

**T.C.**  
**GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**ÜRETİM PLANLAMA VE KONTROL**  
**OPTİMİZASYONU: VE BİR İŞLETME**  
**UYGULAMASI**

**VEDAT GENÇ**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**İŞLETME ANABİLİM DALI**

**GEBZE**

**2015**

**T.C.**  
**GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**ÜRETİM PLANLAMA VE KONTROL**  
**OPTİMİZASYONU: VE BİR İŞLETME**  
**UYGULAMASI**

**VEDAT GENÇ**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**İŞLETME ANABİLİM DALI**

Tez Danışmanı  
PROF. DR. HALİM KAZAN

**GEBZE**

**2015**

GTÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 18/02/2015 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Vedat Genç'in tez çalışması İşletme Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

**JÜRİ**

ÜYE  
(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Halim KAZAN



ÜYE : Prof. Dr. Nihat KAYA



ÜYE : Prof. Dr. Ramazan KAYNAK

**ONAY**

GTÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../...../20... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

**İMZA/MÜHÜR**

# ÖZET

Bu çalışmada üretim planlama ve kontrol süreci ve üretime yüklenen sipariş miktarının doğrusal programlama yöntemi ve grafik yöntem ile çözümü incelenmiştir. Çalışmada emniyet stoklu ve sonlu kapasite koşullarında üretim programının matematiksel modellenmesi geliştirilmiştir. Modelin amacı üretim siparişlerinin minimum maliyetle zamanında karşılanmasını sağlayacak yaklaşımın geliştirilmesidir. Modelde temel maliyet kısıtları olan üretim, geçiş ve stok maliyetleri baz alınmıştır. Çalışmanın 2. bölümünde üretim planlama ve kontrol ile ilgili literatür özeti ve temel kavramlar incelenmiştir. 3. bölümde örnek problem üzerinden matematiksel model geliştirilmiştir. Örnek problemde verilen talep tahmini, geçiş maliyeti, stok tutma maliyeti, emniyet stok seviyesi, üretim kapasitesi ve üretim maliyeti 4. bölümde işletme güncelinde hesaplanmıştır. 5. bölümde ise modelin uygulanması ile oluşan sonuçlar hesaplanmış ve iyileştirme noktaları tespit edilerek üretim programı güncellenmiştir.

**Anahtar Kelimeler: Üretim Planlama ve Kontrol (ÜPK), Doğrusal Programlama (DP), Sipariş Büyüklüğü Belirleme**

# SUMMARY

In this study, production planning and control process and the order quantity that load to production was examined by linear programming and graphical method. With this scope we built mathematical model in condition that has safety stock and limited capacity. The purpose of the model is; to develop a mathematical model that satisfy production orders on time with minimum cost. The basic cost items evaluated as production, changeover and stock holding cost. In the second chapter the literature review was given that about production planning and control. In the third chapter, the mathematical model has been developed by the example problem solving. Demand forecasting, changeover costs, inventory holding costs, safety stock levels, production capacity and production costs that given in the second chapter were calculated based on workplace data in the fourth chapter. Chapter fifth formed by the application of models calculated results and production plan updated after improvements have been identified.

**Key Words: Production Planning and Control (PPC), Linear Programming (LP), Lot Sizing**

# TEŐEKKÖR

Başta, yÖksek lisans eğitimimde ve akademik hayatımda desteğini ve yardımlarını hiŐbir zaman esirgemeyip bilgisi ile bu çalışmanın oluŐmasının yolunu açan danıŐmanım Prof. Dr. Halim KAZAN'a, bÖtÖn çalıŐmam boyunca yanımda olan, bilgi ve tecrÖbelerini benimle paylaŐan değerli kardeŐim Ali GENÇ'e ve gÖstermiŐ olduğu desteklerinden dolayı sevgili eŐim GÖnÖl GENÇ'e en içten teŐekkÖrlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	2
2. LİTERATÜR ÖZETİ	3
2.1 Üretim Kavramı	3
2.2 Üretim Planlama ve Kontrol Kavramı	5
2.3 Üretim Planlama ve Kontrol Ufku	6
2.4 Üretim Planlama ve Kontrol Süreci	7
2.5 Ana Üretim Planlaması	9
2.6 Malzeme İhtiyaç Planlaması	11
2.7 Detaylı Üretim Çizelgeleme	26
3. MATEMATİKSEL MODEL	32
3.1 Problemin Tanımlanması	33
3.2 Matematiksel Modelin Oluşturulması	35
3.3 Modelin Excel'e Uyarlanması ve Problemin Çözülmesi	37
3.4 Modelin İyileştirilmesi	45
3.5 Çözüm Alternatifleri Değerlendirilmesi ve Model Çözümü ile Karşılaştırılması	50
3.6 Emniyet Stok Seviyesi ve Sonlu Kapasite Koşullarında Modelin Güncellenmesi	55
4. VERİLERİNİN TOPLANMASI VE UYGULAMA	59

4.1	Talep Tahmini	59
4.2	Geçiş Maliyeti (Changeover Cost)	64
4.3	Stok Tutma Maliyeti	65
4.4	Emniyet Stok Seviyesi	66
4.5	Üretim Kapasitesi ve Üretim Maliyeti	69
5.	SAYISAL SONUÇLAR VE YORUMLAR	70



# SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

## Simgeler ve Açıklamalar

### Kısaltmalar

MPS	:	Ana Üretim Planlaması
APICS	:	Amerikan Üretim ve Envanter Kontrol Topluluğu
APP	:	Bütünleşik Üretim Planlaması
$C$	:	Üretim Kapasitesi
$d$	:	Talep miktarı
$\mathcal{E}$	:	Epsilon
$e$	:	Ürünlerin ortalama maliyeti
$f$	:	Tahmin
GYTE	:	Gebze ileri teknoloji Enstitüsü
$h$	:	Stok maliyeti
$i$	:	Ürün
$LT$	:	Ürünün tedarik/üretim süresi
$m$	:	Ürün çeşidi sayısı
$MAD$	:	Tahmininin ortalama mutlak sapması
$mt$	:	Metre
NCTM	:	National Council of Teachers of Mathematics
$p$	:	Üretim maliyeti
$q$	:	Geçiş maliyeti
$R$	:	Müşteri servis seviyesi, R Faktörü değeri
$s$	:	Stok miktarı
$sa$	:	Saat
Set-up	:	Geçiş
$sn$	:	Saniye
$ss$	:	Emniyet stoku
$t_{gs}$	:	geçiş süresi
TL	:	Türk Lirası
$v$	:	Maliyet karşılaştırma katsayısı
$x$	:	Üretim miktarı
$\alpha$	:	Ortalama birim üretim zamanı

# ŞEKİLLER DİZİNİ

<b><u>Sekil No:</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
2-1: Üretim Planlama ve Kontrol Süreci	7
2-2: Üretim Çizelgesi	30
3-1: Envanter Hareketi	36
3-2: $v^p$ Değerleri İlişki Diyagramı	47
3-3: Dijkstra Yöntemi ile Model Örneğinin Çözümü	48
4-1: E ve F Ürünü Aylık Miktarsal Satış Grafiği.	60
4-2: Makina Geçiş Süreci	64
4-3: Talep Dalgalanması (Dear, 1990)	66
4-4 : Müşteri Servis Seviyesi ( <a href="http://help.sap.com">http://help.sap.com</a> ).	67
5-1: A Mamulü Maliyet Şebeke Diyagramı	71
5-2: A Ürünü İçin Modelin 2. Aşama Çözümü	71
5-3: B Ürünü için Modelin 2. Aşama Çözümü	73
5-4: C Ürünü için Modelin 2. Aşama Çözümü	74
5-5: D Ürünü için Modelin 2. Aşama Çözümü	76

# TABLolar DİZİNİ

<b><u>Tablo No:</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
2-1: Ana Üretim Planı	10
2-2: A Mamulü MRP Tablosu	13
2-3: LFL Yöntemi	14
2-4: EOQ Yöntemi	14
2-5: POQ Yöntemi	15
2-6: PPB Yöntemi	16
2-7: W-W Yöntemi İçin Örnek Değerler	17
2-8: W-W Toplam Maliyet Tablosu	17
2-9: W-W Sonuç Tablosu	17
2-10: A Mamulü MRP Tablosu	21
2-11: B Yarı Mamulü MRP Tablosu	21
2-12: C Yarı Mamulü MRP Tablosu	22
2-13: G Hammaddesi MRP Tablosu	22
2-14: Planlanmış Sipariş Önerileri	23
2-15: A,B ve C için MRP Çıktısı	24
2-16: G, E ve F için MRP Çıktısı	25
2-17: C Yarı Mamulü Operasyon Tablosu	27
2-18: B Yarı Mamulü Operasyon Tablosu	28
2-19: A Mamulü Operasyon Tablosu	28
2-20: A Mamulü Genel Operasyon Tablosu	28
2-21: İM100 Kapasite İhtiyaç Tablosu	29
3-1: PEXB322014 Talep Miktarları.	33
3-2: Sembol Tablosu.	35
3-3: Modelin Excele Uyarlanması Adım 1.	38
3-4: Modelin Excele Uyarlanması Adım 2-3-4.	43
3-5: Modelin Excele Uyarlanması Adım 5.	45
3-6: Adım 5 Çözümü	46
3-7: Model Örneğinin Çözüm Tablosu	49
3-8: LFL Yöntemi ile PEXB32 Üretim Planı.	51
3-9: EOQ Yöntemi ile PEXB32 Üretim Planı.	52

3-10: POQ Yöntemi İle PEXB32 Üretim Planı.	52
3-11: PPB Yöntemi İle PEXB32 Üretim Planı.	53
3-12: W-W Yöntemi İle PEXB32 Üretim Planı.	54
3-13.: Çözüm Alternatifleri Karşılaştırma Tablosu	55
4-1 : Ürün Grubu Satış Tablosu (mt).	61
4-2 : Merkezi Hareketli Ortalama Tahmini (mt).	62
4-3: Regresyon Analizi Sonuçları.	63
4-4 : 2014 İlk Yarı Yılı Satış Tahmini (mt).	63
4-5 : Ürün Emniyet Stoğu Hesap Tablosu.	68
5-1: A Ürünü Üretim Planı Önerisi 1. Aşama.	70
5-2: A Ürünü İyileştirilmiş Üretim Planı.	72
5-3: B Ürünü Üretim Planı Önerisi.	73
5-4: C Ürünü Üretim Planı Önerisi.	74
5-5: D Ürünü Üretim Planı Önerisi.	75
5-6: D Ürünü İyileştirilmiş Üretim Planı.	76
5-7: Kapasite Kontrolü	77

# 1. GİRİŞ

İşletmeler, birbirleri ile ilişkili departmanlar üzerinden faaliyetlerinin doğru ve zamanında yürütülmesini sağlamaya çalışırlar. Üretim yapan işletmeler koordinasyon noktasında üretim planlama ve kontrol sürecine ihtiyaç duyarlar. Üretim planlama ve kontrol süreci işletmeler için olmazsa olmaz şartını taşıyan en önemli faaliyetlerdendir. Bu faaliyetler genel olarak planlama, koordinasyon ve kontrol üçlüsünden oluşur. İşletme yöneticileri daima bu üçlüyü optimize etmeye yönelirler. Faaliyetler optimize edildikçe işletmeler güç kazanır ve rakiplerine karşı koyması mümkün hale gelir.

Planlama; gelecekte yapılacak olan işler için kaynakların nasıl planlandığı ve koşulların gelecekte nasıl geliştirilmesi gerektiği ile ilgili varsayım ve öngörülere dayanan sistematik hazırlıktır. Üretim planlama; daha çok satış ve satın alma planlaması olmak üzere, diğer planlamalar üzerinden koordine edilen tüm faaliyetleri bir arada bulunduran ve işletimine olanak sağlayan programlardan oluşan bir bütündür (Buzacott et al., 2012).

Üretim planlama süreci; satış tahminleri, üretim kapasitesi, satın alma sipariş parametreleri, lojistik hareketleri, malzeme bilgisi gibi birçok bilgiye ihtiyaç duyar. Bu nedendir ki kendi içinde malzeme ihtiyaç planlaması, kapasite planlama, zaman etüdü, üretim çizelgeleme gibi çalışmaları yürütür.

Planlama faaliyetleri, gelecekte yapılabilecek işletme faaliyetleri ile ilgili tüm çalışmaların koordineli ve etkin bir biçimde yürütülmesini hedefler. Tecrübeyle uzun sürede test edilerek alınacak kararlar, iyi bir planlama ile çok kısa sürede alınabilir. Bunun için verilerin önemi büyüktür. Verilerin doğru ve etkin kullanımı ile müşteri memnuniyeti daha kolay sağlanırken işletme önemli kazanımlar sağlar.

Ürün ya da hizmet üreten işletmelerin başarılı olabilmesi için üretim ve hizmetlerin nasıl yapılacağı işletme yöneticileri tarafından önceden planlanmalı ve planların doğru işleyip işlemedikleri kontrol edilmelidir.

Bu çalışmada üretim planlama ve kontrol optimizasyonu ele alınmış, planlama dönemlerine üretim miktarlarının dağıtımı konusunda doğrusal programlama ve grafik çözümden yararlanan bir model geliştirilmiştir. Bu model matematiksel olarak formüle edilmiş ve üretim sürecine uygulanarak başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

## 1.1 Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Büyüme isteyen işletmeler genel olarak süreçlerini Kurumsal Kaynak Planlama (ERP) programları ile sürdürme arayışına girerler. İşletmeler kaynaklarını takip edip daha etkin kullanabilmesi için, farklı noktalardaki (departman, bölüm) bilgileri doğru, hızlı ve güvenilir bir şekilde kullanabilmeleri ve birimler arasında entegrasyonu sağlamış olmalıdırlar. Geleceğe dönük bu birlikteliği sağlayabilmek için işletme yönetim fonksiyonlarını iyi kullanmalıdır.

Üretim planlama ve kontrol süreci, müşteri taleplerinin işletme kaynakları ile en hızlı çözümünü sağlayacak bilgilerin uygun yöntem ve strateji ile derlenerek program akışı oluşturmayı hedefler. Bu çalışmada, üretim planlama ve kontrol sürecinin en düşük maliyetle müşteri taleplerini karşılayabilmesine imkân sağlayacak matematiksel model geliştirilmesi ve uygulanması çalışılmıştır. Lineer programlama yaklaşımı ile oluşturulan model Dijkstra algoritması ile grafiksel boyuta taşınarak, modelin iyileştirilmesi sağlanmıştır. Model, MS Excell'e uyarlanarak test edilmiştir.

Pochet ve Wolsey tarafından geliştirilen Karma Sayısal Programlama İle Üretim Planlama modelinde planlama süreci geniş şekilde formüle edilirken, çözümde programlama dilinden yararlanılmıştır. Örneğin; üretim planlamasında en önemli karar noktalarından biri olan ekonomik üretim miktarının belirlenmesini etkileyen geçiş (changeover) kontrolü Mosel adlı program ile sağlanmıştır. Model çözümünü geliştirmek ve test edebilmek için Mosel cebirsel modelleme dilinin varsayılan versiyonu Xpress-MP Optimizer MIP kullanılmıştır. Her  $i$  ve her  $t$  için  $M_i^t$  gibi bazı yardımcı dotalar Mosel programlama dili tarafından hesaplanmaktadır. (Pochet and Wolsey, 2006: 27)

Bu çalışmanın amacı, tek makinede üretilen çok çeşit ürünlerin sonlu kapasite ve dalgalı talep koşullarında planlamasının iyileştirilmesi ve daha anlaşılır ve kolay uygulanabilir matematiksel modelinin geliştirilmesi ve uygulamayla test edilmesidir. Matematiksel model ana üretim planı için uygulanabileceği gibi malzeme ihtiyaç planlamasında net ihtiyaçları karşılayacak üretim sipariş büyüklüğünün belirlenmesinde de kullanılabilir. (Pochet and Wolsey, 2006: 27)

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Bu bölümde temel üretim planlama ve kontrol kavramları incelenmiştir. Üretim, üretim planlama ve kontrol, üretim planlama ve kontrol süreci, ana üretim planlaması, malzeme ihtiyaç planlaması, detaylı üretim çizelgeleme ve kapasite ihtiyaç planlaması kavramları açıklanarak bir sonraki matematiksel modele olan ilginin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

### 2.1 Üretim Kavramı

1964 yılında yayınlanan Theory of Production isimli kitabında Frisch, teknik olarak üretimi şu şekilde tanımlar:

*“İnsan tarafından yönetilen girdi faktörlerini çıktıya ya da ürüne dönüştüren dönüşüm prosesi...”*

Frisch’e göre çıktının oluşturduğu değer ve kullanılabilirlik durumu üretim süreci tamamlandığında ortaya çıkar. Üretim sürecinin başarısı-hedefi çıktının girdiye oranı olarak tanımlanan produktivite (verimlilik) ve ürünün ihtiyacı karşılama düzeyi olan kalitenin değeridir. Sanayileşme ile beraber üretimin verimli kılınması temel araştırma konularından biri olmuş ve çeşitli yönetim yaklaşımları ile geliştirilmiştir.

Yönetim, ortak bir amacı zamanında gerçekleştirebilmek için çalışan insanların performanslarını gerçekleştirebilecek çalışma ortamı sağlayan ve koruyan sürekli bir prosestir. Yönetim, süreç odaklı bir yaklaşımdır ve anlık bir aktivite değildir. Yönetim, aynı hedefe ulaşmak isteyen grubun takım çalışmasıdır (Kachwala and Mukherjee, 2009).

Kachwala ve Mukherjee üretimi aşağıdaki gibi tanımlarlar:

*“Hammadde girdisinin insan, makine ve/veya araçlar ile değişim ve/veya dönüşüm yoluyla değer eklenmiş bitmiş ürünü oluşturmalarıdır”*

Üretim birçok açıdan sınıflandırılabilir. Üretim kaynaklarının teknolojik yapısı, ürün çeşidi, üretilen parti miktarı, ürünün yapısı, reçetesi ve rotası gibi unsurlar

üretim biçimini belirleyebilmektedir. Üretim; kesikli, sürekli ya da proje tipi olacak şekilde 3 başlıkta sınıflandırılabilir (Üreten, 2000). Kesikli üretimde ürün çeşidi fazla ve üretilen parti miktarı düşüktür. Üretim teknolojisi nispeten daha geleneksel yapıdadır fakat üretim esnekliği diğer tiplere göre yüksektir.

Sürekli üretimde ise standart ürün yaklaşımı hakimdir ve bu nedenle ürün çeşidi düşük sayıdadır. Genel olarak ürüne ya da ürün ailesine ait üretim hattı bulunur. Üretilen parti miktarı yüksektir ve üretim teknolojisi yatırımının yüksek olması beklenir.

Proje tipi üretim ise üretim kaynaklarının hareket edip ürünün sabit olduğu üretim tipidir. Proje tipi üretim özel talebe bağlı, büyük ölçekli, tek seferlik üretim olarak tanımlanabilir (Üreten, 1997).

Üretimin yönetimi birçok araştırmaya konu olmuş ve sanayileşmenin başladığı dönemlere kadar uzanan tarihsel bir geçmişi bulunmaktadır. Bowman ve Fetter (1967) üretim yönetiminin ekonomik açıdan majör problemlerini aşağıdaki şekilde listeler:

- Envanter
- Üretim çizelgeleme ve kontrol
- Ekipman seçimi ve yenilenmesi
- Bakım
- İşyeri alanı ve lokasyonu
- İşyerinin yerleşim planı ve yapısı
- Kalite kontrol ve denetimi
- Malzeme taşıma ve akışı
- Üretim yöntemleri

Bu liste hala en önemli üretim yönetimi kararlarını tam olarak açıklayabilmektedir (Nahmias, 1997). Bu faaliyetlerin tamamı birbiriyle doğrudan ilişkili olup üretim sürecinin taleplere doğru zamanda ve kalitede cevap vermesi açısından temel teşkil etmektedirler.



## 2.2 Üretim Planlama ve Kontrol Kavramı

Kobu üretimin amacını aşağıdaki gibi tanımlar (1999):

*“Üretimin temel amacı bir mamul veya hizmet yaratmaktır. Bunun gerçekleşmesi için, üretim faktörleri adı verilen unsurların belirli şartlar ve yöntemlerle bir araya getirilmesi gerekir”*

Üretim yönetiminde, hangi mamulün ne zaman ve hangi kaynaklarla yapılacağı konusu üretim planlama ve kontrol süreciyle ilgilidir.

*“Üretim planlama ve kontrol nedir? Teoride bu sorunun temel bir cevabı vardır; neyin nerede, kiminle, hangi kaynaklardan (makine, araç ve malzemeler), ne zaman ve ne miktarda yapılacağını kontrol eden araçların oluşturduğu sistemdir. Burada kontrol; beklentilerin gerçekleşme durumunun izlenmesi, fiili üretim performansı ve sonuçlarının ölçülmesi, neyin nerede olduğunun ya da ne yapıldığının bilinmesi, geri bildirimlerin sağlanması ve hedef ve beklentilerin karşılanması için gereken düzeltmelerin yapılması anlamına gelir.”* (McKay and Kenneth, 2011: 21-31)

*“Üretim planlama ve kontrol mal ve hizmetlerin üretimi için girdi kaynakları olan insan, makina ve malzemelerin optimum kullanımını amaçlar ve aynı zamanda müşteri ve pazar taleplerini miktar, kalite, zaman ve fiyat bazında en ekonomik şekilde karşılamaya hedefler”* (Khan and Ibrahim, 2004: 79)

Üretim planlama ve kontrol, müşteri siparişlerinin istenen zaman, miktar, fiyat ve kalitede karşılanmasını sağlamak için kaynakların en etkin kullanımını sağlamaya yönelik geleceğe dönük çalışmaları kapsar. Üretim planlama ve kontrol, ürünün gerçekleşme sürecinin kontrol altına alınmasının yanı sıra maliyeti minimize edecek yaklaşım hedefler. Dolayısıyla farklı bölümlerden detaylı bilgilerin derlenmesi gerekir. Ürün gamı ve yapısı, üretim biçiminin esnekliği ve sürekliliği, organizasyon yapısı ve işleyişi üretim planlama ve kontrol faaliyetlerinin güncel denetlenebilir olabilmesi açısından sistemli çalışma yapısını gerekli kılar. Bu amaçla bilgisayar destekli planlama programları önemli ölçüde kullanılır hale gelmiştir. Üretim planlama ve kontrol süreci taleplerin karşılanmasına yönelik çeşitli bilimsel teknikler ile çözüm arar. Bu kapsamda MRP (Material Requirement Planning: Malzeme İhtiyaç Planlama) programları taleplere karşılık gelen ihtiyaçları miktar bazında takvimlendirir. MRP gelecek tahmini verisi ile hareket eder. MRP öncesi yaygın planlama tekniği olan ROP (Reorder Point: Yeniden Sipariş Noktası) yönteminde,

geçmiş malzeme hareketleri verisinden hareketle reel talepleri karşılanmaya çalışılır. ROP yönteminde planlanan sipariş miktarı, yeniden sipariş noktasından ekonomik sayılan maksimum stok miktarına kadar olan miktarın sipariş edilmesini esas alır. ROP ya da yeniden sipariş noktası, müşteri talebi hızı ile tedarik hızı verileri üzerinden hesaplanır.

