seri üretim ile ikili üretim yapısındaki fark %12,7, seri üretim ve genel üretim arasındaki fark %9, ikili üretim ve genel üretim arasındaki fark %3 olmuştur.

Optimum ve yayılma modellerinin karşılaştırılmasında, maliyet açısından önemli farklar olduğu görülmüştür. Her üç üretim sisteminde yayılma modelinin maliyeti daha yüksek çıkmıştır. Maliyetler arası fark yüzdesi, ikili

üretim yapıları arasında en yüksek bulunmuştur. Seri üretimde maliyet farkı %9,33 ile % 0,07 arasında değişirken (ortalama %1,46), ikili üretim yapısında maliyet farkı %4,55 ile %19,46 arasında değişmektedir (ortalama %10,86). Genel üretim yapıları arasında da fark bulunmaktadır. Bu fark %1,40 ile %9,39 arasında değişmektedir. Ortalama fark %5,43'tür. Seri üretim modelinde iki model arasında maliyet birbirine yakın çıkmasına rağmen, bu fark iki modele ait genel üretim yapısında daha yüksek, ikili üretim yapısında ise en yüksektir. Normal şartlar altında, son ürün için optimum sipariş büyüklüğü ve zamanlarının, tüm sistem içinde optimum sonuç vereceği düşünülebilir. Ancak, maliyetler arasındaki farklar durumun böyle olmadığını göstermektedir. Tüm sistemin, çok kademeli olarak dikkate alınıp, bu sistem için geliştirilen modelle çözülmesi maliyetleri aşağıya çekmektedir.

Optimum model maliyet verileri ile DPB modeli maliyet verileri arasındaki farkın çok daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Seri üretim modelinde bu farkın ortalaması %21,06, ikili ve genel üretim modellerinde ortalama fark %26,89 olmuştur. DPB modeli maliyet verileri, optimum modele göre, her üç üretim sisteminde de yüksek çıkmıştır. Seri üretimde farklar %0 ile %43,65 arasında değişirken, ikili üretimde farklar %5,96 ile %46,25 arasında değişmiştir. Genel üretim yapısı, ikili üretim yapısıyla aynı sonuçları vermiştir.

Değişkenlik katsayısının da maliyet üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Değişkenlik katsayısı azaldıkça maliyetlerde azalma görülmüştür. Optimum modelde, birinci amaç fonksiyonunda, seri üretim sisteminde ve T1 talep verileri ile yapılan çözümde, değişkenlik katsayısı 1/4 iken maliyet 2531 birim, değişkenlik katsayısı, 1/3 olduğunda 2668, 1/2 olduğunda 2942 birim olmuştur. 1/4 ile 1/3 değişkenlik katsayıları arasındaki maliyet farkı %5,4 iken, 1/3 ve 1/2 arasındaki maliyet farkı %10,2 olmuştur. Aynı şartlarda, ikili üretim yapısında, değişkenlik katsayısı 1/4 iken, maliyet 2861, değişkenlik katsayısı 1/3 olduğunda, 2998 birim, değişkenlik katsayısı 1/2 olduğunda maliyet 3272 olmuştur. Genel üretim yapısında da aynı şartlarda eşit maliyetler elde edilmiştir. Değişkenlik katsayısının 1/4 ile 1/3 olduğu durumlarda maliyetler arasındaki fark %4,7 iken, katsayıların 1/3 ve 1/2 olduğu durumlarda bu fark %9,1 olmuştur.

Yayıma modelinde, değişkenlik katsayısına bağlı olarak maliyetlerde farklılıklar gözlenmiştir. Birinci amaç fonksiyonunda, seri üretim sisteminde ve T1 talep verileri ile yapılan çözümde, değişkenlik katsayısı 1/4 iken maliyet 2540 birim, değişkenlik katsayısı 1/3 olduğunda 2670, 1/2 olduğunda 2950 birim olmuştur. 1/4 ile 1/3 değişkenlik katsayıları arasındaki maliyet farkı %5,4 iken, 1/3 ve 1/2 arasındaki maliyet farkı %10,2 olmuştur. İkili üretim sisteminde, değişkenlik katsayısı 1/4 iken maliyet 3240 birim, katsayı 1/3 olduğunda maliyet 3370, 1/2 olduğunda maliyet 3650 birim olmuştur.