## 2.3 Üretim Planlama ve Kontrol Ufku

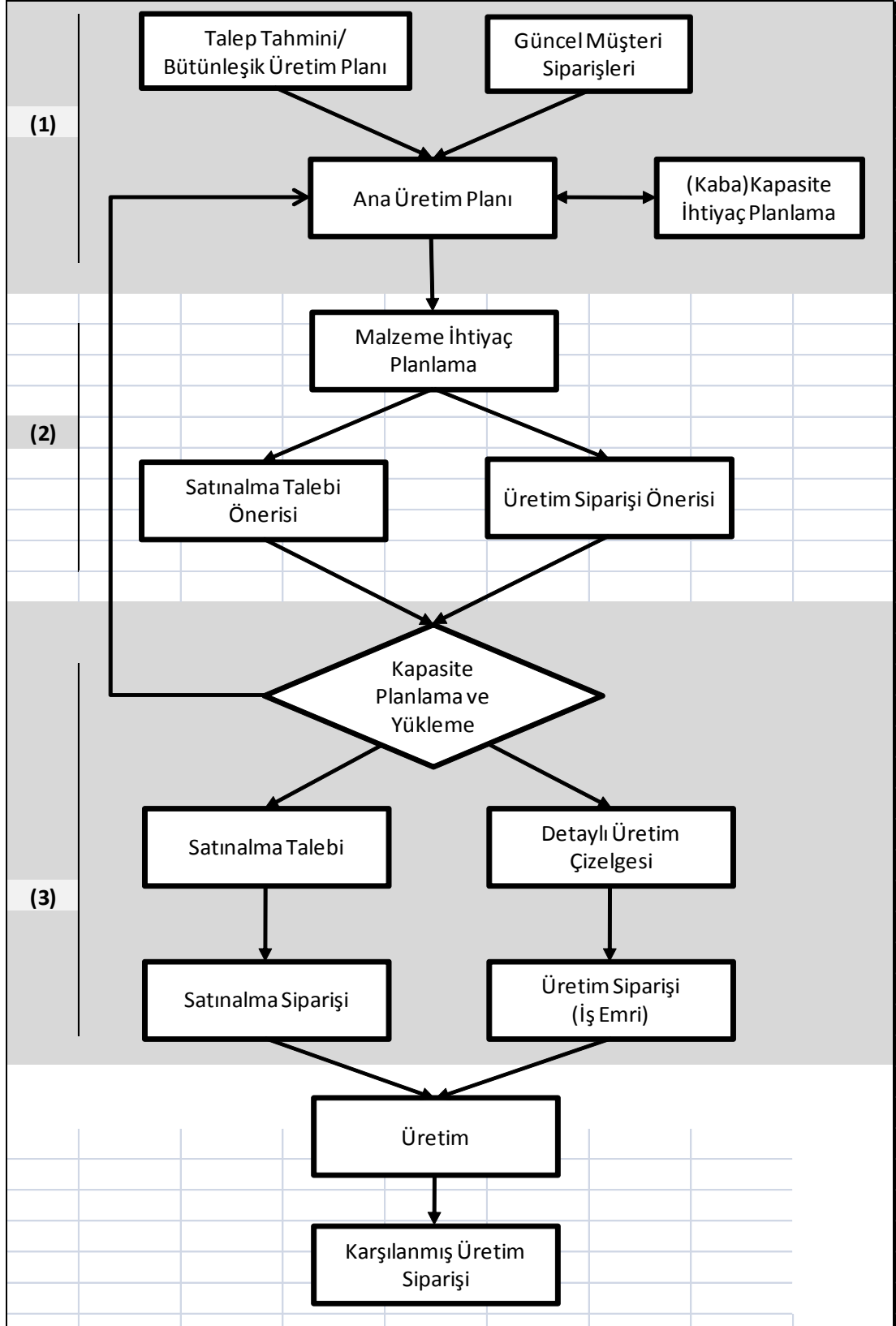
Üretim planlama ve kontrol süreci kapsadığı tarih aralığına göre uzun, orta ve kısa dönemli planlama olarak ayrılırlar. Uzun dönemli planlamalar, genel olarak 1 yıl ve üzerindeki sürelerde, kapasite yatırımları, araştırma-geliştirme çalışmaları gibi büyük ölçekli karar planlarıdır. Uzun dönemli planlamalar stratejik düzeydedir ve stratejik planlama çalışmaları bu kapsamda değerlendirilir.

Orta dönemli planlamalar, 3 – 18 ay arasını kapsayan aylık/3 aylık aralıklı çalışmalar olup hammadde ihtiyaç planlaması, vardiyalı ve/veya fason üretim kararları, iş gücü planlama gibi faaliyetlerin iyileştirilmesini hedefler. Orta dönemli planlamalar taktiksel düzeydedirler ve Bütünleşik Üretim Planları olarak adlandırılırlar. Bütünleşik Üretim Planlaması (APP: Agregate Production Planning), genellikle gelecek 3 aydan 18 aya kadar üretim miktarını ve zamanını belirlemekle ilgilenen orta dönemli planlamasıdır. Bir başka deyişle APP, orta dönem için beklenen talebi karşılayabilecek üretimi sağlama çabasıdır. (Kanyalkar ve Adil, 2005). Bu çalışma ürün grupları bazında ve ana hammadde düzeyinde yapılmasından dolayı "bütünleşik" ya da "toplam" planlama olarak adlandırılır.

Kısa dönemli planlamalar ise günlük, haftalık olarak 3 aydan az tarih aralığındaki planlama çalışmalarıdır. Bu çalışma ile üretim programının ve malzeme ihtiyaç planlarının oluşturulması, kapasite yükleme, iş gücü planlama, fazla mesai kararlarının alınmasını sağlar. Kısa dönemli planlamalar operasyonel düzeydedir. Operasyonlarının belirlenmesi için detaylı kısa dönem planlarına ihtiyaç vardır.

*“Kısa dönem planlaması için Bütünleşik Üretim Planlaması (APP) çok fazla genel kalır. Pratikte, APP'nin ayrıştırılması ile Ana Üretim Planlaması (MPS: Master Production Planning) oluşturulur. MPS, detaylı kapasite planlaması, malzeme planlaması ve nihayet üretim sahasında kullanılan günlük üretim çizelgelerinin arkasındaki itici güçtür. MPS daha çok bitmiş ürünleri listeler ve ürün ağacı yapısına göre altta birçok üretimin yapılması için detaylandırılması gerekir”* (Noori ve Radford, 1995: 480).

## 2.4 Üretim Planlama ve Kontrol Süreci



Şekil 2-1: Üretim Planlama ve Kontrol Süreci

*“Üretim planı şu bileşen bölümlerine ayrılabilir: (1) Ana Üretim Planı, (2) Malzeme İhtiyaç Planı ve (3) Detaylı Üretim Çizelgeleme. Bu bileşenlerin her biri asıl planın büyük ve karmaşık alt sistemini temsil edebilir.” (Nahmias, 1997: 335).*

Bu sınıflandırmadan hareketle ayrıntılı ÜPK sürecini Şekil 2-1’deki gibi tarif edebiliriz. Süreç, temel olarak üç aşamadan oluşmaktadır. Bu üç aşama çeşitli veriler ile desteklenmektedir. Ana üretim planı talep tahmini, güncel siparişler ve bütünleşik üretim planı verilerinden hareketle oluşturulur. Malzeme ihtiyaç planlaması; ürün ağacı, envanter seviyeleri, emniyet stok seviyeleri ve diğer üretim ve stoklama bilgileri üzerinden çalışır.

Bunun yanında Kapasite İhtiyaç Planlaması’nın da genel süreci kontrol çalışması olarak tarif edilebilir. Öyle ki bilgisayar destekli malzeme ihtiyaç planlamasına kapasite planlamanın da eklenerek çözümlenmesi ile üretim planlama ve kontrol programlamada önemli bir aşama olan üretim kaynakları planlaması - MRP II geliştirilmiştir. Detaylı üretim planlamasında ise malzeme ihtiyaç planlamasını destekleyen verilerin daha ayrıntılı operasyon detayları ve kapasite kısıt detayları işlenir.

Üretim planlama ve kontrol süreci, müşteri talebinin çeşitli tahmin yöntemleri ile belirlenmesi prosesi ile başlamaktadır. Bu verilere güncel müşteri siparişlerinin siparişleri eklenerek ana üretim çizelgesi oluşturulur. Bu üretim çizelgesi ya da planlaması üretim ve satın alma siparişlerini oluşturan Malzeme İhtiyaç Planlaması (MRP: Material Requirement Planning) ve bu siparişleri uygulayabilme kontrolü olan Kapasite İhtiyaç Planlaması (CRP: Capacity Requirement Planning) çalışmalarının döngüsel sürecinden oluşur. Planlama periyodunun uzun, orta ya da kısa olması bu çalışmaların sadece detay niteliğini etkiler. Örneğin planlama dönemi uzadıkça CRP çalışması detayı azalacaktır. Dolayısıyla süreci, Ana Üretim Planlaması, Malzeme İhtiyaç Planlaması ve Detaylı Üretim Çizelgesi ana başlıklarında inceleyebiliriz.

MRP ile oluşan satın alma ve üretim talebi önerileri detaylı kapasite kontrolünden geçerler. Burada satın alma sürecine bağlı kısıtlar ile üretim sürecine bağlı kısıtlar test edilir ve gerekli revizyon ve iptal işlemlerinden sonra satın alma talebi ve iş emirleri oluşturulur. Satın alma talepleri, siparişe dönüşmek üzere ilgili birime devredilirken üretim talepleri çizelgeleme ile üretim siparişlerine ya da iş emirlerine çevrilir.

## 2.5 Ana Üretim Planlaması

Bütünleşik üretim planlaması, talep tahmini yönetimi çalışmaları ve güncel müşteri siparişleri sonucunda ortaya çıkan bitmiş ürün tabanlı üretim çizelgesi olan Ana Üretim Planı (MPS: Master Production Schedule), malzeme ihtiyaç planlama sürecinin çalıştırılmasına veri sağlar. Şekil 2-1’de görüldüğü gibi MPS’nin temel girdileri bütünleşik üretim planlaması, talep tahmini ve güncel siparişleridir. Bütünleşik üretim planı, talep tahmini ve bütçelenmiş üretim miktarlarını içerebilir. Güncel siparişler genel olarak müşteri siparişleridir. Bununla birlikte aynı şirkete ait farklı depo ve üretim yeri siparişleri de olabilir. Bu verilerden hareketle MPS miktarları planlama periyodu bazında hesaplanır.

Ana üretim planlamasının yapılabilmesi için sürecin temel girdisi olan talep tahmini verilerinin önemi büyüktür.

*“Tahminleme yöntemleri genel kabul görmüş şekli ile Kalitatif ve Kantitatif Metot olarak sınıflandırılır. Kalitatif veya öznel tahminleme metotları sezgisel yol ile ulaşılan, tarihsel verilere dayanan ya da dayanmayan tahmin çalışmasıdır. Bu yöntem çoğunlukla, tahmincinin tahmin için kullanılabilir bilgileri nasıl çözümlediğini açık olarak belirtmediği müddetçe, başkası tarafından geliştirilemez”* (Abraham ve Ledolter, 2009: 2).

Karar verme sürecinde kullanılan başlıca kalitatif teknikler Delphi Tekniği, Pazar Araştırmaları, Uzman Grup Görüşleri ve Satış Gücü Karması olmak üzere dört grupta toplanabilmektedir (Demir ve Gümüšoğlu, 2003: 497).

Sayısal veri analizine dayanan tahminleme tekniği ise kantitatif tahminleme tekniği olarak ifade edilir. Kantitatif yöntemde tahmin, fonksiyon şeklinde formüle edilebilmektedir ve fonksiyonu oluşturan faktörlerin sayısı ve niteliği üzerinden Zaman Serileri ve Nedensel Yöntemler olarak sınıflandırılmaktadır. Son durumda tek başına 70 çeşitten fazla Zaman Serisi Yöntemleri mevcuttur (Mentzer ve Moon, 2004: 16). En çok kullanılan Zaman Serisi Yöntemleri; Hareketli Ortalama Yöntemi, Üstel Düzeltme Yöntemi ve Trend Yöntemi’dir. Nedensel Yöntemler bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenleri etkileme gücünün formülasyonu olarak tarif edilebilir. En çok kullanılan yöntem ise Çoklu Regresyon Yöntemi’dir.

Talep tahmini yöntemlerinin bir arada kullanıldığı yaklaşımlar da mevcuttur. Regresyon ve Hareketli Ortalama Yöntemi’nin kombinasyonu olarak Box ve Jenkins

tarafından geliştirilmiş ARIMA Yöntemi (Autoregressive Integrated Moving Average) zaman ve nedensel etkileri bulunan tahminlerde kullanılmaktadır.

Kobu genel üretim planlarının hazırlanışını aşağıdaki gibi açıklar:

*“Üretim planlarının hazırlanması için yapılacak işler şöyle sıralanabilir:*

- 1- *Üretim planının kapsayacağı zaman aralığı tespit edilir.*
- 2- *Ekonomik stok düzeyleri hesaplanır.*
- 3- *Talep tahminleri yapılır.*
- 4- *Plan dönemi başındaki ve sonundaki stok düzeyleri belirlenir.*
- 5- *Başlangıç ve bitiş stokları arasındaki fark bulunur.*
- 6- *Planlama dönemi içinde üretilmesi gereken miktar bulunur.*
- 7- *Üretilmesi gereken miktar dönem dilimlerine dağıtılır.”*

Örnek MPS Tablo 2-1’de gösterilmiştir. Buna göre 3 tekerlekli, standart yetişkin ve özelleştirilmiş yetişkin isimlerinde ve sırasıyla A, Y, X kodlarında 3 çeşit bisiklet üretilmektedir. Bisikletlere ait haftalık bazda ana üretim çizelgesine göre üretim planlanmıştır. Bu planı, emniyet stoğu tutmadan talep tahmini verilerinden hareketle hazırlandığını düşünebiliriz.

Tablo 2-1: Ana Üretim Planı

Bitmiş Ürün Adı	Bitmiş Ürün Kodu	Bisiklet Haftalık Üretim Çizelgesi, Adet					
		1	2	3	4	5	6
3 Tekerlekli	A	1.200	1.200	1.200	1.200	1.170	1.170
Standart Yetişkin	Y	700	700	700	700	680	680
Özelleştirilmiş Yetişkin	Z	265	265	265	265	430	430
Toplam		2.165	2.165	2.165	2.165	2.280	2.280

Kaynak: (Noori ve Radford, 1995: 482).

Ana üretim planlaması ile oluşan çizelge kaba kapasite ihtiyaç planlamasından geçerek kapasitenin yeterli olup olmadığı tespit edilir. Kaba kapasite planlamasında, kapasitenin yetersiz olduğu durumlarda çeşitli düzenlemeler yapılarak darboğaz aşmaya çalışılır. Bu düzenlemeler iş gücü takviyesi, vardiyalı çalışma, fason üretim kararları ve genel kapasite dengeleme çalışmalarıdır. Bazı durumlarda kısa dönemli makine yatırımları da yetersiz kapasite durumunu aşmak için kullanılabilir.

Kapasite planlamasının yapılabilmesi için ürünlerin üretim akışını gösteren operasyon rotalarının ve kaynaklarının biliniyor olması gerekmektedir. Kaba kapasite planlaması, teklif edilen ana üretim çizelgesinin iş yeri, departman ve makinelere olan etkilerinin değerlendirilmesi için kullanılır (Noori ve Radford, 1995: 480).

## 2.6 Malzeme İhtiyaç Planlaması

Malzeme İhtiyaç Planlaması (MRP: Material Requirement Planning) 1970’li yıllarda bir profesyonel topluluk olan Amerikan Üretim ve Envanter Kontrol Topluluğu’nun (APICS) yardımlarıyla Amerika Birleşik Devletleri’nde geliştirilmiştir. MRP öncüleri (Plossl, Orlicky ve Wight) International Business Machines Corporation (IBM) ile yakından ilişkililerdi. APICS ve IBM yönetimi altında kabul edilmiş bir terminoloji geliştirilmiştir. (Tomes and Hayes, 1993: 283)

*“Malzeme ihtiyaç planlaması, ana üretim planlamasının bağımlı talep ürünler için üretim ve satın alma siparişi oluşturabilmesini sağlayan bir üretim planlama ve kontrol tekniğidir”* (Noori and Radford, 1995: 498).

Malzeme ihtiyaç planı ürün ağaçları, stok seviyeleri, ürün rotaları, tedarik/üretim süreleri ile birlikte talep/sipariş miktarı/tarihi bilgilerine ihtiyaç duyar. MRP’nin çıktıları olan üretim ve satın alma siparişleri kapasite planlamasından geçmek suretiyle üretim sahasında çizelgelenir ve iş emirlerine dönüşür.

*“Malzeme ihtiyaç planlaması prosedürü 4 prosesten oluşmaktadır:*

- 1- *Net ihtiyaç miktarının belirlenmesi (Netting)*
- 2- *Sipariş büyüklüğünün tespit edilmesi (Lot sizing)*
- 3- *Planlanan sipariş tarihinin tespiti (Time phasing)*
- 4- *Ürün ağacındaki alt parça ihtiyaçlarının tespiti (BOM explosion)”* (Hopp and Spearman, 2008)

Bu proseslerin yapılabilmesi için MRP aşağıdaki verileri işlemektedir:

- Ana üretim çizelgesi
- Ürün ağacı bilgileri
- Kullanılabilir envanter
- Temin süreleri – Operasyon süreleri
- Güvenlik stok seviyesi

## 2.6.1 Net İhtiyaç Miktarının Belirlenmesi (Netting)

MRP hesaplamalarında net ihtiyaçların belirlenmesi brüt ihtiyaçlardan kullanılabilir miktarın çıkartılması yoluyla bulunur. Kullanılabilir miktar ilgili planlama periyodunda elde bulunan miktar ve daha önce sipariş edilmiş ve ilgili dönemde elde olacak miktarın toplamından oluşur.

MRP literatüründe bağımlı ve bağımsız talep kavramları sıkça kullanılmaktadır. Bağımlı talep (dependent demand) ürün ağacında komponent ya da alt parça olmasından kaynaklı bağımsız talep (independent demand) tarafından oluşan taleptir. MRP tablolarında belirtilen brüt ihtiyaçlar bağımsız talepler için MPS verilerinden oluşurken bağımlı talepler için ise ürün ağacında bağlı olduğu için ürün ya da yarı mamule ait planlanan siparişlerden oluşur. 2.6.4 numaralı bölümde bağımlı taleplere ait MRP detayları bulunmaktadır.

Net ihtiyaç miktarı ve eldeki miktar aşağıdaki gibi formüle edilir:

$$NI_t = \left\{ \begin{array}{ll} BI_t - EM_{t-1} - VS_t & \text{eğer } (BI_t - EM_{t-1} - VS_t) > 0 \\ 0 & \text{aksi} \end{array} \right\}$$

$$EM_t = \left\{ \begin{array}{ll} EM_{t-1} + VS_t - BI_t & \text{eğer } (EM_{t-1} + VS_t - BI_t) > 0 \\ 0 & \text{aksi} \end{array} \right\}$$

$NI_t$  :  $t$  dönemindeki net ihtiyaçlar

$BI_t$  :  $t$  dönemindeki brüt ihtiyaçlar

$EM_t$  :  $t$  dönemi sonundaki eldeki miktar

$VS_t$  :  $t$  döneminde teslim alınacak açık siparişler

Genel bir MRP tablosu A ürünü için Tablo 2-2'de gösterilmiştir. İlgili tabloda brüt ihtiyaçlar A ürününün bağımsız talep olması nedeniyle MPS verisinden (Tablo 2-1) gelmektedir. Verilmiş siparişler, teslim alınacak açık siparişleri göstermektedir.

Örnek MRP çalışması 6. hafta için yapılacaktır. Dolayısıyla brüt ihtiyaç sadece bu dönem için 1170 adet olarak tanımlıdır. 1170 adet ürün bir önceki döneme sonu stok miktarı bulunmadığı için net ihtiyaç miktarı 1170 adet olarak belirlenir.



$BI_6$  : 1170 adet

$EM_5$  : 0 adet

$VS_6$  : 0 adet

$BM_6 - EM_5 - VS_6 = 1170 > 0$  olmasından dolayı  $NI_6 = 1170$  adet olarak bulunmuştur.

Tablo 2-2: A Mamulü MRP Tablosu

Parti Tipi	Temin Süresi	Emniyet Stok Miktarı	Stok Tanımı	Dönem	1	2	3	4	5	6
LFL	1	0	A	Brüt İhtiyaçlar						1170
				Verilmiş Siparişler						0
				Eldeki Miktar					0	0
				Net İhtiyaçlar						1170
				Planlanan Siparişler						1170

### 2.6.2 Sipariş Büyüklüğünün Tespit Edilmesi (Lot Sizing)

Net ihtiyaç miktarının karşılanabilmesi için üretim ya da tedarik planlanması gerekmektedir. Bunun için planlanan sipariş miktarının belirlenmesi gerekmektedir. Sipariş büyüklüğünün tespiti için literatür oldukça zengin olmakla beraber en çok kullanılan yöntemler aşağıda açıklanmıştır. MRP ilgili sipariş büyüklüğü yöntemine göre net ihtiyacı karşılayacak sipariş önerisini geliştirir.

**İhtiyaç Kadar Sipariş Yöntemi (LFL: Lot For Lot):** Bu teknik sadece her periyot için gerekli olan miktar kadar sipariş eder. Envanteri minimize etmeye çalışırken, temin süresi ve üretim esnekliğini azaltma eğiliminde olması nedeniyle en çok tercih edilen tekniktir (Toomey, 1996: 78).

Tablo 2-3 LFL yöntemi ile temin süresi aynı dönemi geçmeyen talebe ait net ihtiyaçlara karşılık gelen planlanan sipariş dağılımını göstermektedir.

Tablo 2-3: LFL Yöntemi

LFL	Dönem					
	1	2	3	4	5	6
Net İhtiyaçlar	120	160	180	180	200	250
Planlanan Siparişler	120	160	180	180	200	250

**Ekonomik Siparis Miktarı Yöntemi (EOQ: Economic Order Quantity):** Ekonomik sipariş miktarı tekniği set-up ya da sipariş maliyeti ile taşıma/stok maliyeti ile dengeleyen formüle dayanır. İhtiyaçların sürekli ve benzer miktarda olduğu durumlarda tercih edilmektedir (Toomey, 1996: 79).

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \times \text{Yıllık Talep} \times \text{Setup Maliyeti}}{\text{Stok Maliyeti}}}$$

Formülde yer alan stok maliyeti; birim taşıma maliyeti oranının ürüne ait birim maliyet ile çarpılması şeklinde de gösterilebilmektedir. EOQ değerinin 500 adet olarak hesaplandığı aşağıdaki örnekte planlanan sipariş dağılımları Tablo 2-4'de gösterilmiştir.

Yıllık Talep: 5000 adet

Set-up Maliyeti: 25 TL/adet

Stok Maliyeti: 1 TL/adet/dönem

Tablo 2-4: EOQ Yöntemi

EOQ	Dönem					
	1	2	3	4	5	6
Net İhtiyaçlar	120	160	180	180	200	250
Planlanan Siparişler	500			500		500

**Sabit Siparis Miktarı Yöntemi (FOQ: Fixed Order Quantity):** EOQ yöntemi ile aynı özellikler taşır. EOQ hesaplama formülünden hareket etmeden farklı

kısıtlar üzerinden sabit sipariş miktarının belirlenmesi şeklindedir. Bu yöntem ithalat ürünlerinin tedarikinde kullanılabilir.

**Periyodik Sipariş Miktarı Yöntemi (POQ: Period Order Quantity):** EOQ hesaplandıktan sonra yıllık talebe karşılık gelen EOQ sayısı sipariş sayısı olarak hesaplanır. Planlama dönemi sayısının sipariş sayısına bölünmesi ile sipariş verilecek dönem sayısı belirlenir. Son olarak belirlenen sipariş sayısındaki dönemlere ait ihtiyaçlar kadar sipariş verilir.

Yıllık talebi 4.800 ve EOQ değeri 1.200 adet olan ve aylık planlama yapan bir işletme için Tablo 2-5’de POQ yöntemiyle planlanan sipariş dağılımı gösterilmiştir.

$$\text{Sipariş Sayısı} = \text{Yıllık Talep} / \text{EOQ} = 4.800 / 1.200 = 4$$

$$\text{Sipariş Periyodu} = \text{Planlama Dönemi Sayısı} / \text{Sipariş Sayısı} = 12 / 4 = 3$$

Tablo 2-5: POQ Yöntemi

POQ	Aylar											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Net İhtiyaçlar</b>	<b>300</b>	<b>320</b>	<b>360</b>	<b>450</b>	<b>480</b>	<b>520</b>	<b>500</b>	<b>450</b>	<b>400</b>	<b>360</b>	<b>360</b>	<b>300</b>
<b>Planlanan Siparişler</b>	<b>980</b>			<b>1450</b>			<b>1350</b>			<b>1020</b>		

**Sabit Sipariş Dönemi Yöntemi (FPQ: Fixed Period Quantity):** POQ yöntemi ile aynı şekilde sipariş açar. Tek farklılık sipariş periyodunun belirlenmesinde EOQ yöntemine bağımlı olmamadan farklı kısıtlar yoluyla karar verilmesidir. Tablo 2-4’de sabit sipariş dönemi 3 olan bir FPQ yöntemi tarif edilebilir.

**Parçalı Dönem Dengesi Yöntemi (PPB: Part Period Balancing):** PPB yöntemi set-up ya da sipariş verme maliyetinin stok maliyetine oranı ile hesaplanan EPP olarak adlandırılan ekonomik parça periyodu faktörü (Economic Part-Period) değerini referans alır. EPP değeri, kümülatif stok maliyetini (KEBM) aştığında, ilgili döneme ait sipariş büyüklüğü yüklemesi durdurulur.

$$\text{Set-up Maliyeti: } 10 \text{ TL/adet}$$

$$\text{Stok Maliyeti: } 0,1 \text{ TL/adet/dönem}$$

$$\text{EPP} = \text{Set-up Maliyeti} / \text{Stok Maliyeti} = 10 / 0,1 = 100$$

Tablo 2-6: PPB Yöntemi

PPB	Dönem					
	1	2	3	4	5	6
Net İhtiyaçlar	300	320	360	300	300	200
Planlanan Siparişler	620		960			200
KEBM	0	32	104	30	90	150

Örnek Tablo 2-6’da KEBM değeri EPP değeri olan 100’ü aştığında yüklemenin bir önceki döneme kadar yapıldığını göstermektedir. KEBM değeri bir önceki set-up dönemine kadar hesaplanmaktadır.

**En Düşük Birim Maliyet Yöntemi (LUC: Least Unit Cost):** Bu yöntem ile birim ürüne düşen maliyet düşmeye devam ettiği sürece sipariş yüklemesi devam eder. Birim maliyet arttığında durulur ve bir önceki döneme kadar olan ihtiyaçların toplamı kadar sipariş verilir. Yöntem açısından PPB'ye benzemektedir.

**Wagner-Whitin Yöntemi (W-W: Wagner-Whitin):** Model Harvey M. Wagner ve Thomson M. Whitin tarafından geliştirilmiş ve 1958 yılında Science Management dergisinde yayınlanmıştır. Yöntem toplam maliyeti minimize edecek şekilde bütün alternatiflerin ilk dönemden başlamak suretiyle hesaplanması ve Set-up yapılan dönem için toplam talebe ait maliyet önceki dönemin minimum maliyeti ile ilgili dönemin maliyetinin toplanması esasına dayanır. Yöntemin uygulama biçimi şu şekildedir: 1. dönem için toplam maliyet hesaplanır. Planlama dönemi başlangıcı olması dolayısıyla 1. dönemde geçiş yapıldığı kabul edilir. 2. dönem için alternatif maliyetlerin hesaplanır. Alternatifler ikinci dönemin ihtiyacının hangi dönemde karşılanması ile ilgilidir. Bir diğer ifade ile “2. dönem ihtiyacı için hangi dönemde Set-up yapılmalı mı?” sorusuna cevap aranır. Bu iki alternatif içerisinde toplam maliyeti minimize eden alternatif seçilir ve sonraki dönemlerde kullanılır. 3. dönem minimum maliyeti verecek şekilde alternatifler değerlendirilir. İşlem tüm planlama dönemleri için yapılır ve son planlama dönemindeki minimum maliyet tespit edilerek sipariş dağılımı yapılır.

Toplam maliyeti “F” ve dönemleri “i” simgeleri ile ifade edersek W-W yöntemi ile Tablo 2-7’de gösterilen örnek problemin çözümü aşağıda gösterilmiştir. (Johnson and Montgomery, 1974)

Tablo 2-7: W-W Yöntemi İçin Örnek Değerler

Dönem	<i>i</i>	1	2	3	4	5	6
Talep Miktarı	<i>D</i>	60	100	140	200	120	80
Geçiş Maliyeti	<i>A</i>	150	140	160	160	170	190
Birim Üretim Maliyeti	<i>C</i>	7	7	8	7	6	10
Stok Maliyeti	<i>h</i>	1	1	2	2	2	2

*j* geçiş yapılan dönemi ifade edecek şekilde tüm alternatifleri gösteren maliyet değerleri Tablo 2-8'de gösterilmiştir.

Tablo 2-8: W-W Toplam Maliyet Tablosu

	<i>i</i>					
<i>j</i>	1	2	3	4	5	6
1	570	1370	2630	4830	6390	7590
2		1410	2530	4530	5970	7090
3			2650	4650	6090	7210
4				4090	5170	6050
5					4980	5620
6						5970
<i>F(min)</i>	570	1370	2530	4090	4980	5620

Q ilgili döneme ait planlanan sipariş miktarını ifade edecek şekilde taleplere karşılık gelen siparişler Tablo 2-9'da gösterilmiştir.

Tablo 2-9: W-W Sonuç Tablosu

<i>i</i>	1	2	3	4	5	6
<i>D</i>	60	100	140	200	120	80
<i>Q</i>	60	240		200	200	

### 2.6.3 Planlanan Sipariş Tarihi ve Alt Parça İhtiyaçlarının Tespiti (Time phasing and BOM Explosion)

Ürün ağaçları bitmiş ürünü sıfır seviye kabul edecek şekilde yarı mamül, hammadde, yardımcı mamül, sarf malzemelerin artan seviyelerde miktarsal katılımını gösterirler. Dolayısıyla ürün ağacını oluşturan malzemeleri tanımlamakta

yarar var. Ürün ağacında tanımlı malzemelerin sınıflandırması işletmede gördüğü işlem(ler) ve tedarik türü belirleyicidir.

**Hammadde:** İşletmede işlem görüp değer kazanan ve ürün/yarı mamule dönüşecek olan dış kaynaktan tedarik olan malzemelerdir.

**Yarı Mamul:** Mamul/yarı mamulün bileşeni olan hammaddenin işlenmesi ve/veya yan mamul, ticari mamulün birleşmesi ile değer kazanan malzemelerdir. Bazı durumlarda yarı mamul dış tedarik yolu ile sağlanabilir. Dolayısıyla yarı mamul tanımının temel kısıtı işletmeye ait hammadde ya da diğer yarı mamulün işletme içi operasyon ile ya da fason tedarik ile sağlanabiliyor olması gerekmektedir (Burada fason tedarik, işletme malzemesi üzerinde dış kaynaklı operasyon olarak ifade edilmiştir). Sadece dış tedarik ile sağlanıyorsa bu malzeme yarı mamul niteliği kazanmaz.

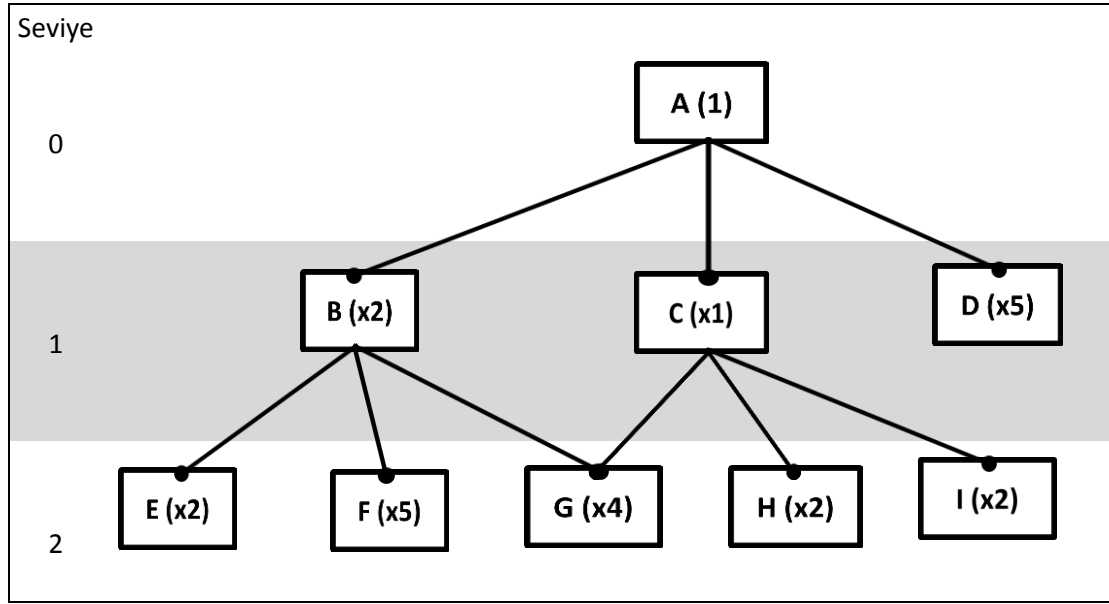
**Yardımcı (Yan) Mamul:** Ürün/yarı mamulün “diğer” bileşeni olan ve işletmede işlem görmeyecek olan dış kaynaklı malzemelerdir. Bu malzemeler ticari mamullerden farklı olarak satışı yapılmayan malzemelerdir.

**Mamul (Bitmiş Ürün):** İşlem görüp değer kazanarak satılabilen malzemelerdir. Mamuller yarı, ticari, yardımcı mamullerden oluşabildiği gibi başka bitmiş ürünlerde bileşeni olabilir.

**Ticari Mamul:** Alınıp satılabilen ve yardımcı mamul/hammadde olarak da kullanılabilen malzemelerdir.

Şekil 2-3’de A ürünü için ürün ağacı yapısı gösterilmiştir. İlgili ürün ağacı Tablo2-2’de gösterilen A ürünüdür. Ürün ağacının O, 1 ve 2 olmak üzere 3 seviyeden oluştuğu görülmektedir. Bu seviyeler bir sonraki farklı malzeme operasyonuna göre azalmaktadır. Şekil 2-3’e göre 1 birim A’nın üretilebilmesi için 2 birim B, 1 birim C ve 5 birim D’ye ihtiyaç duyulmaktadır. Yine B’yi üretebilmek için 2 birim E, 5 birim F ve 4 birim G’ye ihtiyaç vardır. G malzemesi C üretiminde de 4 birim olarak kullanılmaktadır. C yarı mamulünü, şekilde belirtilen miktarlarda

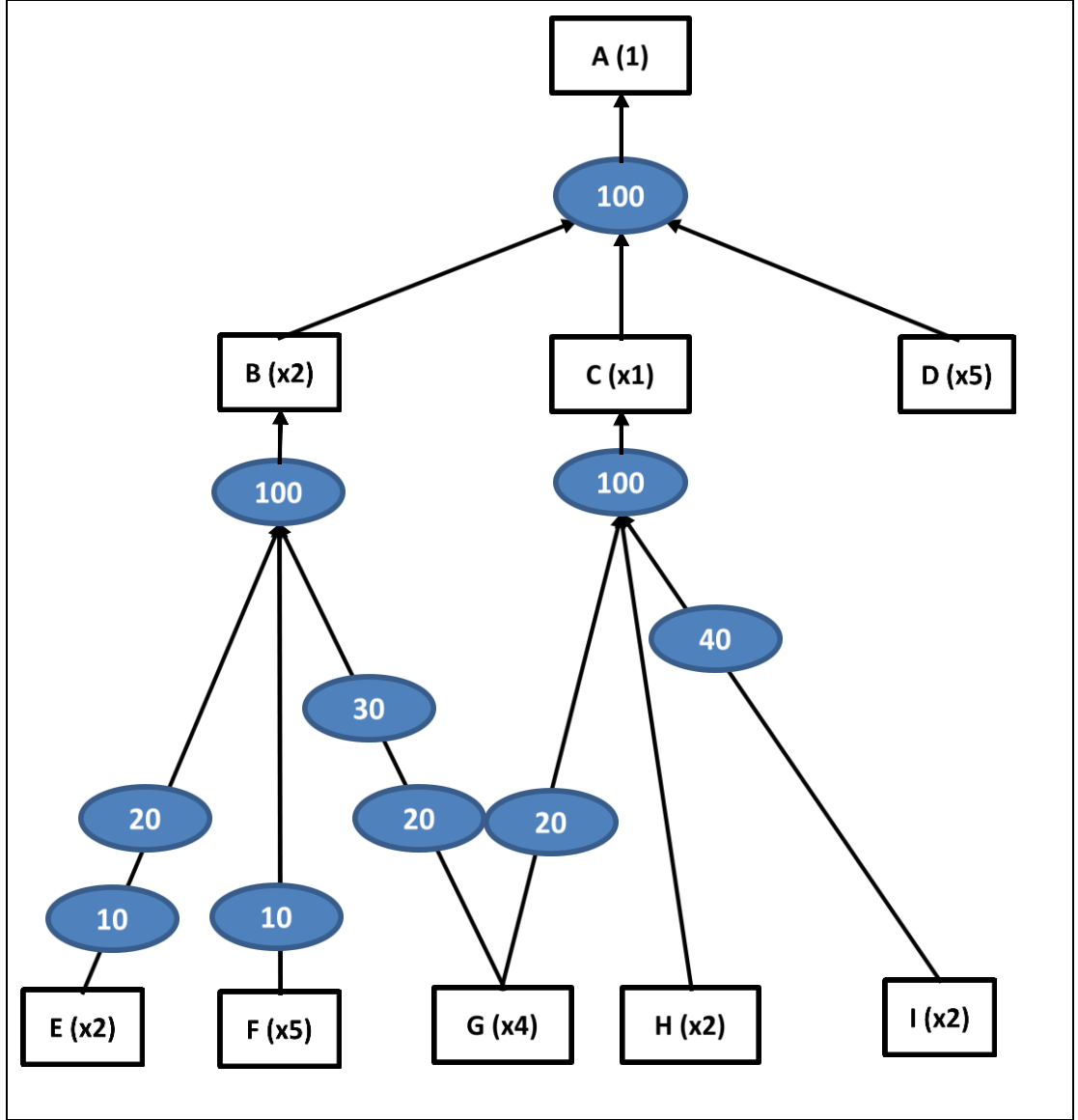
H ve I çeşitli işlemlerden geçerek G'nin katılımı ile oluşturmaktadır. D ise başka malzemelerin işletme içi operasyonundan oluşmadığı görülebilmektedir.



Şekil 2-3: Ürün Ağacı Yapısı

Malzemelerin sınıflandırılması ile beraber ürün ağacı üzerinden operasyon rotalarını Şekil 2-4'te gösterebiliriz. Bu gösterime göre E, F, G ve I işlem görüp B ve C oluşumunda kullanılmasından dolayı hammadde niteliği kazanmaktadır. E hammaddesi 10 ve 20 operasyonundan geçmektedir. F hammaddesi 10 ve G hammaddesi 20 ile 30 numaralı operasyonlardan geçmektedir. Bu operasyonlar sonucunda birleştirme yolu ile B oluşur. 2.7 numaralı bölümde operasyon detayları incelenmiştir. Malzeme ihtiyaç planlamasında kullandığımız temin sürelerini bu detaylar üzerinden ortaya çıkmaktadır.

B ve C ise yarı mamul olarak tanımlıdırlar. Bu malzemelerin eğer satışı yapılıyorsa mamul, satışı yapılmıyorsa yarı mamul olarak sınıflandırılabilirler. H ve D ise her hangi bir işleme tabii olmadığı için yardımcı malzeme ya da ticari malzemedir. Ve son olarak A bitmiş üründür ve B, C ve D malzemelerinin 100 numaralı birleşme operasyonu ile oluşur.



Şekil 2-4: A Mamulünün Operasyon Rotası Ağaç Görünümü

“MRP sadece hammaddelerin miktarları ile alakadar değildir, bununla beraber operasyonların ne zaman başlayacağı ve ne kadar süreceğini de işlemektedir” (Tomes ve Hayes, 1993: 284). Dolayısıyla MRP çalışma süreci için malzemelerin temin sürelerinin biliniyor olması gerekmektedir. Bir diğer ifade ile üretilen mamuller için zaman etüdü çalışmalarının tamamlanmış ve sisteme entegre edilmiş olması gerekir. Aynı şekilde tedarik edilen malzemelerin termin sürelerinin tanımlanmış olması gerekir. Malzeme temin süresi genel olarak tedarik, taşıma ve üretim süresinden oluşur. Dolayısıyla operasyon rotaları, bir yandan temin süreleri için veri oluştururken diğer yandan üretim çizelgeleme için veri sağlar.



Tablo 2-10’da A ürünü için 1 haftalık temin süresi kabul edilmiştir ve bu süre kadar geriye gitmek suretiyle eşit miktarda sipariş planlanır. Dolayısıyla 5. haftada 1170 adet A üretilmek suretiyle 6. haftadaki ihtiyaç karşılanmış olacaktır.

Tablo 2-10: A Mamulü MRP Tablosu

Parti Tipi	Temin Süresi	Emniyet Stok Miktarı	Stok Tanımı	Periyot	1	2	3	4	5	6
LFL	1	0	A	Brüt İhtiyaçlar						1170
				Verilmiş Siparişler						0
				Eldeki Miktar					0	0
				Net İhtiyaçlar						1170
				Planlanan Siparişler					1170	

A ürünü için brüt ihtiyaç miktarları MPS verilerinden gelmektedir. A ürününün alt parçalarının brüt ihtiyacı ise A için planlanan sipariş miktarıdır. Dolayısıyla B, C ve D için brüt ihtiyaç 5. hafta için 1170 adet A için tüketilecek miktardır.

MRP çalıştırılması ile B için brüt ihtiyaçlar Tablo 2-11’da gösterildiği gibi 2340 adet olarak hesaplanır. Miktar, parti tipi LFL yöntemine göre hesaplanmıştır ve tedarik süresi 2 hafta olduğu için sipariş 3. haftaya planlanmıştır.

Tablo 2-11: B Yarı Mamulü MRP Tablosu

Parti Tipi	Temin Süresi	Emniyet Stok Miktarı	Stok Tanımı	Periyot	1	2	3	4	5	6
LFL	2	0	B	Brüt İhtiyaçlar					2340	
				Verilmiş Siparişler					0	
				Eldeki Miktar				0	0	
				Net İhtiyaçlar						2340
				Planlanan Siparişler			2340			

Tablo 2-12 C yarı mamulü için MRP tablosunu göstermektedir. C üretimi için operasyon süresi 1 hafta olmasından dolayı planlanan sipariş 4. haftada 1170 adettir.

Tablo 2-12: C Yarı Mamulü MRP Tablosu

Parti Tipi	Temin Süresi	Emniyet Stok Miktarı	Stok Tanımı	Periyot	1	2	3	4	5	6
LFL	1	0	C	Brüt İhtiyaçlar					1170	
				Verilmiş Siparişler					0	
				Eldeki Miktar				0	0	
				Net İhtiyaçlar					1170	
				Planlanan Siparişler				1170		

B ve C yarı mamullerinin ikisinde de kullanılan G hammaddesinin MRP tablosu Tablo 2-13’de gösterilmiştir. G hammaddesinin tedarik süresi 2 haftadır ve parti tipi gereksinim miktarı kadar sipariş açan LFL’dir. Daha önce verilen siparişlerden 1. hafta 1000 adet teslim alınacağı için 2. hafta 1000 adet stoklu G hammaddesi bulunmaktadır. G hammaddesine ait brüt ihtiyaçlar 3. haftada 9360 adet B yarı mamulü için ve 4. haftada 2340 adet C yarı mamulü için oluşmuştur.

Tablo 2-13: G Hammaddesi MRP Tablosu

Parti Tipi	Temin Süresi	Emniyet Stok Miktarı	Stok Tanımı	Periyot	1	2	3	4	5	6
LFL	2	0	G	Brüt İhtiyaçlar			9360 <sup>B</sup>	2340 <sup>C</sup>		
				Verilmiş Siparişler		1000				
				Eldeki Miktar		1000	0	0		
				Net İhtiyaçlar			8360	2340		
				Planlanan Siparişler	7360	2340				

Tedarik süresi 2 hafta olması ve stokta 1000 adet olması nedeniyle G hammaddesi için planlanan satın alma siparişi önerisi 1. Hafta için 7360 ve 2. Hafta için 2340 adettir. Dolayısıyla malzeme ihtiyaç planlamasının 6. hafta için çalıştırılması durumunda G hammaddesi için 2 adet satın alma siparişi önerisi oluşacaktır. Kapasite ihtiyaç planlamasının durumuna göre bu öneriler talebe dönüşebilecektir.

A ürününe ait MPS verileri sırasıyla 6 dönem için 1200, 1200, 1200,1200, 1170 ve 1170 adettir. Tablo 2-15 ve 2-16'de A ürününe ait MRP rapor tablolara gösterilmektedir. Bu raporlar sonucunda Kapasite Planlamasında kullanılacak planlanmış sipariş önerileri Tablo 2-14'de gösterilmiştir. Bu siparişler A, B ve C için üretim siparişi iken E, F, G için satın alma sipariş önerisi niteliğindedir.

Tablo 2-14: Planlanmış Sipariş Önerileri

Stok Tanımı	1	2	3	4	5	6
A	1200	1200	1200	1170	1170	
B	2400	2340	2340			
C	1200	1200	1170	1170		
E	14040	4680				
F	4480	4680				
G	11700	11700				

Tablo 2-15: A,B ve C için MRP Çıktısı

Parti Tipi	Temin Süresi	Emniyet Stok Miktarı	Stok Tanımı	Periyot	0	1	2	3	4	5	6
LFL	1	0	A	Brüt İhtiyaçlar		1200	1200	1200	1200	1170	1170
				Verilmiş Siparişler		1100					0
				Eldeki Miktar	100	0	0	0	0	0	0
				Net İhtiyaçlar		0	1200	1200	1200	1170	1170
				Planlanan Siparişler		1200	1200	1200	1170	1170	
Parti Tipi	Temin Süresi	Emniyet Stok Miktarı	Stok Tanımı	Periyot	0	1	2	3	4	5	6
LFL	2	0	B	Brüt İhtiyaçlar		2400	2400	2400	2340	2340	
				Verilmiş Siparişler		400	2400			0	
				Eldeki Miktar	2000	0	0	0	0	0	0
				Net İhtiyaçlar		0	0	2400	2340	2340	0
				Planlanan Siparişler		2400	2340	2340			
Parti Tipi	Temin Süresi	Emniyet Stok Miktarı	Stok Tanımı	Periyot	0	1	2	3	4	5	6
LFL	1	0	C	Brüt İhtiyaçlar		1200	1200	1200	1170	1170	
				Verilmiş Siparişler		1000				0	
				Eldeki Miktar	200	0	0	0	0	0	0
				Net İhtiyaçlar		0	1200	1200	1170	1170	0
				Planlanan Siparişler		1200	1200	1170	1170		

Tablo 2-16: G, E ve F için MRP Çıktısı

Parti Tipi	Temin Süresi	Emniyet Stok Miktarı	Stok Tanımı	Periyot	0	1	2	3	4	5	6
LFL	2	0	G	Brüt İhtiyaçlar		14400	14160	14040	4680		
				Verilmiş Siparişler		15000	9160				
				Eldeki Miktar	4400	5000	0	0	0	0	0
				Net İhtiyaçlar		0	0	14040	4680	0	0
				Planlanan Siparişler		14040	4680				
Parti Tipi	Temin Süresi	Emniyet Stok Miktarı	Stok Tanımı	Periyot	0	1	2	3	4	5	6
LFL	1	0	E	Brüt İhtiyaçlar		4800	4680	4680	0	0	0
				Verilmiş Siparişler		5000					
				Eldeki Miktar	0	200	0	0	0	0	0
				Net İhtiyaçlar		0	4480	4680	0	0	0
				Planlanan Siparişler		4480	4680				
Parti Tipi	Temin Süresi	Emniyet Stok Miktarı	Stok Tanımı	Periyot	0	1	2	3	4	5	6
LFL	1	0	F	Brüt İhtiyaçlar		12000	11700	11700	0	0	0
				Verilmiş Siparişler		10000					
				Eldeki Miktar	2000	0	0	0	0	0	0
				Net İhtiyaçlar		0	11700	11700	0	0	0
				Planlanan Siparişler		11700	11700				

## 2.7 Detaylı Üretim Çizelgeleme

Bu aşama MRP tarafından oluşturulan üretim siparişlerinin kapasite planlaması ile üretim sahasında üretim istasyonlarına yüklenmesidir. Kapasite planlaması, her planlama periyodu için gerekli iş gücü ve makine kaynakları ihtiyaçlarını hesaplamak için MRP tarafından oluşturulmuş üretim siparişlerini kullanır. Daha sonra ihtiyaç duyulan kapasite ile mevcut kapasite karşılaştırılır (Noori and Radford, 1995: 510). MPS sürecindeki kapasite planlaması detay niteliği nedeniyle Kaba Kapasite İhtiyaç Planlaması (RCRP: Route Capacity Requirement Planning) olarak adlandırılmaktadır. RCRP, bitmiş ürün bazında bir geri bildirim olarak MPS'nin güncellenmesini destekler.