Değişkenlik katsayısının 1/4 ve 1/3 olduğu durumlarda maliyet farkı %4, katsayısının 1/3 ile 1/2 olduğu durumlarda fark %8,3 olmuştur. Genel üretim sisteminde, değişkenlik katsayısı 1/4 iken maliyet 3070 birim, katsayı 1/3 olduğunda maliyet 3200, 1/2 olduğunda maliyet 3480 birim olmuştur. Değişkenlik katsayısının 1/4 ve 1/3 olduğu durumlarda maliyet farkı %4,2, katsayısının 1/3 ile 1/2 olduğu durumlarda fark %8,8 olmuştur.

DBP modelinde de, değişkenlik katsayısına bağlı olarak maliyet farklılıkları görülmüştür. Birinci amaç fonksiyonu, seri üretim sisteminde ve T1 talep verileri ile yapılan çözümde, değişkenlik katsayısı 1/4 iken maliyet 2531 birim, değişkenlik katsayısı 1/3 olduğunda 2668, 1/2 olduğunda 2942 birim olmuştur. 1/4 ile 1/3 değişkenlik katsayıları arasındaki maliyet farkı %5,4 iken, 1/3 ve 1/2 arasındaki maliyet farkı %10,2 olmuştur. İkili üretim sisteminde, değişkenlik katsayısı 1/4 iken maliyet 3122 birim, katsayı 1/3 olduğunda maliyet 3359, 1/2 olduğunda maliyet 3834 birim olmuştur. Değişkenlik katsayısının 1/4 ve 1/3 olduğu durumlarda maliyet farkı %7,6, katsayısının 1/3 ile 1/2 olduğu durumlarda fark %14,1 olmuştur. Genel üretim sisteminde elde edilen maliyet farklılıkları ikili üretim sistemiyle aynıdır.

Değerlerden de anlaşılacağı gibi, belirsiz ve dinamik talebin modele etkin olarak katılmaması optimum çözümden ciddi sapmalar göstermiştir.

## SONUÇ

Tarım-Kingsman'ın tek ve çok kademeli stok sistemleri için geliştirmiş oldukları matematiksel model malzeme ihtiyaç planlamasına uygulanmıştır.

Yapılan çalışmada, geliştirilen problemin, deterministik ve stokastik olarak çözümleri Tarım-Kingsman modeli ile çözümlenmiştir. Tarım-Kingman modeli ile öncelikle, ters çevrilmiş ters ağaç yapılı malzeme ihtiyaç planının çözümü yapılmıştır (Optimum Model). Model daha sonra tek stok noktası (son ürün) için çözümlenmiş, elde edilen sonucun, optimum modele veri olarak girilmesi ile, tüm üretim sisteminin üst seviyelerdeki parçalarına ait sipariş büyüklüğü ve zamanlarına etkileri araştırılmıştır (Yayıma Modeli). Son olarak geliştirilen problem, Tarım-Kingsman modeli tarafından deterministik (DPB Modeli) olarak çözümlenmiş ve elde edilen veriler optimum stokastik modelde veri olarak kullanılarak, optimum sonuçlardan sapmalar tespit edilmiştir. Bu modeller CPLEX adlı yazılımla çözülmüştür.

Optimum model ve yayılma modeli maliyet verileri incelendiğinde, aralarında farklar olduğu gözlenmiştir. Optimum model ile yayılma modeli arasında maliyet farklarının %19,46 ile %0,07 arasında değiştiği görülmüştür.

Bu fark optimum model ve DPB modeli arasında daha büyüktür. Maliyet verileri arasındaki fark bu iki model arasında, %46,25 ile % 0 arasında değişmektedir.

Optimum ve yayılma modellerinin karşılaştırılmasında, her üç üretim sisteminde yayılma modelinin maliyeti daha yüksek çıkmıştır. Maliyetler arası fark yüzdesi, ikili üretim yapıları arasında en yüksek bulunmuştur. Seri üretim modelinde iki model arasında maliyet birbirine yakın çıkmasına rağmen, bu fark iki modele ait genel üretim yapısında daha yüksek, ikili üretim yapısında ise en yüksektir. Normal şartlar altında, son ürün için optimum sipariş büyüklüğü ve zamanlarının, tüm sistem içinde optimum sonuç vereceği düşünülebilir. Ancak, maliyetler arasındaki farklar durumun böyle olmadığını göstermektedir. Tüm sistemin, çok kademeli olarak dikkate alınıp, bu sistem için geliştirilen modelle çözülmesi maliyetleri aşağıya çekmektedir. Optimum model maliyet verileri ile DPB modeli maliyet verileri arasındaki farkın çok daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Genel üretim yapısı, ikili üretim yapısıyla aynı sonuçları vermiştir.