Kapasite, genel olarak müşteri için değer üretebilen herhangi tipteki kaynaklar seti şeklinde tarif edilebilir ve kapasite maliyeti genelde müşterinin kapasite tarafından üretilmiş ürün ya da hizmet için ödediği tutardan daha düşüktür (Matta and Semeraro, 2005). Kapasite planlamasındaki temel amaç aşırı yüklemeleri dağıtmak veya kapasiteyi arttırıcı önlemler almak, bununla birlikte düşük yüklemeleri arttırarak verimlilik sağlamaktır. Dolayısıyla kapasite planlaması üretim planında değişiklikler yapacak geri besleme bilgileri sağlar.

Şekil 2-1'de tanımlanan 3. aşamada üretim çizelgesinin sağlıklı yürüyebilmesi açısından “adam x saat” bakışından daha ileri olarak iş gücü vasfı, iş gücü yetkinlik durumu, izin programı, makinelerin tekil üretim kapasiteleri, hazırlık süreleri ve (varsa) makinedeki geçiş süre ve detayları ayrıntılı olarak incelenir. Detay çizelgenin takip gerekliliğine göre gün, saat, dakika, saniye düzeyine iner. Bunun yanında fason üretim ve tedarik sürelerindeki sapmalar da gözetilir.

Gelişmiş kurumsal kaynak planlama programları kapasite kısıtların tamamını önceden tanımlamak suretiyle malzeme ihtiyaç planlamanın daha gerçekçi öneriler geliştirmesini sağlar. Manuel müdahalenin azalması ile çizelgelemenin daha kolay yapılması sağlanır. Bununla birlikte en çok kullanılan çizelgeleme metodu Gant Diyagramıdır. Gant Diyagramı, üretim çizelgesinin görsel ve grafiksel gösterimi olarak tarif edilebilir. Yalın ifade ile bir zaman eğrisi üzerinde hangi işlerin hangi kaynaklarda yapıldığı gösterilir.

Malzeme ihtiyaç planlaması bölümünde verdiğimiz örneğe geri dönersek ürün ağacı ve operasyon rota detaylarının işlendiği tablolar aşağıda gösterilmiştir (Tablo 2-16, 2-17, 2-18). Bu örnek tablolar, üretim siparişleri için MRP tablolarında temin

süresi olarak tanımlanan sürelerdir. MRP önceden tanımlanan temin süresi yerine standart üretim zamanı çalışması sonucu ortaya çıkan süreleri kullanabilir. Birçok ERP programının çalışma prensibi standart üretim zamanının net ihtiyaç miktarı ile çarpılması ile elde edilen sürenin net ihtiyaç zamanında geriye doğru planlanması şeklindedir.

Tablo 2-17: C Yarı Mamulü Operasyon Tablosu

Üretim/ Tüketim	Malzeme Kodu	Birim	Üretim / Tüketim Miktarı	Operasyon 1 Kodu	İş Merkezi Kodu	Birim Operasyon Süresi (sn)
Üretim	C	Adet	1	100	İM100	25
Tüketim	G-20	Adet	4	20	İM20	2
Tüketim	H-00	Adet	2	00	-	-
Tüketim	I-40	Adet	2	40	İM40	15

Tablo 2-16'da C yarı mamulünün operasyon detayları gösterilmiştir. Tabloda gösterilen operasyon kodu, ilgili malzemenin hangi işlemlere tabii olacağını göstermektedir. Operasyon kodu malzeme koduna eklenmek suretiyle malzeme üzerinden operasyonu okumak mümkün hale getirilmiştir. Bu noktadan baktığımızda C sadece 100 numaralı işleme tabii olacak ve G, H ve I tüketimi ile üretilecektir. Fakat direk olarak sadece H yardımcı malzemesini tüketmektedir. Bu nedenle H yardımcı malzemesinin 100 numaralı operasyona girişinde koduna öncel işlem görmediğini gösteren 00 numaraları eklenmiştir. G ve I hammaddeleri sırasıyla 20 ve 40 kodlu operasyondan geçerek C'nin üretilmesini sağlayan 100 kodlu operasyona girerler. Dolayısıyla G ve I hammaddeleri tabloda G-20 ve I-40 olarak kodlanmıştır.

Tablo 2-17 ve 2-18'de B ve A için operasyon detayları gösterilmiştir. B yarı mamulü tablosunda E ve G hammaddelerinin 2 işlemde geçtiği için malzeme kodlaması E-10-20 ve G-20-30 olarak tanımlanmıştır. Bu tablolar MRP çıktıları ile birleştirmek suretiyle kapasite dengeleme ve yükleme yapılır.

Tablo 2-18: B Yarı Mamulü Operasyon Tablosu

Üretim/ Tüketim	Malzeme Kodu	Birim	Üretim / Tüketim		İş Merkezi Kodu	Birim Operasyon		İş Merkezi Kodu	Birim Operasyon Süresi (sn)
			Miktarı	1 Kodu		Operasyon	2 Kodu		
Üretim	B	Adet	1	100	İM100	8	-	-	-
Tüketim	E-10-20	Adet	2	10	İM10	5	20	İM20	5
Tüketim	F-10	Adet	5	10	İM10	3	-	-	-
Tüketim	G-20-30	Adet	4	20	İM20	2	30	İM30	3

Tablo 2-19: A Mamulü Operasyon Tablosu

Üretim/ Tüketim	Malzeme Kodu	Birim	Üretim / Tüketim		İş Merkezi Kodu	Birim Operasyon Süresi (sn)
			Miktarı	1 Kodu		
Üretim	A	Adet	1	100	İM100	60
Tüketim	B	Adet	2	-	-	-
Tüketim	C	Adet	1	-	-	-
Tüketim	D	Adet	5	-	-	-

Operasyon tablolarının özetini göstermesi ve kapasite planlanmasının temel bilgi girdisi olması açısından Tablo 2-19'da gösterilen operasyon tablosu kapasite yüklemeye önemli yer tutmaktadır.

Tablo 2-20: A Mamulü Genel Operasyon Tablosu

Üretilecek Ürün	Op. Kodu	Birim Op. Süresi (sn)	İş Merkezi	Haftalık Kapasite (sa)	Operasyonda Tüketilecek Malzeme		
					B	C	D
A	100	60	İM100	40	B	C	D
B	100	8	İM100	40	E-10-20	F-10	G-20
E-10-20	20	5	İM20	40	E-10		
E-10	10	5	İM10	40	E		
F-10	10	3	İM10	40	F		
G-20-30	20	2	İM30	40	G-20		
G-20	20	2	İM20	40	G		
C	100	25	İM100	40	G-20	H	I-40
G-20	20	2	İM20	40	G		
I-40	40	15	İM40	40	I		

Malzeme ihtiyaç planlaması A, B, C, E, F, G için çalışılmıştır. Bu malzemelere ait ihtiyaçlar haftalık kapasite planına yüklemek suretiyle kapasite kontrolü yapılır. Kapasite ihtiyaç planı A, B ve C için çalışılmıştır ve Tablo 2-20'de gösterilmiştir.



Tablo 2-21: İM100 Kapasite İhtiyaç Tablosu

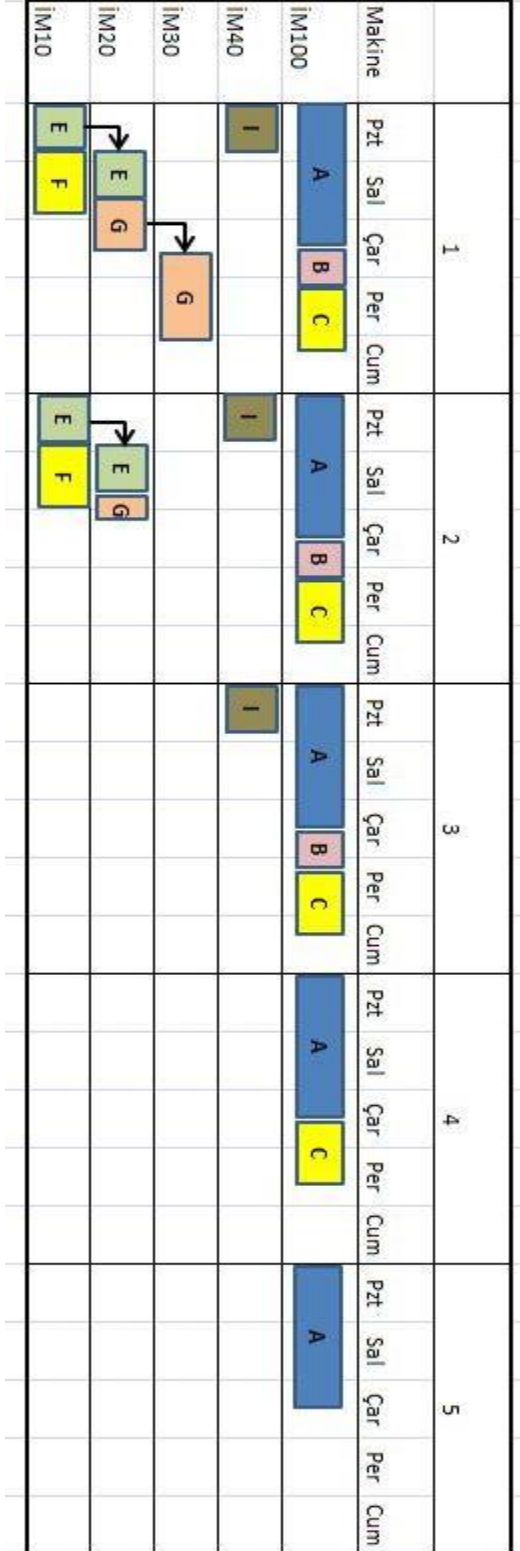
İş Merkezi: İM100		Hafta					
		1	2	3	4	5	6
Malzeme İhtiyaç Programı	A	1200	1200	1200	1170	1170	
	B	2400	2340	2340			
	C	1200	1200	1170	1170		
Kapasite İhtiyaçları (sa)	A	20	20	20	19,5	19,5	
	B	5,33	5,20	5,20			
	C	8,33	8,33	8,13	8,13		
	Toplam	33,7	33,5	33,3	27,6	19,5	
Kapasite Yükleme	Haftalık Kapasite	40	40	40	40	40	40
	Kapasite Doluluk Oranı	0,84	0,84	0,83	0,69	0,49	0,00

Tablo 2-13’de İM100 kodlu iş merkezinin kapasite yüklemeye uygun olduğu görülmektedir. Kapasite ihtiyaçları operasyon süresi ile haftalık ihtiyacın çarpılması suretiyle bulunmuştur. Kapasite doluluk oranı ise haftalık kullanılan toplam kapasitenin haftalık kapasiteye oranı şeklinde bulunmuştur. Kapasite doluluk oranı ise kapasitenin yetersiz olduğu durumlarda aşağıdaki çözümlerin bir ya da birden fazlasına gidilir:

- Kapasite dağıtımını yapmak suretiyle yetersiz kapasitenin bulunduğu dönem fazla kapasitenin olduğu dönemlere aktarma
- Fazla mesai kararı verme
- Kapasite kaynaklarının artırılması
- Geri bildirim ile MPS verilerinde revizyon istenmesi ve MRP’nin yeniden çalıştırılmasını sağlama

Akış tipi üretim sistemlerinde kapasitesi en düşük olan operasyon istasyonu hattın kapasitesini belirler. Dolayısıyla kapasitenin yetersiz olduğu durumda darboğaz oluşturan istasyonda iyileştirme yoluna gidilerek çözüm aranır. Şekil 2-1’de görüldüğü gibi kapasite planlama ve yükleme sonrasında satın alma talebi açılır

ya da MRP ile oluşturulan satın alma önerisi onaylanır. Diğer koldan ise üretim çizelgeleme yapılır. Literatürde üretim çizelgelemenin kapasite yükleme olarak ifade edildiği de gözlenir. Tablo 2-14 üretim çizelgesi Gantt Diyagramı'nda gösterilmiştir.



Şekil 2-2: Üretim Çizelgesi

Şekil 2-2'deki Gantt gösterimindeki üretim çizelgesi çeşitli sıralama yöntemleri kullanılmak suretiyle optimize edilebilir. Hali hazırda mamul ve yarı mamuller aynı hatta üretilmekte ve sıralamada mamule öncelik verilmiştir. Gelişmiş ERP programlarında çizelgeleme üzerinde manuel olarak düzeltmeleri kolaylaştıracak çek-bırak olarak tarif edilen yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntem ile çizelge üzerinden görsel sıralama yapılabilmektedir.

Yarı mamulün alt parçalarının da çizelgede işlenmesi ile beraber ilgili iş emirleri üretime aktarılır. Bir iş emrinde üretim sipariş kaynağı, planlanan başlama ve bitiş tarihi, üretilecek ürün tanımı ve miktarı, üretimin yapılacağı iş merkezi detayları yer alır. Bunların dışında teknik detay, operatör ismi, üretim yeri ve benzeri detaylar da yer alabilir.

### 3. MATEMATİKSEL MODEL

“Lingefjard’a (2002) göre modelleme süreci verilenleri belirleme ve sadeleştirme, problemi formülleştirme, değişkenleri belirleme, matematiksel ifadeleri formülleştirme, bir matematiksel model seçme, grafik gösterimleri kullanma ve gerçek hayat durumu ile karşılaştırarak kontrol etme gibi yedi aşamadan oluşmaktadır. Yine NCTM (National Council of Teachers of Mathematics) kaynaklarında da modelleme sürecinin lineer olmayan bir süreç olduğu ve beş temel aşamadan oluştuğu ifade edilmektedir (NCTM, 1989: 138). Modelleme sürecindeki temel aşamalar şunlardır:

- 1) Gerçek hayat problemini tanımlama ve sadeleştirme;
- 2) Bir matematiksel model oluşturma;
- 3) Modeli dönüştürme, geliştirme ve çözme;
- 4) Modeli yorumlama;
- 5) Modeli doğrulama ve kullanma.” (<http://matemodel.metu.edu.tr/node/7> ; 03-01-2014)

Bu bölümde üretim programının iyileştirilmesi için matematiksel modelin tanımlanması bir örnek olay üzerinden yapılmıştır. Modelin oluşturulma süreci yukarıdaki belirtilen süreci takip ederek geliştirilmiştir. Örnek olay Genç Plast A.Ş. üretim hatlarından olan PEX-b ürün grubu üretim programıdır. Dolayısıyla modelleme bağımsız talep için gerçekleştirilecektir. Bununla birlikte bağımlı talepler için de model uygulanabilir.

Modelde değerlendirme konusu olan maliyetler ise stok maliyeti, üretim maliyeti ve geçiş maliyetidir. Bunun yanında çok parametrelili kısıtlar 3.1 numaralı bölümde detaylı olarak açıklanmıştır.

Daha sonra çözüm alternatifleri sunularak matematiksel model ile yapılacak çözümlemenin gerçekleştireceği iyileştirme gözlemlenmeye çalışılmıştır. Matematiksel model oluşturulduktan sonra Excel formül uyarlaması ile çözümü gerçekleştirilmiştir. Modelin iyileştirilmesi ve genişletilmesi sonraki alt bölüm başlıklarında incelenmiş ve “Matematiksel Modelleme” bölümü tamamlanmıştır.

### 3.1 Problemin Tanımlanması

GENÇ PLAST A.Ş. firması polietilen malzemeden boru üretimi yapmaktadır. Zemin ısıtma sistemlerinde kullanılmak üzere, PEX-b ürün grubu olarak kısaca ifade edilen çapraz bağlı (cross-link) polietilen boru ürününe özel önem verilmektedir. Öyle ki boruların piyasada üreticileri, çok az olmakla beraber oldukça güçlü durumdadırlar.

Firmada PEX-b boruları, Silan Yöntemi ile üretilmektedir. Üretim yüksek yoğunluklu polietilen hammaddenin ekstrüder hattında çekilmesi sırasında buhar kürü olarak adlandırılan ajan moleküller vasıtasıyla çapraz bağların oluşturulması şeklinde gerçekleşmektedir.

PEX grubu ürünler Silan Yöntemi ile üretilmelerinden kaynaklı PEX-b olarak kısaca ifade edilir. Avrupa Standartlar Komitesi (CEN), EN ISO 15875-1:2003/A1:2007 numaralı standarda göre PEX borular üretim yöntemine göre PEX-a (Peroksit Yöntem), PEX-b (Silan Yöntemi) ve PEX-c (Işınlama Yöntemi) olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma kaliteden bağımsızdır ve standart koşullarını sağlamada üretim yöntemine bakılmamaktadır. Bununla birlikte üretim yöntemine göre çapraz bağ yoğunluğu değişebilmektedir. Çapraz bağ yoğunluğu %60 ila %65 arasında değişmektedir.

Firmanın 32 mm çaptaki PEX-b boruya ait 2014 yılına ait aylık talep miktarını yılın ilk 8 ayı için aşağıda Tablo 3-1 de gösterilmiştir. Miktarlar bağ birimi olarak gösterilmiştir. Her bağ 200 mt boruya tekabül etmektedir.

Tablo 3-1: PEXB322014 Talep Miktarları.

Dönem	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Toplam
Talep		700	800	1000	700	500	700	1000	1000	6400

Genç Plast tarafından üretilen PEX boru grubu ürünler çaplarına göre kodlanmaktadır. 32 mm çapındaki PEX-b ürünü PEXB32 olarak kodlanmaktadır.

PEXB32 ürünün üretildiği H10EX ekstrüzyon hattı bu ürün için yetersiz kapasite koşulu yaratmamaktadır. Atıl kapasitenin önlenmesi için, PEXB32 ürünün üretilmediği durumlarda, H10EX üretim hattında PEXB06, PEXB12, PEXB25 ve PEXB40 ürünleri üretilmektedir.

Genç Plast, Tablo 2.1’de gösterilen talep tahmininde her dönem, 1 ayı ifade etmektedir ve firma bir dönem içinde en fazla 1 parti üretimi yaparak ya da stoktan ilgili talebi karşılamayı hedeflemektedir. Dolayısıyla her dönem için en fazla 1 kere Geçiş yapılacaktır. Firma 8. dönem sonunda stok tutmak istememektedir.

PEXB32 ürünün üretim maliyeti 1 bağ için 100 TL’dir. H10EX üretim hattındaki başka bir üründen PEXB32 üretimine geçiş maliyeti olarak tanımlanan Geçiş maliyeti 4000 TL tutmaktadır. Bununla birlikte stok maliyeti ise 1 bağ için 2 TL olarak hesaplanmıştır. Planlama dönemine girerken firmanın stoğunda sevke hazır 100 bağ PEXB32 bulunmaktadır.

Firma üretim, stok ve Geçiş maliyetini en az seviyeye çekecek şekilde PEXB32 ürününün taleplerini karşılamak üzere üretim planı hazırlamak istemektedir. Üretim planı girdilerini kısaca aşağıdaki gibi özetleyebiliriz:

PEXB32 ürünü bağ şeklinde stoklanmaktadır. Her bağ ürün 200 mt boruya tekabül etmektedir.

Üretim kapasitesi sonsuz olarak tasarlanmaktadır.

Ürün tek seviyeli ürün ağacı yapısına sahiptir.

Üretim H10EX ekstrüzyon hattında bitmiş ürüne dönüşmektedir. Ardıl işlem bulunmamaktadır.

Her bağ için üretim maliyeti 100 TL’dir.

H10EX hattında üretilen bir önceki ürüne bakılmaksızın toplam Geçiş maliyeti 4.000 TL’dir.

PEXB32 ürününün her bağ için 1 aylık stok maliyeti 2 TL’dir. En az 1 dönem bekleyen ürünler stok maliyeti oluşturmamaktadır. Stoklama alanı sonsuz kabul edilmiştir.

Firma 2014 senesi için 8 aylık üretim planı oluşturmak istemektedir. Bu dönemlere ait talep miktarları Tablo 3-1’de verilmiştir.

Firma planlama dönem sonunda stok bulundurmak istememektedir.

### 3.2 Matematiksel Modelin Oluşturulması

Matematiksel modelimizi ait verilerin matematiksel kodlarını ifade eden sembol tablosu Tablo 3-2’de verilmiştir. Problemin amaç fonksiyonunu, karar değişkenlerini ve kısıtlarını bu kodlama üzerinden açıklayacağız.

Bununla birlikte model kurgusunun 3.1 numaralı bölümde özetlenen problemin yapısına uygunluğu düşünülerek anlaşılması oldukça önemlidir. Problemin tek ürüne ait üretim planı modeli olmasından kaynaklı ürün indeksi eklenmemiştir. İleri bölümlerde amaç fonksiyonu ve kısıtlardaki değişiklikler modelin temel yapısını değiştirmedeği görülecektir.

Tablo 3-2: Sembol Tablosu.

Sembol	Açıklama	Birim
$t$	Planlanacak dönemler $1,2,\dots t$	Dönem
$d_t$	$t$ döneminde ürüne ait talep miktarı	Bağ
$x_t$	$t$ döneminde üretilen ürün miktarı	Bağ
$s_t$	$t$ döneminde stoklanan ürün miktarı	Bağ
$y_t$	$t$ dönemindeki geçiş sayısı	Adet
$p$	Ürüne ait birim üretim maliyeti	TL/Bağ
$q_t$	Ürünün $t$ dönemindeki geçiş maliyeti	TL/Adet
$h_t$	Ürünün $t$ dönemindeki stoklama maliyeti	TL/Dönem
$n$	Geçiş yapılabilecek dönemler $1,2,\dots t$	Dönem
$v_t^n$	$n$ döneminden $t$ dönemine kadar toplam stok maliyetinin geçiş maliyetine oranı	TL/Dönem
$Z$	Toplam maliyet	TL

Amaç Fonksiyonu;

$$Z_{min} = \sum_{t=1}^8 (s_t h_t + y_t q_t + x_t p) \quad (3.1)$$

Kısıtlar;

$$s_{t-1} + x_t = s_t + d_t \quad (3.2)$$

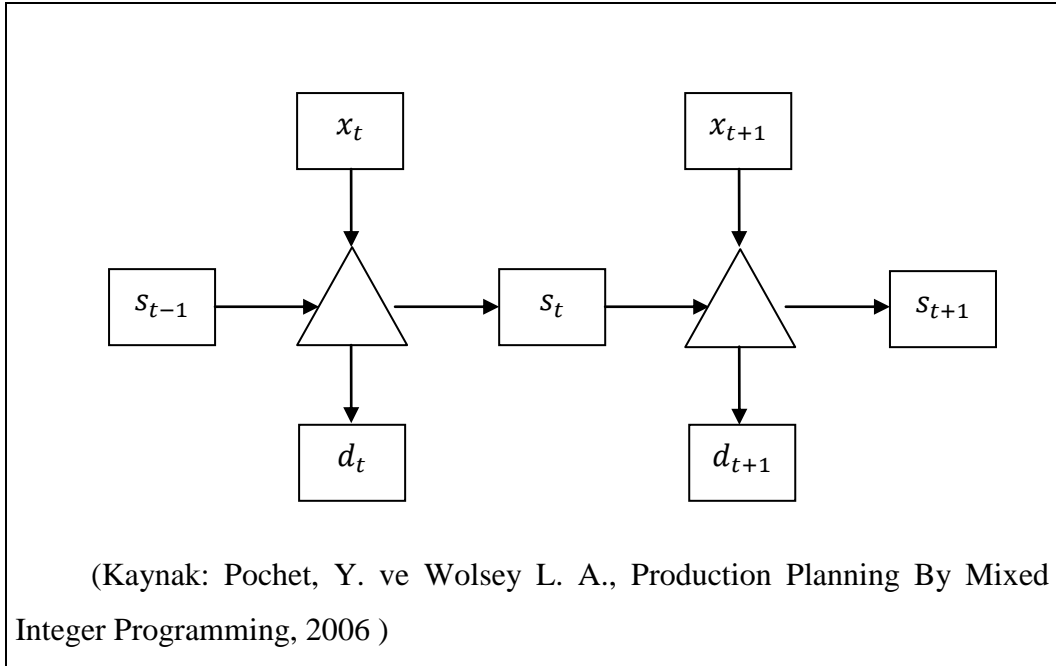
$$y_t = \begin{cases} 1 & \text{eğer } d_t > s_{t-1} \\ 0 & \text{aksi} \end{cases} \quad (3.3)$$

$$v_t^n = \begin{cases} 1 - \varepsilon & \text{eğer } t = n \\ \frac{(t-n) d_t h_t}{q_t} & \text{eğer } t > n \text{ ve } v_{t-1}^n < 1 \\ - & \text{aksi} \end{cases} \quad \forall t \geq n \quad (3.4)$$

$$x_t = \begin{cases} \left( \sum_{t=1}^8 d_t \right) - s_{t-1} & \text{eğer } y_t = 1 \text{ ve } v_t^n < 1 \\ 0 & \text{aksi} \end{cases} \quad (3.5)$$

$$s_t, x_t, d_t \geq 0 \quad (3.6)$$

3.1 denklemi amaç fonksiyonumuzu tanımlamaktadır. Toplam maliyetin en küçüklenmesi; üretim, geçiş ve stok maliyetinden oluşan karar değişkenleri üzerinden önceden hesaplanmış sabit birim maliyetler üzerinden hesaplamaktadır. 3.2 denkleminde ise envanerin üretim, stok ve talep faktörleri ile dengelenmesi formüle edilmiştir. Bu kısıt Şekil 3-1'de tanımladığımız semboller kullanılarak görsel olarak ifade edilmiştir.



Şekil 3-1: Envanter Hareketi



3.3 numaralı denklemde Geçiş karar kısıtı yer almaktadır. Bu denkleme göre ilgili döneme ait talep miktarı stoktan karşılanamıyorsa üretim yapmayı dolayısıyla Geçiş yapmayı zorunlu kılmaktadır.

Üretim kararı verildikten sonra karar verilecek diğer husus ise üretilecek miktar yani üretilecek parti miktarıdır. Bunun için 3.4 numaralı denklemde  $v_t^n$  olarak tanımladığımız değer devreye girmektedir.  $v_t^n$  ifadesindeki  $n$  sembolü geçiş yapılan dönemi ifade etmektedir.  $v_t^n$  üretim miktarı başına düşen birim geçiş maliyetidir.

Bir dönemde yapılacak geçiş sonrasında üretilecek parti miktarı,  $v_t^n$  değerinin stok maliyeti ile karşılaştırılması ile kararlaştırılmaktadır. 3.5 denklemde  $h$  değerinden büyük olan  $v_t^n$  değerine sahip olan  $t$  dönemine ait talep miktarının toplamı kadar üretim yapılması formüle edilmiştir.

Son kısıt olan 3.6 denklemde ise negatif olmama şartı getirilmiştir.

### 3.3 Modelin Excel'e Uyarlanması ve Problemin Çözülmesi

Modelin Excel'e uyarlanması aşağıda belirttiğimiz adımları izleyerek gerçekleştirilecektir.

**Adım 1:** Bu adımda tabloya verili değerlerin girilmesi ve amaç fonksiyonunun excele uyarlanması yapılacaktır.

Planlama dönemi, ilgili dönemlere karşılık gelen talep miktarları ve maliyet kalemleri tabloya işlenmiştir. Bununla birlikte Excel formül yapısına uygun olması açısından maliyetler bütün dönemler için ayrı ayrı yazılmıştır ve üretim miktarı, geçiş karar değeri ve maliyet karşılaştırma katsayısı da diğer adımlarda formüle edilmek üzere aşağıda Tablo 3-3'deki şekilde işlenmiştir.

Matematiksel modelimizdeki formüllerin karşılıkları Tablo 3-3'de gösterilecektir. M17 hücresinde formüle edilen değer, toplam maliyeti ifade etmektedir. Bu hücre aynı zamanda modelimizdeki amaç fonksiyonu olan 3.1 numaralı formülü karşılayacaktır. Formülü aşağıdaki şekilde dönüştürebiliriz:

$$Z_{min} = \sum_{t=1}^8 (s_t h + y_t q + x_t p) = \sum_{t=1}^8 (s_t h_t) + \sum_{t=1}^8 (y_t q_t) + \sum_{t=1}^8 (x_t q)$$

Tablo 3-3: Modelin Excele Uyarlanması Adım 1.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1				8									
2				7									
3				6									
4			Maliyet	5									
5		$v_t^n$	Karşılaştırma	4									
6			Katsayısı	3									
7				2									
8				1									
9		$t$	Dönem	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Toplam
10		$d$	Talep		700	800	1000	700	500	700	1000	1000	6400
11		$x$	Üretim										0
12		$s$	Stok	100									0
13		$y$	Set-up										0
14			Stok										0
15			Maliyeti										0
16			Setup										0
17		$p$	Üretim										0
18		$h$	Maliyeti		2	2	2	2	2	2	2	2	
19		$q$	Maliyeti		4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	

Formüle sırasıyla bütün dönemlere ait stok, geçiş ve üretim maliyeti toplamı hesaplanmaktadır. Excel'de formüle edilmiş şekli aşağıdadır.

$$s_1 h_1 = E14 = E12 * E18$$

$$s_2 h_2 = F14 = F12 * F18$$

$$s_3 h_3 = G14 = G12 * G18$$

$$s_4 h_4 = H14 = H12 * H18$$

$$s_5 h_5 = I14 = I12 * I18$$

$$s_6 h_6 = J14 = J12 * J18$$

$$s_7 h_7 = K14 = K12 * K18$$

$$s_8 h_8 = L14 = L12 * L18$$

$$\sum_{t=1}^8 s_t h_t = M14 = TOPLA(E14:L14)$$

$$y_1 q_1 = E15 = E13 * E19$$

$$y_2 q_2 = F15 = F13 * F19$$

$$y_3 q_3 = G15 = G13 * G19$$

$$y_4 q_4 = H15 = H13 * H19$$

$$y_5 q_5 = I15 = I13 * I19$$

$$y_6 q_6 = J15 = J13 * J19$$

$$y_7 q_7 = K15 = K13 * K19$$

$$y_8 q_8 = L15 = L13 * L19$$

$$\sum_{t=1}^8 y_t q = M15 = TOPLA(E15:L15)$$

$$x_1 p = E16 = E11 * E17$$

$$x_2 p = F16 = F11 * F17$$

$$x_3 p = G16 = G11 * G17$$

$$x_4 p = H16 = H11 * H17$$

$$x_5 p = I16 = I11 * I17$$

$$x_6 p = J16 = J11 * J17$$

$$x_7 p = K16 = K11 * K17$$

$$x_8 p = L16 = L11 * L17$$

$$\sum_{t=1}^8 x_t p = M16 = TOPLA(E16:L16)$$

İlgili maliyet formüllerini amaç fonksiyonumuzda yerine yazarak aşağıdaki toplam formülüne ulaşırız.

$$Z = M17 = M14 + M15 + M16 = TOPLA(M14:M16)$$

Excel tablomuzda ayrıca talep, üretim miktarı, stoklanan ürün toplamı ve Geçiş yapılan dönem sayısı toplamını gösteren formüller aşağıda belirtilmiştir.

$$\sum_{t=1}^8 d_t = M10 = TOPLA(E10:L10)$$

$$\sum_{t=1}^8 x_t = M11 = TOPLA(E11:L11)$$

$$\sum_{t=1}^8 s_t = M12 = TOPLA(E12:L12)$$

$$\sum_{t=1}^8 y_t = M13 = TOPLA(E13:L13)$$

**Adım 2:** Bu adımda dönem sonu stok miktarı formüle edilmiştir. Formül matematiksel modelimizde 3.2 numaralı denklemimizde belirtilmektedir.

$$s_{t-1} + x_t = s_t + d_t$$

$$s_{t-1} + x_t - d_t = s_t$$

Formül dönüşümünü yukarıdaki gibi yaptığımızda dönemlere ait stok miktarları aşağıdaki şekilde Excel'de formüle edilir.

$$s_1 = E12 = D12 + E11 - E10$$

$$s_2 = F12 = E12 + F11 - F10$$

$$s_3 = G12 = F12 + G11 - G10$$

$$s_4 = H12 = G12 + H11 - H10$$

$$s_5 = I12 = H12 + I11 - I10$$

$$s_6 = J12 = I12 + J11 - J10$$

$$s_7 = K12 = J12 + K11 - K10$$

$$s_8 = L12 = K12 + L11 - L10$$

**Adım 3:** Bu adımda ise Geçiş kararını ifade eden matematiksel modelimizdeki 3.3 numaralı kısıtı, Excel'de formüle edeceğiz. Geçiş karar kısıtını hatırlamak gerekirse;

$$y_t = \left\{ \begin{array}{ll} 1 & \text{eğer } d_t > s_{t-1} \\ 0 & \text{aksi} \end{array} \right\} \quad (3.3)$$

olarak ifade edilmişti. Buna göre ilgili dönemin talep miktarı, bir önceki döneme ait dönem sonu stok miktarından büyük ise Geçiş yapılması gerekir, bir diğer ifade ile Geçiş karar değeri 1 olarak kodlanır. Stok miktarı döneme ait talep miktarında yüksek ise Geçiş yaparak üretime geçmeye gerek yoktur.

$$\begin{aligned}
y_1 &= E13 = E\check{G}ER(E10 > D12; 1; 0) \\
y_2 &= F13 = E\check{G}ER(F10 > E12; 1; 0) \\
y_3 &= G13 = E\check{G}ER(G10 > F12; 1; 0) \\
y_4 &= H13 = E\check{G}ER(H10 > G12; 1; 0) \\
y_5 &= I13 = E\check{G}ER(I10 > H12; 1; 0) \\
y_6 &= J13 = E\check{G}ER(J10 > I12; 1; 0) \\
y_7 &= K13 = E\check{G}ER(K10 > J12; 1; 0) \\
y_8 &= L13 = E\check{G}ER(L10 > K12; 1; 0)
\end{aligned}$$

**Adım 4:** Bu adımda üretim parti miktarını tespit edecek modelimizde 3.4 numaralı kısıtı olan maliyet karşılaştırma katsayısı formüle edilecektir. İlgili kısıt aşağıda verilmiştir.

$$v_t^n = \left\{ \begin{array}{ll} 1 - \varepsilon & \text{eğer} \\ \frac{(t-n) d_t h_t}{q_t} & \text{eğer} \\ - & \text{aksi} \end{array} \right. \left. \begin{array}{l} t = n \\ t > n \text{ and } v_{t-1}^n < 1 \\ \end{array} \right\} \forall t \geq n \quad (3.4)$$

Excel formülleri ilk olarak birinci koşulu ifade eden  $t = n$  için ve ikinci olarak  $t > n$  koşulunu sağlayan formüller sırasıyla belirtilmiştir.

$$\begin{aligned}
v_1^1 &= E8 = 1 - 0,0001 \\
v_2^2 &= F8 = 1 - 0,0001 \\
v_3^3 &= G8 = 1 - 0,0001 \\
v_4^4 &= H8 = 1 - 0,0001 \\
v_5^5 &= I8 = 1 - 0,0001 \\
v_6^6 &= J8 = 1 - 0,0001 \\
v_7^7 &= K8 = 1 - 0,0001 \\
v_8^8 &= L8 = 1 - 0,0001
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
v_2^1 &= F8 = (1 * F10 * F18)/L19 \\
v_3^1 &= G8 = (2 * G10 * G18)/L19 \\
v_4^1 &= H8 = (3 * H10 * H18)/L19 \\
v_5^1 &= I8 = (4 * I10 * I18)/L19 \\
v_6^1 &= J8 = (5 * J10 * J18)/L19 \\
v_7^1 &= K8 = (6 * K10 * K18)/L19 \\
v_8^1 &= L8 = (7 * L10 * L18)/L19 \\
v_3^2 &= G7 = (1 * G10 * G18)/L19 \\
v_4^2 &= H7 = (2 * H10 * H18)/L19 \\
v_5^2 &= I7 = (3 * I10 * I18)/L19 \\
v_6^2 &= J7 = (4 * J10 * J18)/L19 \\
v_7^2 &= K7 = (5 * K10 * K18)/L19 \\
v_8^2 &= L7 = (6 * L10 * L18)/L19 \\
v_4^3 &= H6 = (1 * H10 * H18)/L19 \\
v_5^3 &= I6 = (2 * I10 * I18)/L19 \\
v_6^3 &= J6 = (3 * J10 * J18)/L19 \\
v_7^3 &= K6 = (4 * K10 * K18)/L19 \\
v_8^3 &= L6 = (5 * L10 * L18)/L19 \\
v_5^4 &= I5 = (1 * I10 * I18)/L19 \\
v_6^4 &= J5 = (2 * J10 * J18)/L19 \\
v_7^4 &= K5 = (3 * K10 * K18)/L19 \\
v_8^4 &= L5 = (4 * L10 * L18)/L19 \\
v_6^5 &= J4 = (1 * J10 * J18)/L19 \\
v_7^5 &= K4 = (2 * K10 * K18)/L19 \\
v_8^5 &= L4 = (3 * L10 * L18)/L19 \\
v_7^6 &= K3 = (1 * K10 * K18)/L19 \\
v_8^6 &= L3 = (2 * L10 * L18)/L19 \\
v_8^7 &= L2 = (1 * L10 * L18)/L19
\end{aligned}$$

$t < n$  koşulundaki değerlerin tamamı formüldeki  $\forall t \geq n$  şartı nedeniyle Excel tablomuzda boş geçilerek hesaba dahil edilmemiştir.

Son aşamaya geçmeden önce Adım 4'e kadar olan formüllerin oluşturduğu Tablo 3.4'ü gözden geçirmekte fayda olacaktır.

Tablo 3-4: Modelin Excele Uyarlanması Adım 2-3-4.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1				8								1,00	
2				7							1,00	0,50	
3				6						1,00	0,50	1,00	
4		$v_t^n$	Maliyet Karşılaştırma Katsayısı	5					1,00	0,35	1,00	1,50	2,00
5				4				1,00	0,25	0,70	1,50	2,00	
6				3			1,00	0,35	0,50	1,05	2,00	2,50	
7				2		1,00	0,50	0,70	0,75	1,40	2,50	3,00	
8				1	1,00	0,40	1,00	1,05	1,00	1,75	3,00	3,50	
9		$t$	Dönem	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Toplam
10		$d$	Talep		700	800	1000	700	500	700	1000	1000	6400
11		$x$	Üretim										0
12		$s$	Stok	100	-600	-1400	-2400	-3100	-3600	-4300	-5300	-6300	-27000
13		$y$	Set-up		1	1	1	1	1	1	1	1	8
14			Stok Maliyeti		-1200	-2800	-4800	-6200	-7200	-8600	-10600	-12600	-54000
15			Setup Maliyeti		4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	32000
16			Üretim Maliyeti		0	0	0	0	0	0	0	0	0
17		$p$	B. Üretim Maliyeti		100	100	100	100	100	100	100	100	-22000
18		$h$	B. Stok Maliyeti		2	2	2	2	2	2	2	2	
19		$q$	B. Set-up Maliyeti		4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	

Tabloda üretim miktarının belirlenmemiş olması nedeniyle bütün dönemler için stok miktarının negatif olduğu görülmektedir. Bu değerler modelin 3.6 numaralı kısıtındaki negatif olmama şartını karşılamamaktadır. Talep miktarları karşılanamadığı için her dönem için geçiş yapılması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Maliyet Karşılaştırma Katsayısı ise  $t \geq n$  değerleri için hesaplandığı görülmektedir.

Bu değerlere bağlı olarak stok maliyetinin negatif olarak hesaplandığı görülmektedir. Toplam stok maliyetinin -54.000 TL olarak hesaplandığı görülmektedir. Geçiş maliyetinin ise toplamda 32.000 TL olarak yansıdığı görülmektedir.

Adım 5'de üretim parti miktarının hesaplanması ile beraber başta stok maliyeti olmak üzere bu değerler anlamlı değerlere evirilecektir. Her geçiş sonrasında üretilmesi gereken miktar için gerekli olan geçiş değeri (1 ya da 0) ve maliyet karşılaştırma katsayısı matematiksel model kısıtlarımızdan hareketle hesaplanmış oldu.

**Adım 5:** Bu adımımızda ise üretim parti miktarı olarak tarif ettiğimiz geçiş yapılması sonrasında diğer ürün çeşidine geçene kadar planlanan üretim sipariş miktarı tespit edilmiştir. Kısıt aşağıdaki gibidir:

$$x_t = \begin{cases} \left( \sum_{t=1}^8 d_t \right) - s_{t-1} & \text{if } y_t = 1 \text{ and } v_t^n < 1 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (3.5)$$

Kısıtın Excel formülüne uyarlanması aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\begin{aligned} x_1 &= E11 = EĞER(E13 = 1; (ETOPLA(E8:L8; " < 1"; E10:L10) - D12); 0) \\ x_2 &= F11 = EĞER(F13 = 1; (ETOPLA(F7:L7; " < 1"; F10:L10) - E12); 0) \\ x_3 &= G11 = EĞER(G13 = 1; (ETOPLA(G6:L6; " < 1"; G10:L10) - F12); 0) \\ x_4 &= H11 = EĞER(H13 = 1; (ETOPLA(H5:L5; " < 1"; H10:L10) - G12); 0) \\ x_5 &= I11 = EĞER(I13 = 1; (ETOPLA(I4:L4; " < 1"; I10:L10) - H12); 0) \\ x_6 &= J11 = EĞER(J13 = 1; (ETOPLA(J3:L3; " < 1"; J10:L10) - I12); 0) \\ x_7 &= K11 = EĞER(K13 = 1; (ETOPLA(K2:L2; " < 1"; K10:L10) - J12); 0) \\ x_8 &= L11 = EĞER(L13 = 1; (ETOPLA(L1; " < 1"; L10) - K12); 0) \end{aligned}$$

Adım 5 Excel'e uyarlandıktan sonra çözüm sağlanmış olacak ve toplam maliyet karşılaştırması yapılabilecektir. Negatif olmama şartı olan 3.6 kısıtı üretim miktarı formülasyonu ile sağlanmış olduğu için tekrar işleme dahil edilmesine gerek kalmamıştır.

Tablo 3.5'de toplam maliyet 653.000 TL olarak hesaplanmıştır. Bu maliyet 1. ve 2. Alternatif planlardaki sırasıyla 680.800 TL ve 662.000 TL maliyetlerden daha düşüktür. Model ile 1,3,6 ve 8. dönemlerde geçiş yapılması planlanmıştır. Bu şekilde toplam geçiş maliyeti 16.000 TL ve toplam stok maliyeti ise 7.000 TL olarak gerçekleşmiştir.



Tablo 3-5: Modelin Excele Uyarlanması Adım 5.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1				8								1,00	
2				7							1,00	0,50	
3				6						1,00	0,50	1,00	
4				5					1,00	0,35	1,00	1,50	
5				4				1,00	0,25	0,70	1,50	2,00	
6				3			1,00	0,35	0,50	1,05	2,00	2,50	
7				2		1,00	0,50	0,70	0,75	1,40	2,50	3,00	
8				1	1,00	0,40	1,00	1,05	1,00	1,75	3,00	3,50	
9		<i>t</i>	Dönem	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Toplam
10		<i>d</i>	Talep		700	800	1000	700	500	700	1000	1000	6400
11		<i>x</i>	Üretim		1400	0	2200	0	0	1700	0	1000	6300
12		<i>s</i>	Stok	100	800	0	1200	500	0	1000	0	0	3500
13		<i>y</i>	Set-up		1	0	1	0	0	1	0	1	4
14			Stok Maliyeti		1600	0	2400	1000	0	2000	0	0	7000
15			Setup Maliyeti		4000	0	4000	0	0	4000	0	4000	16000
16			Üretim Maliyeti		140000	0	220000	0	0	170000	0	100000	630000
17		<i>p</i>	B. Üretim Maliyeti		100	100	100	100	100	100	100	100	653000
18		<i>h</i>	B. Stok Maliyeti		2	2	2	2	2	2	2	2	
19		<i>q</i>	B. Set-up Maliyeti		4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	

### 3.4 Modelin İyileştirilmesi

Adım 5'e kadar modelin uygulanması ile ortaya çıkan programın gözden geçirilmesi ile model yeni bir boyut kazanacaktır. İyileştirmenin tespit edilebilmesi için programın izlediği yolu  $v_t^n$  üzerinden işaret etmek gerekecektir. Tablo 3-6 bu yolu taralı olarak göstermektedir. Adım 5 ile elde edilen programın izlediği yol ve toplamı aşağıdaki gibidir.

$$v_1^1 + v_2^1 + v_3^3 + v_4^3 + v_5^3 + v_6^6 + v_7^6 + v_8^8 = 5,75$$

$v_t^n$  değeri maliyet ile doğru orantılıdır.  $v_t^n$  değeri  $n$  dönemde yapılan set-up ile  $t$  dönemindeki birim set-up maliyetindeki stok maliyetini ifade etmektedir. Bu maliyet ilgili döneme ait talep miktarının karşılanması sonucu oluşur. Dolayısıyla toplam  $v_t^n$  değerini minimize etmek toplam maliyeti de minimize etmek anlamına gelmektedir.

Tablo 3-6: Adım 5 Çözümü

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1				8								1,00	
2				7							1,00	0,50	
3				6						1,00	0,50	1,00	
4				5					1,00	0,35	1,00	1,50	
5				4				1,00	0,25	0,70	1,50	2,00	
6				3			1,00	0,35	0,50	1,05	2,00	2,50	
7				2		1,00	0,50	0,70	0,75	1,40	2,50	3,00	
8				1	1,00	0,40	1,00	1,05	1,00	1,75	3,00	3,50	
9		t	Dönem	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Toplam
10		d	Talep		700	800	1000	700	500	700	1000	1000	6400
11		x	Üretim		1400	0	2200	0	0	1700	0	1000	6300
12		s	Stok	100	800	0	1200	500	0	1000	0	0	3500
13		y	Set-up		1	0	1	0	0	1	0	1	4

Modelin iyileştirilmesinde kullanılacak amaç denklemi şu şekilde formüle edilir;

$$Z_{min} = \sum_{t=1}^8 v_t^n \quad (3.7)$$

İlgili dönemdeki  $v_t^n$  değerinin 1'den büyük olması, stok maliyetinin set-up maliyetinden yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Dolayısıyla  $v_t^n$  değerleri 1'den büyük olanlar yüksek maliyet oluşturacağı için değerlendirilmemelidir.

$$v_t^n \leq 1 \quad (3.8)$$

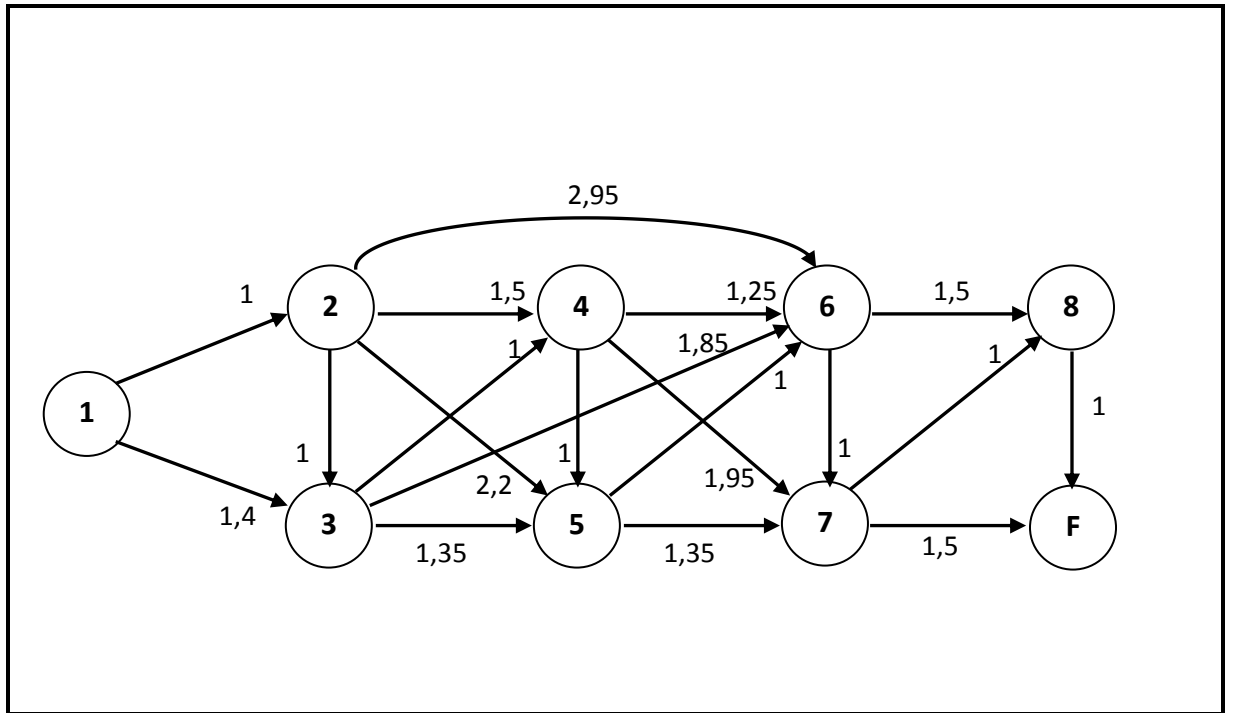
3.7 ve 3.8 numaralı iki denklem çözümün en kısa yol metodu ile çözüm sağlamaya uygun hale getirecek temel denklemlerdir. Bunun için her dönemi set-up dönemi kabul ederek 1'den küçük  $v_t^n$  değerleri üzerinden birbirine bağlanacak ağ yapısı oluşur. Bu ağ yapısı Şekil 3-2'de gösterilmiştir. Örneğin 1. dönemden 3. döneme gidebilmek için 2. dönemin ihtiyacının karşılanması gerekir.  $v_2^1$  değeri 1'den küçük olmasından dolayı 1. dönemden 3. döneme  $v_1^1$  ve  $v_2^1$  toplamı kadar maliyet ile ulaşılır.  $v_3^1$  değeri 1'den küçük olmadığı için 1. dönemde yapılan set-up ile 3. döneme ait ihtiyacın karşılanması 3.8 numaralı denkleme uygun olmayacaktır. Dolayısıyla 1. dönemden 4. döneme kadar oluşan maliyeti hesaplanmayacaktır. İki düğüm arasındaki maliyet uzaklığını aşağıda belirtilen formül ile hesaplanır.

$$A_t^n = \left\{ \begin{array}{ll} \sum_n^{t-1} v_t^n & \text{eğer } v_t^n \leq 1 \\ - & \text{aksi} \end{array} \right\} \quad (3.9)$$

Örnek teşkil etmesi açısından 3 numaralı dönemde yapılan setup ile 5 numaralı dönemin ihtiyacının karşılanması durumunda oluşan maliyet uzaklığı aşağıda 1,35 olarak hesaplanmıştır.

$$A_5^3 = v_3^3 + v_4^3 = 0,9999 + 0,35 = 1,35$$

Bu açıklamalar ile beraber ilgili dönemler birer düğüm olarak ifade edilecek şekilde problemin ilişki diyagramı Şekil 3-2'deki gibi olacaktır. Model formüle edilirken düğümler ifade edilirken  $N_t$  notasyonu kullanılacaktır. Bununla beraber kolaylık olması açısından düğümler numaralar ile ifade edilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi 1 numaralı düğümden başlayıp F ile işaretli bitiş düğümüne en küçük maliyetle ulaşmak hedeflenmiştir.