Malzeme ihtiyaç planlama sisteminde sipariş büyüklüğü belirleme yöntemleri statik ve dinamik olarak iki grupta toplanmıştır. Statik yöntemlerde, sipariş büyüklüğü bir kere belirlendikten sonra planlama dönemi boyunca değişmeyen bir büyüklüktür. Dinamik yöntemlerde ise, sipariş miktarı net ihtiyaçlardaki değişmelere göre ayarlanabilir. Bu yöntemler talebin deterministik olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Tarım-Kingsman modeli ile talebin pratikte planlama aşamasında bilinmeyeceğini sadece tahmin edilebileceğini savunmakta ve çözümlerin dinamik-stokastik talebi karşılamaya yönelik olması gerektiğini savunmaktadırlar. Tarım-Kingsman'ın stok sistemleri için geliştirdikleri matematiksel model, malzeme ihtiyaç planlamasında da optimum sonuç vermiştir.

Malzeme ihtiyaç planlama sisteminde, sistem sinirliliği önemli bir problemdir. Planlarda sapmaların olması ve sürekli güncelleme ihtiyacının ortaya çıkması sistemde tedirginlik yaratmaktadır. Tarım-Kingsman modeli, hangi dönemde, hangi üst sınıra kadar sipariş verileceğini planlama ufkunun başında belirlediği için, işletmeleri sinirlilikten uzaklaştıracak bir potansiyele sahiptir.

## **KAYNAKÇA**

Acar, N. (1995) **Malzeme İhtiyaç Planlaması**, Ankara: Milli Produktivite Merkezi Yayınları, 323.

- Bookbinder J. and J. Tan (1988) "Strategies For The Probabilistic Lot-Sizing Problem With Service-Level Constraints", **Management Science**, 34, 1096-1108.
- Chrwan and J. Ho (1999) "Evaluating The Effectiveness of Using Lot-Sizing Rules to Cope with MRP System Nervousness", **Production Planning And Control**, 10(2), 150-161.
- Chrwan and J. Ho. (2002) "Evaluating Dampening Effects of Alternative Lot-Sizing Rules to Reduce MRP System Nervousness", **International Journal of Production Research**, 40(11), 2633-2652.
- De Kok, T. and K.Inderfurth (1997) "Nervousness in Inventory Management: Comparison of Basic Control Rules", **European Journal of Operational Research**, 103, 55-82.
- Ho, C. J. (1989) "Evaluating The Impact of Operating Environments on MRP System Nervousness", 27(7), 1115-1135.
- Ho, C. J., W. K. Law and R. Rampal (1995) "Uncertainty-Dampening Methods for Reducing MRP System Nervousness", **International Journal of Production Research**, 33(2), 483-5-496.
- Orlicky, J. (1975) **Materials Requirement Planning**, 1st Ed. Mcgraw-Hill Inc., Newyork.
- Penlesky, R. J. and U. Wemmerlov (1989) "Open Order Due Date Maintenance in MRP Systems", **Management Science**, 35(5), 571-584.
- Silver., A. Edward, David, F. Pyke,. R. Peterson (1989) **Inventory Management And Production Planning And Scheduling**, New York.
- Sridharan, V and W. L. Berry (1987) "Master Production Scheduling Make-to-Stock Products. a Framework For Analysis", **International Journal of Production Research**, 28(3), 541-558.
- Tarım Ş.A (1996) "Dynamic Lot-Sizing Models for Stochastic Demand in Single and Multi-Echelon Inventory Systems", A Thesis Submitted to The University of Lancaster for the Degree of Doctor of Philosophy.
- Tarım Ş.A. and B.G. Kingsman (2004) "The Stochastic Dynamic Production/Inventory Lot-Sizingproblem With Service-Level Constraints", **International Journal Production Economics**, 88, 105-119.
- Wacker, J.G. (1985) "A Theory of Material Requirements Planning (MRP): An Emperical Methodology to Reduce Uncertainty in MRP Systems." **International Journal of Production Research**, 23(4), 807-824.