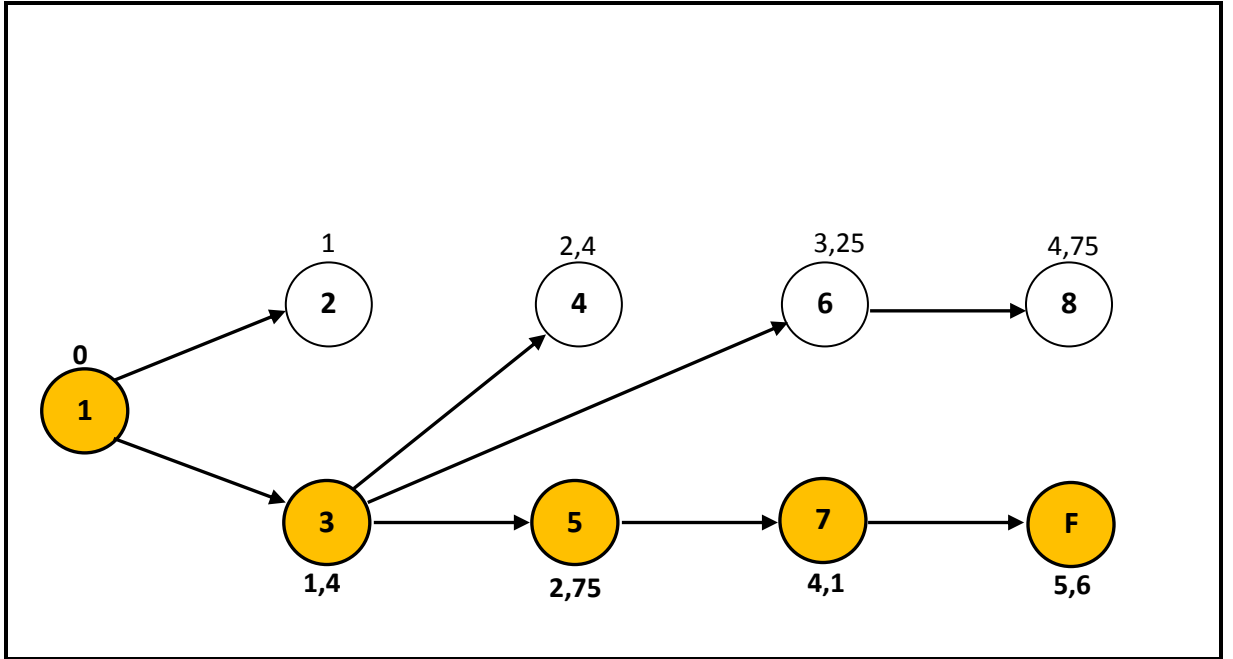


Şekil 3-2:  $v_t^n$  Değerleri İlişki Diyagramı

Şekil 3-2'deki gösterilen problem Dijkstra Algoritması ile çözülmüştür. Dijkstra yönteminde başlangıç noktasından hareket etmek suretiyle her düğüme gelen alternatifler arasında en küçük olan düğüm için optimal maliyettir. 1 numaralı düğüm başlangıç olduğu için 0 noktasındadır. 2 numaralı düğüm ise sadece 1 numaralı düğümden gelen yola bağlanmaktadır ve başlangıç noktasına uzaklığı 1 birimdir. 3 numaralı düğüm ise, 1 ve 2 düğümlerinden sırasıyla 1,4 ve 2 birim uzunluğunda yollar ile başlangıç noktasına bağlanmaktadır. Bu şekilde her düğümün başlangıç noktasına olan en kısa yolu hesaplanmış olacaktır. Dolayısıyla setup yapılan dönemler aşağıda belirtilen 3.10 numaralı formül ile belirlenir.  $N_t$  düğümleri ifade ettiğini hatırlatmak gerekir.

$$y_t = \begin{cases} 1 & \text{eğer } N_t \text{ en kısa yol düğümü ise} \\ 0 & \text{aksi} \end{cases} \quad (3.10)$$

Şekil 3-3 her düğüm için en kısa yolu göstermektedir.



Şekil 3-3: Dijkstra Yöntemi ile Model Örneğinin Çözümü

Şekil 3-3'te set-up yapılacak dönemler ve her düğüm için en kısa yol hesaplanarak gösterilmiştir. Buna göre 1,3,5 ve 7. dönemlerde set-up yapılmak

suretiyle minimum maliyetli çözüme ulaşılır. 2,4,6 ve 8 düğümleri etkiledikleri dönemler üzerinden en kısa yolu sağlayamadıkları için devre dışı kaldıkları görülür.

$$Z_{min} = \sum_{t=1}^8 v_t^n$$

$$= v_1^1 + v_2^1 + v_3^3 + v_4^3 + v_5^5 + v_6^5 + v_7^7 + v_8^7 = 5,60$$

İyileştirme öncesine göre  $5,75-5,60=0,15$  oranında iyileştirme sağlanmış olur. Bu da set-up maliyeti ile çarpıldığında  $0,15*4000=600$  TL iyileşme sağlandığını gösterir (Set-up maliyeti bütün dönemler için 4000 olduğu için bu iyileştirme bu şekilde hesaplanabilir).

Tablo 3-7 yapılan iyileştirme sonucunda oluşan toplam maliyeti göstermektedir. Buna göre 1,3,5 ve 7 dönemlerinde toplamda 4 kez set-up yapılmakta ve toplam ihtiyaç 652.400 TL maliyet ile karşılanmaktadır.

Tablo 3-7: Model Örneğinin Çözüm Tablosu

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1				8								1,00	
2				7							1,00	0,50	
3				6						1,00	0,50	1,00	
4				5					1,00	0,35	1,00	1,50	
5				4				1,00	0,25	0,70	1,50	2,00	
6				3			1,00	0,35	0,50	1,05	2,00	2,50	
7				2		1,00	0,50	0,70	0,75	1,40	2,50	3,00	
8				1	1,00	0,40	1,00	1,05	1,00	1,75	3,00	3,50	
9		t	Dönem	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Toplam
10		d	Talep		700	800	1000	700	500	700	1000	1000	6400
11		x	Üretim		1400	0	1700	0	1200	0	2000	0	6300
12		s	Stok	100	800	0	700	0	700	0	1000	0	3200
13		y	Set-up		1	0	1	0	1	0	1	0	4
14			Stok Maliyeti		1600	0	1400	0	1400	0	2000	0	6400
15			Setup Maliyeti		4000	0	4000	0	4000	0	4000	0	16000
16			Üretim Maliyeti		140000	0	170000	0	120000	0	200000	0	630000
17		p	B. Üretim Maliyeti		100	100	100	100	100	100	100	100	652400
18		h	B. Stok Maliyeti		2	2	2	2	2	2	2	2	
19		q	B. Set-up Maliyeti		4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	

Çözümde gerçekleştirilen iyileştirme ile beraber model iki aşamalı hale gelmiştir. Buna göre ilk aşama, set-up ve stok maliyetinin karşılaştırılmasıdır. İkinci aşama ise birinci aşamada ortaya çıkan fisible çözüm aralığında Dijkstra yöntemi ile en küçük maliyetli çözümün bulunmasıdır.

Bir sonraki bölümde farklı çözüm yöntemleri ile problemin çözülmesi sonucunda ortaya çıkan toplam maliyetler hesaplanarak modelimizdeki çözüm test edilmiş olacaktır. 3.6 numaralı bölümde model, emniyet stoklu çalışma ve sınırlı kapasite koşullarına göre yeni kısıtlar eklenerek güncellenmiştir. Bu kısıtların eklenmesi çözüm aşamalarımızı etkilememiştir. Dolayısıyla modelin ilerleyişinde değişiklik yapılmamıştır.

### **3.5 Çözüm Alternatifleri Değerlendirilmesi ve Model Çözümü ile Karşılaştırılması**

Çözüm alternatiflerinde de belirtilen talep, üretim ve stok kalemlerinin birimi “bağ”dır. Bununla birlikte geçiş yapılan dönemler 1, yapılmayan dönemler ise 0 olarak set-up satırlarında gösterilmiştir. Tablo kurgusunun temel yaklaşımı ilgili dönemlerde üretilecek (ya da üretilmeyip stoktan karşılanacak) ürün miktarını hesaplamak ve bu üretim miktarına bağlı oluşacak toplam maliyet kolayca hesaplamak şeklindedir. Bu bölümü 6 maddede işleyeceğiz. İlk 5 madde alternatif yöntemlere göre çözüm önerilerini ve son maddede bu çözüm değerleri ile modelimizdeki çözümün karşılaştırılması yapılmıştır.

**1-** İlk çözüm yaklaşımında toplam talebin stok yapmadan karşılanması hedeflenmektedir. Diğer bir ifade ile her dönem geçiş yaparak sadece ilgili dönemin talebini karşılamak hedeflenmektedir. Dikkat edilirse üretim planı siparişe üretim yapan firmaların yaklaşımına oldukça benzemektedir. Tablo 3.3’de ilgili çözüm rakamları gösterilmiştir. İhtiyaç kadar çözüm yöntemi olarak tarif edilen LFL yöntemi bu çözümü sağlayacaktır.

Tablo 3-8: LFL Yöntemi ile PEXB32 Üretim Planı.

Dönem	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Toplam
Talep		700	800	1000	700	500	700	1000	1000	6400
Üretim		600	800	1000	700	500	700	1000	1000	6300
Stok	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Set-up		1	1	1	1	1	1	1	1	8
Stok Maliyeti		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Set-up Maliyeti		4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	32000
Üretim Maliyeti		60000	80000	100000	70000	50000	70000	100000	100000	630000

Tablo 3-8'deki üretim planına göre oluşan maliyetleri incelediğimizde stok maliyetinin 0, geçiş maliyetinin 32.000 TL ve üretim maliyetinin ise 630.000 TL olduğunu görmekteyiz. Toplam maliyet ise 662.000 TL olarak hesaplanmaktadır.

2- Ekonomik sipariş miktarı yöntemine (EOQ) göre dağılım ise aşağıda gösterilmiştir. Buna göre EOQ noktası 5020 bağ olarak hesaplanmıştır.

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \times \text{Yıllık Talep} \times \text{Set - up Maliyeti}}{\text{Stok Maliyeti}}}$$

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \times 6300 \times 4000}{2}} = 5020$$

Tablo 3-9'a göre EOQ yöntemi ile toplam maliyet 669.440 TL çıkmaktadır. Bu yöntemde 1. Dönem set-up yapılmış ve üretim miktarı EOQ miktarı olan 5020 olarak atanmıştır. 6. Dönemde yapılan set-up'ta ise 5020 bağ yerine kalan ihtiyaç miktarı olan 1280 bağ planlanmıştır. Dolayısıyla LFL yöntemi EOQ yöntemine göre 7.440 TL daha düşük maliyetli üretim yapabileceğimiz anlamına gelmektedir.

Tablo 3-9: EOQ Yöntemi ile PEXB32 Üretim Planı.

Dönem	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Toplam
Talep		700	800	1000	700	500	700	1000	1000	6400
Üretim		5020	0	0	0	0	0	1280	0	6300
Stok	100	4420	3620	2620	1920	1420	720	1000	0	15720
Set-up		1	0	0	0	0	0	1	0	2
Stok Maliyeti		8840	7240	5240	3840	2840	1440	2000	0	31440
Set-up Maliyeti		4000	0	0	0	0	0	4000	0	8000
Üretim Maliyeti		502000	0	0	0	0	0	128000	0	630000

**3-** Bu çözüm yaklaşımında ise POQ yöntemine göre planlama yapılacaktır. Aşağıda belirtilen formüle göre set-up maliyetine sadece 1 kez katlanmak suretiyle toplam talep 1. dönemdeki üretim ile karşılanması planlanmıştır. Sipariş periyodu 8 olmasından dolayı 8 dönemde bir set-up yapılacaktır.

$$\text{Sipariş Sayısı} = \text{Yıllık Talep} / \text{EOQ} = 6.300 / 5.020 = 1,25 \approx 1$$

$$\text{Sipariş Periyodu} = \text{Planlama Dönemi Sayısı} / \text{Sipariş Sayısı} = 8 / 1 = 8$$

Tablo 3-10: POQ Yöntemi İle PEXB32 Üretim Planı.

Dönem	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Toplam
Talep		700	800	1000	700	500	700	1000	1000	6400
Üretim		6300	0	0	0	0	0	0	0	6300
Stok	100	5700	4900	3900	3200	2700	2000	1000	0	23400
Set-up		1	0	0	0	0	0	0	0	1
Stok Maliyeti		11400	9800	7800	6400	5400	4000	2000	0	46800
Set-up Maliyeti		4000	0	0	0	0	0	0	0	4000
Üretim Maliyeti		630000	0	0	0	0	0	0	0	630000

Tablo 3-10'da 1.dönem geçiş yapmak kaydıyla toplam açık talep miktarı olan 6.300 Bağ (100 Bağ başlangıç stokuydu) PEXB32 ürünü için üretim planı oluşturulmuştur. Bu şekilde 8. Dönem sonuna kadar üretim ihtiyacı oluşmayacağı



için 1 kere yapılan Geçiş için maliyet 4.000 TL olacaktır. Bununla birlikte stok maliyeti toplamda 46.800 TL olarak gerçekleşmiştir. Üretim maliyeti ise 630.000 TL olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla birinci alternatif üretim planı ile toplam maliyeti 680.800 TL olarak hesaplanmıştır.

**4-** Parçalı dönem dengesi yöntemi (PPB) uygulandığında çözüm aşağıdaki gibi gerçekleşmektedir.

Set-up Maliyeti: 4000 TL/adet

Stok Maliyeti: 2 TL/adet/dönem

$EPP = \text{Set-up Maliyeti} / \text{Stok Maliyeti} = 4000/2 = 2000$

Dolayısıyla kümülatif stok maliyeti 2000 TL'ye kadar ilgili taleplere üretim yapılır. Tablo 3-11'de görüldüğü gibi KÜBM değeri hesaplanmış ve set-up dönemleri belirlenmiştir. Buna göre 1, 3, 5, 7 ve 8. dönemlerde set-up yapılır. Stok maliyeti 4960, set-up maliyeti 20.000 ve oluşan toplam maliyet ise 654.960 TL olarak tespit edilir. LFL, EOQ, POQ yöntemlerine göre PPB yöntemi ile maliyette iyileşme olduğu görülmektedir.

Tablo 3-11: PPB Yöntemi İle PEXB32 Üretim Planı.

Dönem	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Toplam
Talep		700	800	1000	700	500	700	1000	1000	6400
Üretim		1400	0	1700	0	1200	0	1280	720	6300
Stok	100	800	0	700	0	700	0	280	0	2480
Set-up		1	0	1	0	1	0	1	1	5
KEBM		-	1600	6600	-	1000	3800	-	2000	
Stok Maliyeti		1600	0	1400	0	1400	0	560	0	4960
Set-up Maliyeti		4000	0	4000	0	4000	0	4000	4000	20000
Üretim Maliyeti		140000	0	170000	0	120000	0	128000	72000	630000

**5-** Tablo 3-12 de ise Wagner-Whitin yöntemi ile çözüm görülmektedir. Bu yöntemle göre 1,3,5 ve 7. hafta set-up yapılması planlanmış ve toplam maliyet 652.400 TL olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3-12: W-W Yöntemi İle PEXB32 Üretim Planı.

Set-up Dönemleri	1	<b>64.000</b>	<b>145.600</b>	<b>249.600</b>	323.800	377.800	454.800	566.800	680.800
	2		148.000	250.000	322.800	375.800	451.400	561.400	673.400
	3			<b>249.600</b>	<b>321.000</b>	<b>373.000</b>	447.200	555.200	665.200
	4				323.600	374.600	447.400	553.400	661.400
	5					<b>375.000</b>	<b>446.400</b>	550.400	656.400
	6						447.000	<b>549.000</b>	653.000
	7							550.400	<b>652.400</b>
	8								653.000
Dönem	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Talep		700	800	1000	700	500	700	1000	1000
Üretim		1400	0	1700	0	1200	0	2000	0
Stok	100	800	0	700	0	700	0	1000	0
Set-up		1	0	1	0	1	0	1	0

6- Tablo 3-13’de alternatif yöntemlere göre çözümlenen probleme ait toplam maliyetler gösterilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi Model olarak belirtilen çözüm yaklaşımımız Wagner-Whitin yöntemi ile aynı sonucu vermiştir. Bu iki yöntemde de set-up yapılan dönemler aynıdır.

LFL yönteminde her dönem set-up yapılmış ve maliyet 662.000 TL olarak gerçekleşmiştir. Bu yöntem stoksuz çalışma prensibine uygun olmasına karşın maliyet performansının optimal olmadığı görülebilmektedir. Yine EOQ yöntemin 2 kez set-up yapılacak çözümü geliştirmiş ve fakat stok maliyeti oldukça yüksek çıkmasından kaynaklı iyi bir sonuç vermediği görülmektedir. POQ yönteminde ise ilk dönem set-up yapılmış ve stok maliyeti nedeniyle en yüksek maliyetli çözüm ortaya çıkmıştır. PPB yöntemi ise optimal en iyi çözüm olmamakla birlikte stok ve set-up maliyetini olumlu yönde dengelediği söylenebilir.

Son olarak W-W yöntemi bir çok araştırmada optimal çözüm odaklı olarak karşılaştırma çözümü olarak sunulduğunu kanıtlar niteliktedir. Modelimiz aynı sonucu verecek çözümü geliştirmiştir. W-W yönteminde bütün alternatifler için maliyetler hesaplanıp çözüm aranmaktadır. Modelimizde ise 2 aşamalı olarak önce stok maliyeti set-up maliyetinden yüksek olanların elenmesi ve daha sonra kalan çözüm düzleminde stok maliyetlerin karşılaştırılması suretiyle çözüm aranır.

Tablo 3-13.: Çözüm Alternatifleri Karşılaştırma Tablosu

	Çözüm Yöntemi					
	LFL	EOQ	POQ	PPB	W-W	Model
<b>Toplam Maliyet (TL)</b>	<b>662.000</b>	<b>669.440</b>	<b>680.800</b>	<b>654.600</b>	<b>652.400</b>	<b>652.400</b>
<b>Set-up Sayısı</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>4</b>

### 3.6 Emniyet Stok Seviyesi ve Sonlu Kapasite Koşullarında Modelin Güncellenmesi

Talebin dönemlere göre keskin iniş ve çıkış göstermesi firmaları emniyet stoklu çalışmaya itmektedir. Firma emniyet stoğunun oluşturduğu stok tutma maliyetine katlanırken müşteri taleplerine daha hızlı cevap vermeye çalışır. 4.4 bölümünde emniyet stok seviyesi ile ilgili ayrıntılı açıklama vardır.

Emniyet stok miktarı son tahlilde talep karakteri taşır ve bundan dolayı dönemin üretim siparişi miktarlarına ayrı ayrı eklenmesi gerekir. Bu uygulama için öncelikle geçiş karar kısıtımızı revize etmemiz gerekmektedir. Modeldeki 3.3 numaralı denkleme eklenen emniyet stoku gösterilmiştir.  $ss$  sembolü emniyet stokunu ifade etmektedir.

$$y_t = \begin{cases} 1 & \text{eğer } d_t + ss > s_{t-1} \\ 0 & \text{aksi} \end{cases} \quad (3.3.1)$$

Yine aynı şekilde üretim miktarımıza, emniyet stoğunu aşağıdaki 3.5.1 denkleminde olduğu gibi ekliyoruz.

$$x_t = \begin{cases} \left( \sum_{t=1}^8 d_t \right) - s_{t-1} + ss & \text{eğer } y_t = 1 \text{ ve } v_t^n < 1 \\ 0 & \text{aksi} \end{cases} \quad (3.5.1)$$

Kapasite, toplam içerilebilen ya da üretilebilecek miktardır. (Cambridge International Dictionary of English, 1995) Üretimin süreç bazlı olmasından dolayı, üretim için kapasite, zaman parametresi taşır. Bunun yanında kapasite, kapasiteyi üreten sistemin, üretilen nesne ve birimi üzerinden tanımlanır. Örneğin bir makine için kapasite  $i$  ürününü  $t$  zamanda ürettiği toplam  $u$  birimindeki miktardır.

Üretim hattındaki bir makine için kapasite formülü 3.11 aşağıdaki gibidir.

$$C_t^k = x_1^t \alpha_1 + x_2^t \alpha_2 + x_3^t \alpha_3 + \dots + x_m^t \alpha_m = \sum_{i=1}^m (x_m^t \alpha_m) \quad (3.11)$$

$C_t^k$ ,  $k$  makinesinin  $t$  döneminde kullanılabilen süreyi,  
 $\alpha_1$ ,  $i$  ürünün birim üretim zamanı,  
 $m$ ,  $k$  makinesinde üretilen ürün çeşidini,  
 $k$ , makineyi  
 ifade etmektedir.

Farklı ürünler için üretim zamanının aynı olması durumunda sabit zamandaki üretim miktarı üzerinden kapasite tanımlanabilir. Bunun için formülde aşağıdaki dönüşümü yapmamız yeterlidir.

$$C_t^k = \sum_{i=1}^m (x_m^t \alpha_m)$$

$$\frac{C_t^k}{\alpha_m} = \sum_{i=1}^m x_m^t \quad (3.11)$$

Problemin yapısına göre kapasite kısıtı formüle zaman ya da  $t$  dönemindeki üretim miktarı üzerinden kontrol denklemi eklenebilir. Modelimizde tek ürün planlaması gerçekleştirildiği için, bir diğer ifade ile  $m=1$  olmasından dolayı 3.4.1 numaralı formülü kullanacağız. 3. bölümdeki çalışmamızda çoklu ürün olmasına rağmen sabit üretim zamanı olmasından kaynaklı yine (3.4.1) modeldeki denklemi kullandığımızı göreceğiz. Modelde beklenen değer üretim miktarının kapasiteyi aşmamasıdır. Kapasite aşılması durumunda fazla mesai, vardiya, iş gücü artırımı ya

da makine yatırımı gibi maliyetler oluşacaktır. Kapasite kontrol denkleminin eklenmesi bu maliyetlerin değerlendirilmesi için önemli veriler sağlar.

$$\frac{C_t^k}{\alpha_m} > \sum_{i=1}^m x_m^t \quad (3.11.1)$$

Emniyet stok miktarı ve kapasite kontrol denkleminin eklenmesinden sonra güncellenen model aşağıda verilmiştir. Bir sonraki bölümde bu modelin ABC'deki üretim hattında uygulanmasını göreceğiz.

Amaç Fonksiyonu;

$$Z_{min} = \sum_{t=1}^8 (s_t h_t + y_t q_t + x_t p) \quad (3.1)$$

Kısıtlar;

$$s_{t-1} + x_t = s_t + d_t \quad (3.2)$$

$$y_t = \begin{cases} 1 & \text{eğer } d_t + ss > s_{t-1} \\ 0 & \text{aksi} \end{cases} \quad (3.3.1)$$

$$v_t^n = \begin{cases} 1 - \varepsilon & \text{eğer } t = n \\ \frac{(t-n) d_t h_t}{q_t} & \text{eğer } t > n \text{ ve } v_{t-1}^n < 1 \\ - & \text{aksi} \end{cases} \quad \forall t \geq n \quad (3.4)$$

$$x_t = \begin{cases} \left( \sum_{t=1}^8 d_t \right) - s_{t-1} + ss & \text{eğer } y_t = 1 \text{ ve } v_t^n < 1 \\ 0 & \text{aksi} \end{cases} \quad (3.5.1)$$

$$\frac{C_t^k}{\alpha_m} > \sum_{i=1}^m x_m^t \quad (3.12)$$

$$s_t, x_t, d_t, \alpha_m, C_t^k \geq 0 \quad (3.6,1)$$

İkinci aşamada Dijkstra Yöntemi ile çözüm aşağıda belirtilen denklemler uyarınca gerçekleştirilir. Bu şekilde modelin son hali de gösterilmiştir.

Amaç Fonksiyonu;

$$Z_{min} = \sum_{t=1}^8 (s_t h_t + y_t q_t + x_t p) \quad (3.1)$$

$$Z_{min} = \sum_{t=1}^8 v_t^n \quad (3.7)$$

Kısıtlar;

$$s_{t-1} + x_t = s_t + d_t \quad (3.2)$$

$$v_t^n = \begin{cases} 1 - \varepsilon & \text{eğer} & t = n \\ \frac{(t-n) d_t h_t}{q_t} & \text{eğer} & t > n \text{ ve } v_{t-1}^n < 1 \\ - & \text{aksi} & \end{cases} \quad \forall t \geq n \quad (3.4)$$

$$A_t^n = \begin{cases} \sum_n^{t-1} v_t^n & \text{eğer} & v_t^n \leq 1 \\ - & \text{aksi} & \end{cases} \quad (3.9)$$

$$y_t = \begin{cases} 1 & \text{eğer} & N_t \text{ en kısa yol düğümü ise} \\ 0 & \text{aksi} & \end{cases} \quad (3.10)$$

$$x_t = \begin{cases} \left( \sum_{t=1}^8 d_t \right) - s_{t-1} + ss & \text{eğer} & y_t = 1 \text{ ve } v_t^n < 1 \\ 0 & \text{aksi} & \end{cases} \quad (3.5.1)$$

$$\frac{C_t^k}{\alpha_m} > \sum_{i=1}^m x_m^t \quad (3.11.1)$$

$$s_t, x_t, d_t, \alpha_m, C_t^k \geq 0 \quad (3.6,1)$$

## 4. VERİLERİNİN TOPLANMASI VE UYGULAMA

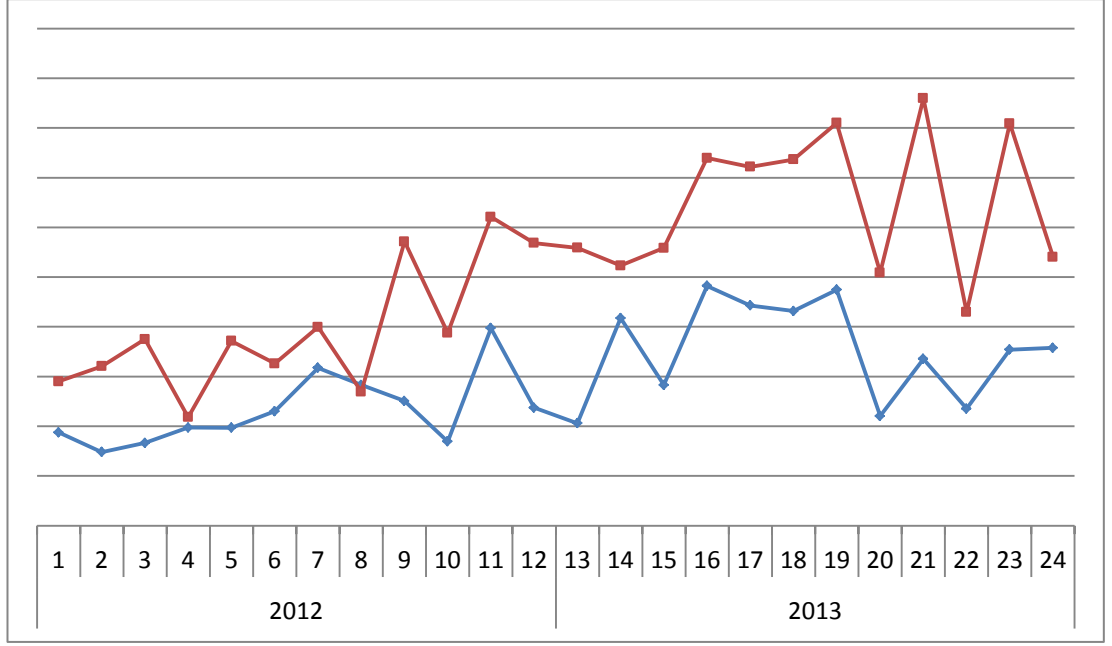
Uygulama başlangıcında modele ait bilinmeyenler olan talep, ekonomik stok seviyesi, geçiş maliyeti, stok maliyeti, üretim maliyeti ve üretim kapasite değerler tespit edilecektir. Dolayısıyla üretim programı oluşturacağımız ürünleri kısaca tanımakta yarar vardır.

ABC SANAYİ A.Ş.'de üretimi yapılan yaklaşık 3.000 adet bitmiş ürün bulunmasından dolayı uygulama yapılacak ürünler ürün grupları şeklinde bir araya getirilmiştir. Ürün grupları, kendi içerisinde geçiş gerektirmeyecek şekilde oluşturulmuş varyasyon ürün niteliği taşıyan boy ve kaplama cinsine sahip ürün aileleridir.

Model uygulanmasına konu ürünler EN 10346:2009 standardı ile tarif edilmiş DX51D+Z serisi sıcak daldırma yöntemi ile kaplanmış çelik malzemelerdir.

### 4.1 Talep Tahmini

ABC'de önceki senelere ait veri arşivi bulunmaktadır ve bu bilgilerden hareketle Zaman Serisi Yöntemleri kullanılarak gelecek seneki 6 aylık talep miktarları tahmin edildi. Zaman serisine bağlı değişimlerin karakteristiği döngüsel özellik taşıyabilmektedir. Bu haliyle bağımlı değişken olan tarihsel veriler, dönemsellik ya da mevsimsellik durumuna uygun davranış gösterip göstermediği kontrol edilmelidir. Şekil 4-1'de gösterilen grafikde örnek olması açısından iki ürünün satış grafiği verilmiştir. Görüldüğü üzere satış miktarları sezon ya da mevsimsel özellikte, döngüsel yapı karakteri taşımamaktadır. Ayrıca satışları etkileyen spesifik faktörlerin analizinin oluşturduğu belirsizlik nedeniyle Nedensel Tahmin Yöntemleri uygulamaya olanak bulunmamaktadır.



Şekil 4-1: E ve F Ürünü Aylık Miktarsal Satış Grafiği.

Tablo 4-1 de uygulama konusu olan ürün gruplarının 2012 ve 2013 seneleri için aylık satış miktarları gösterilmiştir. Aylar artan sıra ile sayısal olarak ifade edilmiştir. Bu verileri kullanmak suretiyle 2014 yılının ilk yarısına ait aylık talep tahmini gerçekleştirilecektir.



Tablo 4-1 : Ürün Grubu Satış Tablosu (mt).

		Ürün Grupları			
Sene	Ay	A	B	C	D
2012	1	1230	244	790	630
	2	2882	1280	3125	636
	3	670	342	14829	944
	4	1822	1190	1296	620
	5	2392	190	1780	3000
	6	1455	250	1028	992
	7	2011	1556	1510	1570
	8	6960	1092	506	124
	9	7402	3224	2140	2064
	10	4108	3852	320	620
	11	8560	1838	4313	2986
	12	3894	24	216	260
2013	13	10216	900	1450	1094
	14	6887	1033	2029	2979
	15	7126	1970	1840	3004
	16	13112	2600	4861	1514
	17	4914	1690	3722	2412
	18	5170	695	4610	1292
	19	6160	1280	1826	4180
	20	7636	200	3302	3704
	21	13089	3540	3540	2677
	22	3510	80	2414	2200
	23	12592	5170	5054	8374
	24	7180	2360	970	3513
2014	25				
	26				
	27				
	28				
	29				
	30				

Uyguladığımız talep tahmini adımları aşağıda belirtilmiştir.

**Adım 1:** 3 aylık periyotlarla Merkezi Hareketli Ortalama yönteminin uygulanması ve mevcut satış verilerine karşılık gelen tahmin değerleri bulunacaktır. 3 aylık Merkezi Hareketli Ortalama yöntemi formülü 4.1 numaralı denklemde gösterilmiştir.

$$F_t = \sum_{t-1}^{t+1} \left( \frac{d_t}{3} \right) \quad (4.1)$$

Formülünü Excel'e uyarlanması ile ürünlerde gerçekleşen tahmin değerleri Tablo 4-2'de A, B, C ve D ürünleri için CMA3 sütunlarında gösterilmiştir.

Tablo 4-2 : Merkezi Hareketli Ortalama Tahmini (mt).

Sene	Ay	A	CMA3	B	CMA3	C	CMA3	D	CMA3
		Satış	Tahmin	Satış	Tahmin	Satış	Tahmin	Satış	Tahmin
2012	1	1230		244		790		630	
	2	2882	1594	1280	622	3125	6248	636	737
	3	670	1791	342	937	14829	6417	944	733
	4	1822	1628	1190	574	1296	5968	620	1521
	5	2392	1890	190	543	1780	1368	3000	1537
	6	1455	1953	250	665	1028	1439	992	1854
	7	2011	3475	1556	966	1510	1015	1570	895
	8	6960	5458	1092	1957	506	1385	124	1253
	9	7402	6157	3224	2723	2140	989	2064	936
	10	4108	6690	3852	2971	320	2258	620	1890
	11	8560	5521	1838	1905	4313	1616	2986	1289
	12	3894	7557	24	921	216	1993	260	1447
2013	13	10216	6999	900	652	1450	1232	1094	1444
	14	6887	8076	1033	1301	2029	1773	2979	2359
	15	7126	9042	1970	1868	1840	2910	3004	2499
	16	13112	8384	2600	2087	4861	3474	1514	2310
	17	4914	7732	1690	1662	3722	4398	2412	1739
	18	5170	5415	695	1222	4610	3386	1292	2628
	19	6160	6322	1280	725	1826	3246	4180	3059
	20	7636	8962	200	1673	3302	2889	3704	3520
	21	13089	8078	3540	1273	3540	3085	2677	2860
	22	3510	9730	80	2930	2414	3669	2200	4417
	23	12592	7761	5170	2537	5054	2813	8374	4696
	24	7180		2360		970		3513	
2014	25		10359		2163		2512		3913
	26		10632		2217		2482		4060
	27		10838		2271		2452		4208
	28		10872		2325		2422		4355
	29		10733		2379		2391		4502
	30		10287		2433		2361		4649

**Adım 2:** Merkezi Hareketli Ortalama Yöntemi ile bulunan değerlerin eğilimi Trend Yöntemi ile sağlanacaktır. Trend Yöntemi ile talep tahmini, gerçekleşen talep değerleri ile oluşturulan eğilim denklemi oluşturulması esasına dayanır. Doğrusal

eğilim denklemi  $F = \beta + \alpha t$  olarak ifade edilir ve değişkenler regresyon analizi ile tespit edilebilir.

Ürünlere ait regresyon analizleri aşağıda Tablo 4-3’de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre  $\alpha$  ve  $\beta$  değişkenlerin değer tabloları aşağıda verilmiştir.

Tablo 4-3: Regresyon Analizi Sonuçları.

Regresyon	İstatistikleri			
	A	B	C	D
Çoklu R	0,85	0,44	0,12	0,86
R Kare	0,73	0,19	0,01	0,74
Ayarlı R Kare	0,72	0,15	-0,04	0,73
Standart Hata	1436	733	1683	576
Gözlem	22	22	22	22
<i>Katsayılar</i>	<i>L5012</i>	<i>L5016</i>	<i>U5038</i>	<i>U5039</i>
Kesişim	1478	811	3267	234
X Değişkeni 1	355	54	-30	147

Tablo değerlerine göre katsayılar sütununda “kesişim”  $\beta$  değerini “x değişkeni 1” değeri ise  $\alpha$  değerini ifade etmektedir. Formül kesişim noktaları hesaplanmadan ya da regresyon analizi gerçekleştirilmeden Excel’de “eğilim” formülü ile de hesaplanabilmektedir. 2014 Ocak ayı için A ürünü tahmini aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. Diğer tahminler aynı şekilde hesaplanmıştır. Not olarak ondalık değerler gösterilmediğini hatırlatmak gerekir.

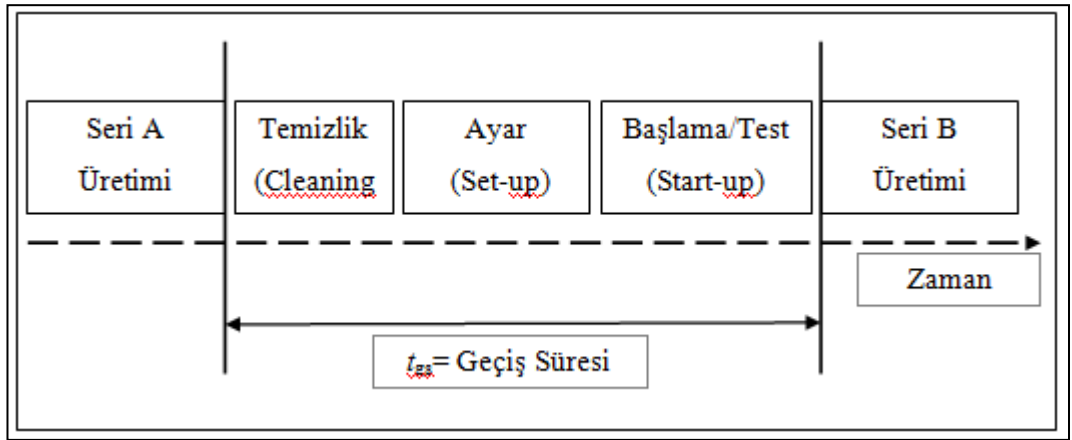
$$F = \beta + \alpha t = 1478 + 355 * 25 = 10359 \text{ mt}$$

Tablo 4-4 : 2014 İlk Yarı Yılı Satış Tahmini (mt).

Sene	Aylar		A	B	C	D
2014	Ocak	25	10359	2163	2512	3913
	Şubat	26	10632	2217	2482	4060
	Mart	27	10838	2271	2452	4208
	Nisan	28	10872	2325	2422	4355
	Mayıs	29	10733	2379	2391	4502
	Haziran	30	10287	2433	2361	4649

## 4.2 Geçiş Maliyeti (Changeover Cost)

Geçiş, bir ürünü üretmek için gerekli makine hazırlık faaliyetleri, bir diğer ifade ile değişim olarak tanımlanabilir. (Hill, 2009, Encyclopedia of Operations Management). Geçiş süreci Şekil 4-2’de görüldüğü gibi genel olarak temizlik, ayar ve başlangıç zamanlarını içerir. Geçiş zamanı, normal hızda üretilmiş hatasız son ürün ile, normal hızla üretilen hatasız yeni ilk ürün arasındaki süresidir. Çalışmada ürünler arasındaki geçişler set-up olarak da adlandırılmıştır.



Şekil 4-2: Makina Geçiş Süreci

Geçiş maliyeti olarak 4.2 denkleminde aşağıdaki şekilde formüle edilebilir.

$$y_t = t_{gs} * \hat{x}_t * e_{\hat{x}} \quad (4.2)$$

$y_t$ : geçiş maliyeti (TL)

$t_{gs}$ : geçiş süresi (saat)

$\hat{x}_t$  : makinenin ortalama üretim kapasitesi (mt/saat)

$e_{\hat{x}}$ : ürünlerin ortalama maliyeti (TL)

ABC’de çalışma yaptığımız makinenin geçiş zamanı formülle ifade edilen sıralamadan farklı olarak üretimi sona eren ürüne ait makaraların makineden sökülmesi, makine ve makara temizliğinin yapılması, üretimi yapılacak olan ürüne

ait makaraların takılması, başlangıç ayarlarının yapılarak ilk parti üretiminin yapılması ve kontrol onayı verildikten sonra seri üretimine geçilmesi şeklindedir.

İlgili makine’de belirtilen ürünlerde geçiş süresi ortalama 4 saat sürmektedir. Makinenin üretim kapasitesi ise 330 mt/saat olarak ölçülmüştür. Makinede üretilen ürünlerin ortalama satış fiyatı 5,36 TL/mt’dir. Bu değerleri formüle uyguladığımızda geçiş maliyeti aşağıdaki gibi olacaktır.

$$y_t = t_{gs} * \hat{x}_t * e_{\hat{x}} = 4 * 330 * 3,97 = 5240 TL$$

### 4.3 Stok Tutma Maliyeti

Stok tutma/bulundurma maliyetleri; sermayenin fırsat maliyeti, sigorta ve vergiler, kırılma, bozulma, fire ve modası geçme maliyetleri ile depolama maliyeti gibi alt maliyet kalemlerinden oluşmaktadır. (Chase at al, 1998: 584)

Depolama maliyeti, depolamanın gerektirdiği ısıtma, kira, aydınlatma, depo personelinin ücreti gibi maliyetlerden oluşmaktadır. Deponun alternatif kullanım imkânının olması durumunda da fırsat maliyeti ortaya çıkacaktır. Depolama maliyetinin bir kısmı sabit iken bir kısmı ise stok miktarına bağlı olarak artmaktadır. Bu maliyetlerden sabit olan kısmı analizlerde ele alınmamakta sadece değişken kısmı kullanılmaktadır. (Dilworth, 1993: 220)

Stok maliyeti; ürünlerin taşınması, depoda çalışanların oluşturduğu işçilik giderleri, elleçleme ve sayım maliyeti, özel depolama ihtiyaçlarının oluşturduğu maliyetler, hasar, bozulma, hırsızlık, eskime, sigorta, vergiler ve yatırılan paranın maliyetleri toplamıdır. Stok maliyetini tanımlayan en çok kabul görmüş kural birim ürün maliyetinin sabit yüzdesidir. Bu oran daha sonra ortalama stok miktarına uygulanır. (SAS Institute, 2006: 37)

ABC’de birim stok tutma maliyetini, bir aylık kira ve vergi maliyetinin – depolama giderlerinin- bir aylık ortalama stoğun mal maliyetine oranı üzerinden hesaplanmıştır. Kira ve vergi maliyetleri depolama alanının işletmenin kira ödediği toplam alana oranı ile tespit edilmiştir. Buna göre stok tutma maliyet formülü 4.3 denkleminde gösterilmiştir.

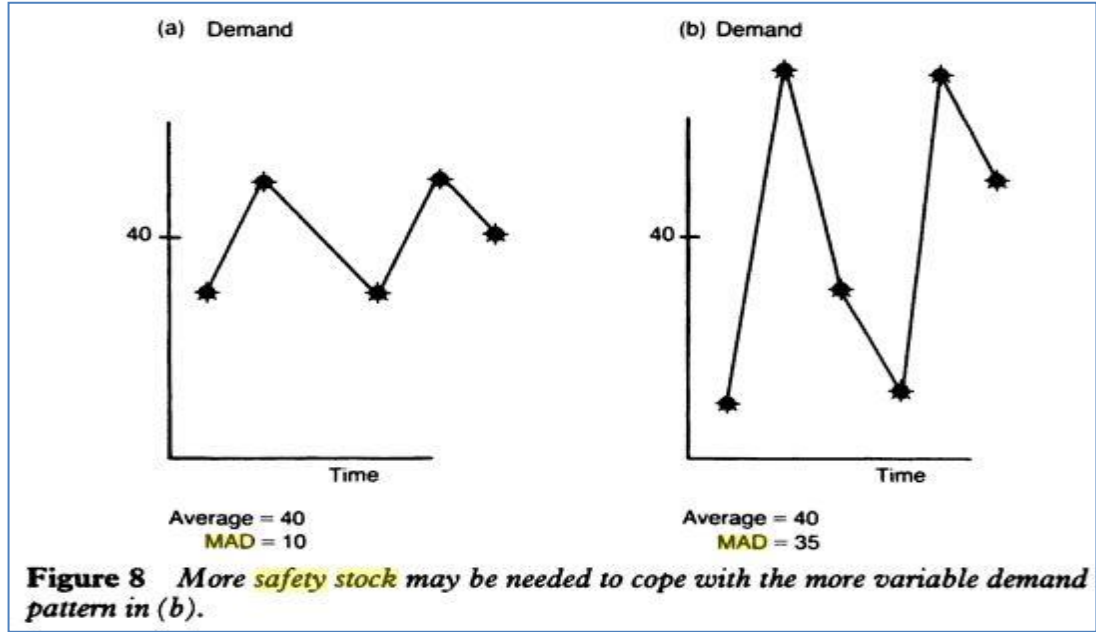
$$h = \frac{\text{Aylık Depolama Giderleri}}{\text{Aylık Ortalama Stok Mal Maliyeti}} * \text{Stoklanan Mal Maliyeti} \quad (4.3)$$

3.3 denkleminde değerler yerleştirildiğinde 4 çeşit ürünümüz için stok tutma maliyeti 0,16 TL/mt x ay olarak hesaplanmıştır.

#### 4.4 Emniyet Stok Seviyesi

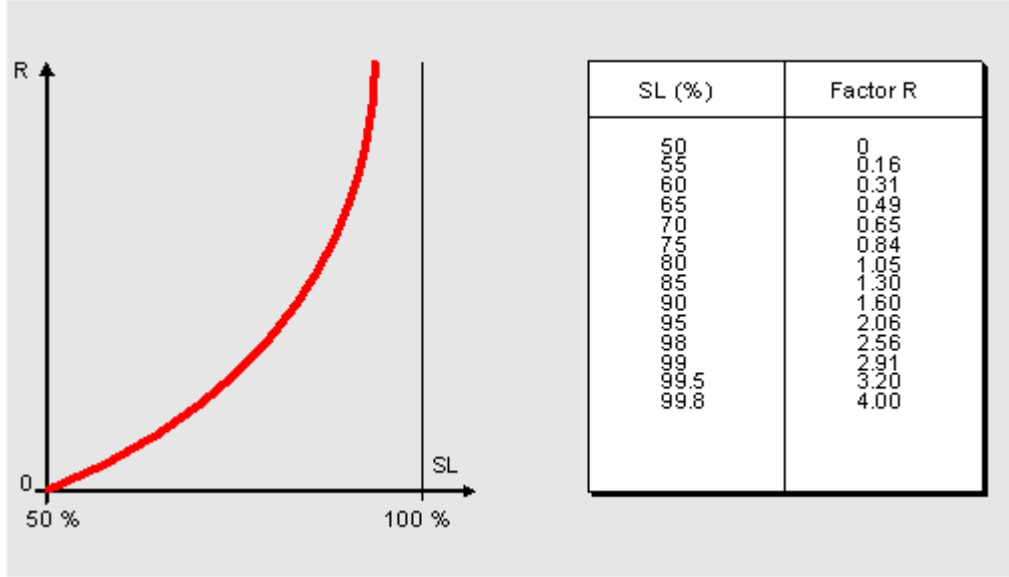
Emniyet stoğunun arkasındaki temel fikir, belirsiz talep durumuna karşı planlama sistemine tampon oluşturmaktır. Bunun nedeni talep tahmininin tam olarak bilinmemesidir. (Harrison ve Petty, 2002)

Ortalama talep miktarı 40 olan a ve b ürünlerinin talep-zaman grafiği Şekil 4-3'deki gibidir. a ürünü b ürününe göre ortalama talep noktasına daha düzenli ve yakın dağıldığı görölmektedir. Eğer müşteri servis düzeyi her iki ürün için de aynı olması istenirse B ürünü için daha yüksek miktarda emniyet stoğu tutulması gerekir. (Dear, A. D., 1990:50)



Şekil 4-3: Talep Dalgalanması (Dear, 1990)

Müşteri siparişlerinin stoktan ya da sabit termin süresinde teslim etme hedefi Müşteri Servis Seviyesi olarak tanımlanmaktadır. Bütün siparişlerin stoktan teslim edilmesini istediğimizde Müşteri Servis Seviyesi %100 ile ifade edilir. Müşteri Servis Seviyesi'nin R Faktör değeri Şekil 4-4'de verilmiştir.



Şekil 4-4 : Müşteri Servis Seviyesi (<http://help.sap.com>).

Emniyet stoğunu tahmin hataları, temin süresi ve servis seviyesi üzerinden tanımlanabilmektedir. Emniyet stoğu tedarik süresi boyunca meydana gelen talep hatalarını karşılanmayı hedefler. (Chockalingam, 2010)

Sap R/3 ERP programı tarafından da kullanılan formül 3.4 numaralı denklemde ifade edilmiştir.

$$SS = R * MAD * \sqrt{LT} \quad (3.4)$$

*SS*: Emniyet Stok Seviyesi

*R*: Müşteri Servis Seviyesi R Faktör değeri

*MAD*: Talep tahmininin Ortalama Mutlak Sapması

*LT*: Ürünün tedarik/üretim süresi

ABC’de Müşteri Servis Seviyesi %99,8 olarak uygulanacaktır. Bir diğer anlamda müşteri siparişlerinin stoktan karşılanma oranı %99,8’dir. Şekil 4-4’deki R faktör değeri karşılığı 2,56’dır.

MAD değeri ise 5.5 formülü ile ifade edilmiştir.

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |d_t - f_t| \quad (5.5)$$

$n$ : tahmin yapılan periyot sayısı

$t$ : tahmin periyodu

$d_t$ : talep miktarı

$f_t$ : talep tahmin miktarı

Uygulamamızda 3 dönemlik merkezi ortalama yöntemi ile verili dönem tahmini yapıldığı için formül aşağıdaki şekilde güncellenmiştir.

$$MAD = \frac{1}{22} \sum_{t=2}^{23} |d_t - f_t| \quad (5.5.1)$$

Formül 5.5.1 Merkezi Hareketli Ortalama Tahmini (Tablo 4-2) tablosuna uygulanarak MAD değerleri hesaplanmıştır. MAD değerleri Tablo 3-5’de gösterilmiştir.

Ürünlerin tedarik üretim süresi (LT) 15 gün olarak alınmıştır. Aylık periyot ile çalışılmasından kaynaklı LT değeri 0,5 olarak formülde işlenmiştir. Bu sürenin 10 günü hammadde tedarik süresine ve 5 günü üretim süresine ayrılmaktadır.

Tablo 4-5 : Ürün Emniyet Stoğu Hesap Tablosu.

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>R</b>	4	4	4	4
<b>MAD</b>	2092	727	1635	886
<b>LT</b>	0,5	0,5	0,5	0,5
<b>SS</b>	5917	2056	4624	2506



## 4.5 Üretim Kapasitesi ve Üretim Maliyeti

Firmada tezimize konu olan ürünleri üreten 10 adet üretim hattı bulunmaktadır. Genel olarak operatörler bu hatlar arasında üretim programına bağlı şekilde üretim yapmaktadırlar. Bu haliyle makine kapasitesi, talebi karşıladığı hali hazırda görünmektedir.

ABC'de yapılan zaman etüdü çalışmaları sonucunda çalışma yapılan makinenin günlük ortalama kapasitesi 3.000 mt olarak ölçülmüştür. Çalışmasını yaptığımız 4 ürün için bu değer değişmemektedir. Dolayısıyla aylık ortalama kapasite 60.000 mt olacaktır.

Ürünlere ait üretim maliyetleri ise A ürünü için 2,73 tl/mt, B ürünü için 3,72 tl/mt, C ürünü için 3,99 tl/mt ve D ürünü için 5,46 tl/mt olarak değerlendirilmiştir. Üretim maliyetinde zamana bağlı maliyetler dahil edilmiştir.

## 5. SAYISAL SONUÇLAR VE YORUMLAR

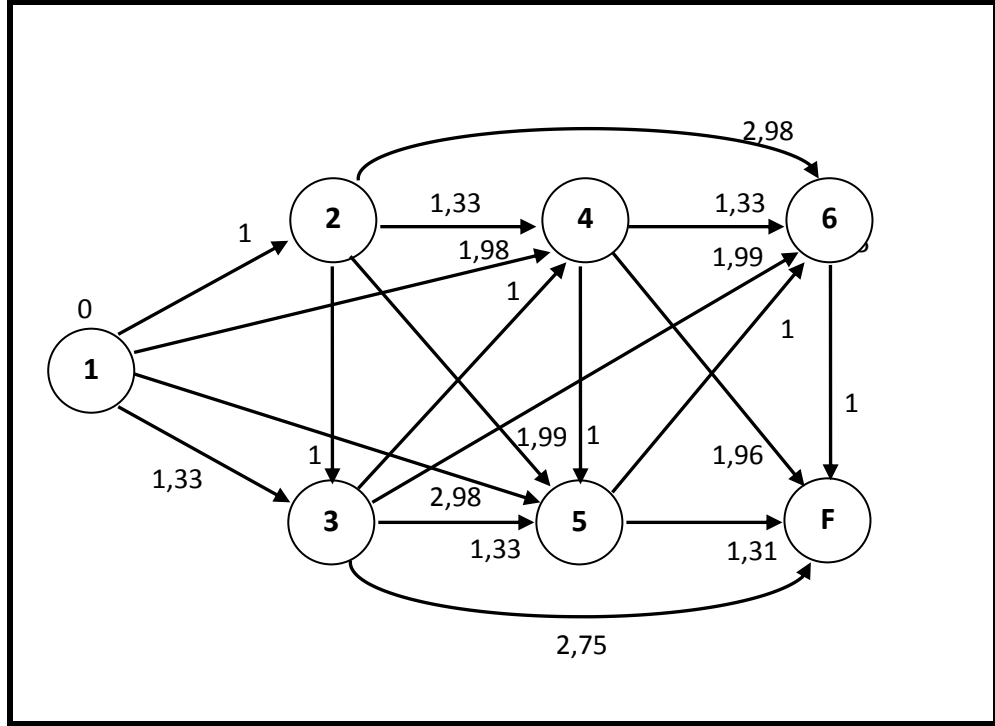
Model denklemlerine uygun olarak oluşturulmuş Excel formülleri ile uygulamamıza konu olan A, B, C, D ürün gruplarının 6 aylık üretim planı detayları aşağıda gösterilmiştir. Her ürün için 1'den küçük olan maliyet karşılaştırma katsayısı üzerinden bir öneri ve daha sonra bu önerinin iyileştirmesi aşamalarını izleyen iki aşamalı model uygulanmıştır.

Tablo 5-1: A Ürünü Üretim Planı Önerisi 1. Aşama.

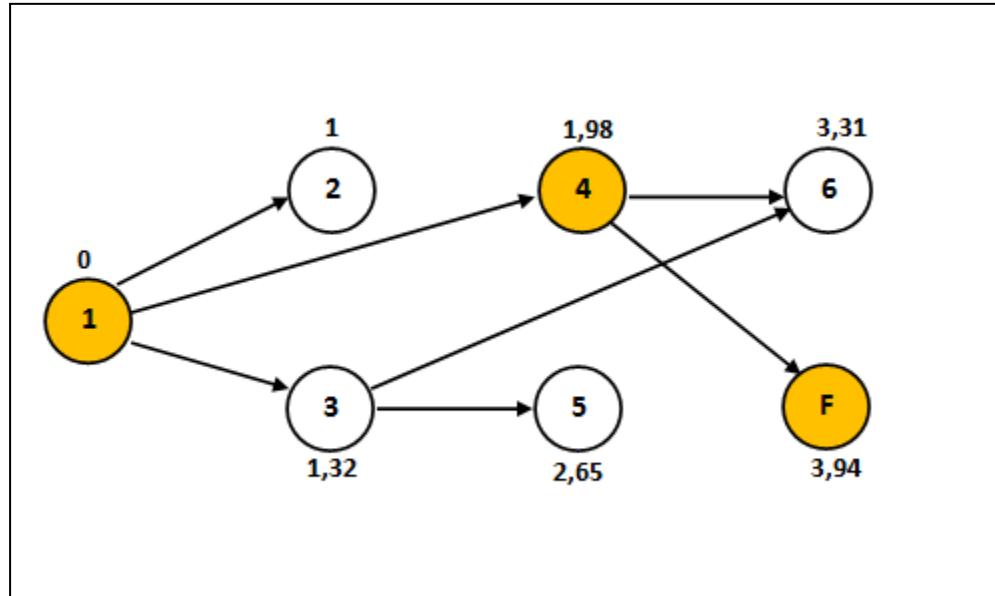
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K		
1				6						1,00			
2				5					1,00	0,31			
3		$v_t^n$	Maliyet Karşılaştırma Katsayısı	4				1,00	0,33	0,63			
4	3					1,00	0,33	0,66	0,94				
5	2				1,00	0,33	0,66	0,98	1,26				
6	1			1,00	0,32	0,66	0,996	1,31	1,57				
7	$t$			Dönem		0	1	2	3	4	5	6	Toplam
8	$d$			Talep			10359	10632	10838	10872	10733	10287	63721
9	$x$	Üretim			40763	0	0	0	21020	0	61782		
10	$s$	Stok		7856	38259	27627	16789	5917	16204	5917	110713		
11	$y$	Geçiş			1	0	0	0	1	0	2		
12		Stok Maliyeti			6121,5	4420	2686	946,7	2593	946,7	17714		
13		Geçiş Maliyeti			5240	0	0	0	5240	0	10480		
14		Üretim Maliyeti			111282	0	0	0	57383	0	168666		
15	$p$	B. Üretim Maliyeti			2,73	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73	196860		
16	$h$	B. Stok Maliyeti			0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16			
17	$q$	B. Geçiş Maliyeti			5240	5240	5240	5240	5240	5240			

Tablo 5.1'de A ürünü için üretim planı önerisi gösterilmiştir. Taralı olan hücreler katlanılan maliyet katsayılarını göstermektedir. 1 ve 5. aylarda üretim gerçekleştirilmiş ve toplam maliyet 196.860 TL olarak gerçekleşmiştir. Buna göre toplam  $v_t^n$  değeri 4,30 olarak gerçekleşmiştir.

Şekil 5-1'de modelin ikinci aşaması olan Dijkstra en kısa yol yönteminin uygulanabilmesini sağlayan grafik gösterim bulunmaktadır.



Şekil 5-1: A Mamulü Maliyet Şebeke Diyagramı



Şekil 5-2: A Ürünü İçin Modelin 2. Aşama Çözümü

Şekil 5-2’de A ürününe ait maliyet diyagramının en küçük maliyet ile çözümü gösterilmiştir. Buna göre bitiş düğümü olan F düğümüne en kısa 4 numaralı düğümden ulaşılabilir. 4 numaralı düğüm ise 1 numaralı başlangıç düğümünden ulaşılabilir. Dolayısıyla set-up dönemleri 1 ve 4. dönemler olarak belirlenmiştir ve toplam  $v_t^n$  değeri 3,94 olarak gerçekleşmiştir.

Tablo 5.2’de ise iyileştirilmiş üretim planı gösterilmiştir. İyileştirme ile maliyet 195.005 TL değerine çekilmiştir. Üretim 1 ve 4. aylara alınmıştır.

Tablo 5-2: A Ürünü İyileştirilmiş Üretim Planı.

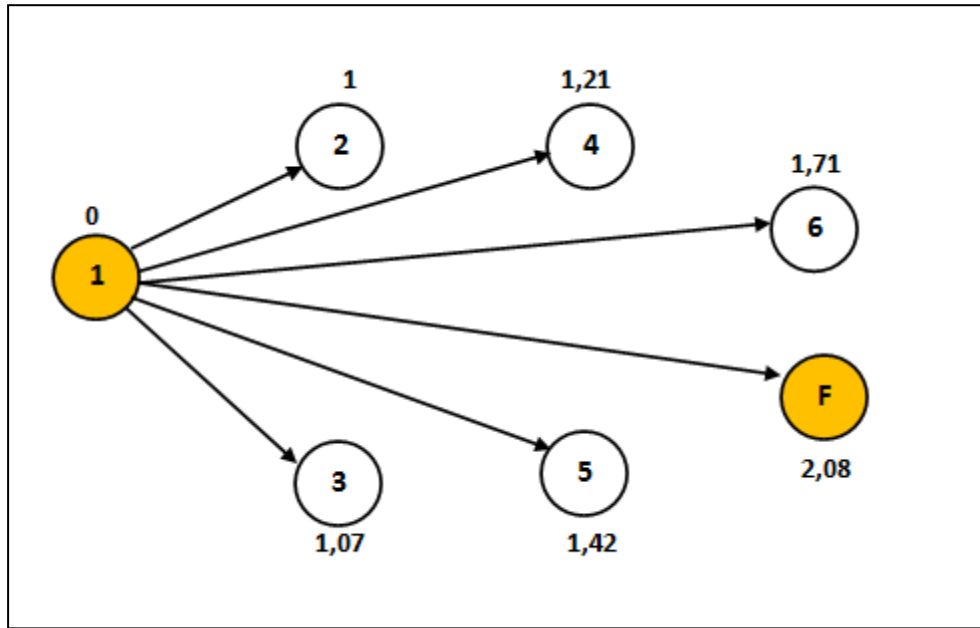
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
1		$v_t^n$	Maliyet Karşılaştırma Katsayısı	6						1,00		
2				5						1,00	0,31	
3				4					1,00	0,33	0,63	
4				3				1,00	0,33	0,66	0,94	
5				2			1,00	0,33	0,66	0,98	1,26	
6				1		1,00	0,32	0,66	0,996	1,31	1,57	
7	$t$	Dönem		0	1	2	3	4	5	6	Toplam	
8	$d$	Talep			10359	10632	10838	10872	10733	10287	63721	
9	$x$	Üretim			29891	0	0	31891	0	0	61782	
10	$s$	Stok		7856	27388	16755	5917	26937	16204	5917	99118	
11	$y$	Geçiş			1	0	0	1	0	0	2	
12		Stok Maliyeti			4382	2681	946,8	4310	2593	946,7	15859	
13		Geçiş Maliyeti			5240	0	0	5240	0	0	10480	
14		Üretim Maliyeti			81602	0	0	87063	0	0	168666	
15	$p$	B. Üretim Maliyeti			2,73	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73	<b>195005</b>	
16	$h$	B. Stok Maliyeti			0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16		
17	$q$	B. Geçiş Maliyeti			5240	5240	5240	5240	5240	5240		

B ürününe ait üretim planı önerisi Tablo 5-3’de gösterilmiştir. Bu öneri ile sadece 1. ayda geçiş maliyetine katlanıp 6 aylık toplam talebi karşılama stratejisi önerilmiştir. Bu haliyle toplamda 62.899 TL maliyet ortaya çıkmıştır. Üretim programındaki maliyet karşılaştırma değerleri ( $v_t^n$ ) toplamı 2,08 olarak gerçekleşmiştir. Bu da yeni bir geçiş maliyeti yapma toleransını oldukça düşürmektedir.

Tablo 5-3: B Ürünü Üretim Planı Önerisi.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1				6						1,00	
2			Maliyet	5					1,00	0,07	
3		$v_t^n$	Karşılaştırma	4				1,00	0,07	0,15	
4			Katsayısı	3			1,00	0,07	0,15	0,22	
5				2		1,00	0,07	0,14	0,22	0,30	
6				1	1,00	0,07	0,14	0,21	0,29	0,37	
7		$t$	Dönem	0	1	2	3	4	5	6	Toplam
8		$d$	Talep		2163	2217	2271	2325	2379	2433	13790
9		$x$	Üretim		13446	0	0	0	0	0	13446
10		$s$	Stok	2400	13683	11465	9194	6869	4489	2056	47757
11		$y$	Geçiş		1	0	0	0	0	0	1
12			Stok Maliyeti		2189	1834	1471	1099	718,3	329	7641,1
13			Geçiş Maliyeti		5240	0	0	0	0	0	5240
14			Üretim Maliyeti		50018	0	0	0	0	0	50018
15		$p$	B. Üretim Maliyeti		3,72	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72	62899
16		$h$	B. Stok Maliyeti		0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	
17		$q$	B. Geçiş Maliyeti		5240	5240	5240	5240	5240	5240	

Şekil 5-3 Dijkstra uygulanmış çözümü göstermektedir. İlgili çözüm, modelin ilk aşamadaki çözüm önerisi ile aynı sonucu verdiği görülmektedir.

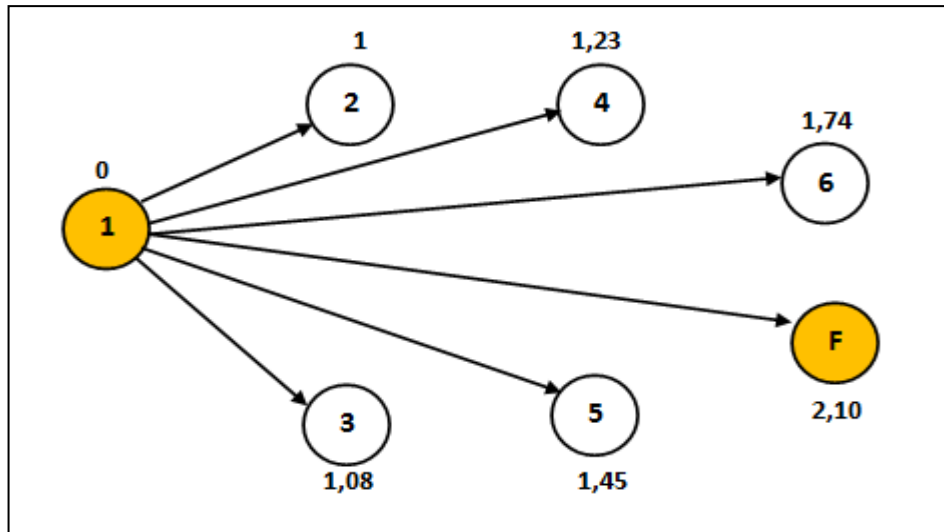


Şekil 5-3: B Ürünü için Modelin 2. Aşama Çözümü

B ürünündeki durum C ürününde de görülmektedir. Tablo 5-4’de gösterilen çözüme göre 6 aylık toplam talep miktarı 1. ayda üretilmek suretiyle karşılanması hedeflenmektedir. Toplam  $v_t^n$  değeri 2,10 olarak gerçekleşmiştir. Toplam maliyet 74.669 TL olarak gerçekleşmiştir. Şekil 5-4 bu öneriyi doğrulamaktadır.

Tablo 5-4: C Ürünü Üretim Planı Önerisi.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1				6						1,00	
2			Maliyet	5					1,00	0,07	
3		$v_t^n$	Karşılaştırma	4				1,00	0,07	0,14	
4			Katsayısı	3			1,00	0,07	0,15	0,22	
5				2		1,00	0,07	0,15	0,22	0,29	
6				1	1,00	0,08	0,15	0,22	0,29	0,36	
7		t	Dönem	0	1	2	3	4	5	6	Toplam
8		d	Talep		2512	2482	2452	2422	2391	2361	14620
9		x	Üretim		14844	0	0	0	0	0	14844
10		s	Stok	4400	16732	14250	11798	9376	6985	4624	63765
11		y	Geçiş		1	0	0	0	0	0	1
12			Stok Maliyeti		2677	2280	1888	1500	1118	739,8	10202
13			Geçiş Maliyeti		5240	0	0	0	0	0	5240
14			Üretim Maliyeti		59227	0	0	0	0	0	59227
15		p	B. Üretim Maliyeti		3,99	3,99	3,99	3,99	3,99	3,99	74669
16		h	B. Stok Maliyeti		0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	
17		q	B. Geçiş Maliyeti		5240	5240	5240	5240	5240	5240	



Şekil 5-4: C Ürünü için Modelin 2. Aşama Çözümü

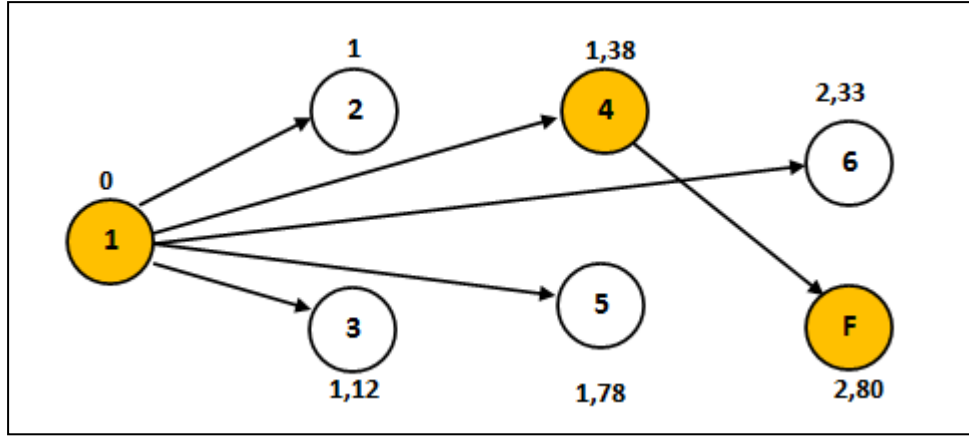


D ürünü için yapılan çalışma Tablo 5-5’de gösterilmiştir. Buna göre modelin birinci aşamasında üretim birinci ayda yapılmak suretiyle talebin karşılanması planlanmıştır. Bu haliyle toplam maliyet 137.320 TL olacaktır.

Tablo 5-5: D Ürünü Üretim Planı Önerisi.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1		$v_t^n$	Maliyet Karşılaştırma Katsayısı	6						1,00	
2				5					1,00	0,14	
3				4				1,00	0,13	0,27	0,43
4				3			1,00	0,13	0,27	0,41	0,57
5				2		1,00	0,12	0,26	0,40	0,55	0,71
6				1		1,00	0,12	0,26	0,40	0,55	0,71
7		$t$	Dönem	0	1	2	3	4	5	6	Toplam
8		$d$	Talep		3913	4060	4208	4355	4502	4649	25687
9		$x$	Üretim		21793	0	0	0	0	0	21793
10		$s$	Stok	6400	24279	20219	16011	11657	7155	2506	81828
11		$y$	Geçiş		1	0	0	0	0	0	1
12			Stok Maliyeti		3885	3235	2562	1865	1145	401	13092
13			Geçiş Maliyeti		5240	0	0	0	0	0	5240
14			Üretim Maliyeti		1E+05	0	0	0	0	0	118988
15		$p$	B. Üretim Maliyeti		5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	137320
16		$h$	B. Stok Maliyeti		0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	
17		$q$	B. Geçiş Maliyeti		5240	5240	5240	5240	5240	5240	

Şekil 5-5 ise modelin ikinci aşama çözümünü göstermektedir. İyileştirme planının maliyetini oluşturan üretim 1 ve 4. aylarda gerçekleşmiştir. Toplam  $v_t^n$  değeri 2,10 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 5-5: D Ürünü için Modelin 2. Aşama Çözümü

Böylece toplam maliyet 137.320 TL'den 136.078 TL'ye çekilmiştir. Tablo 5-6 iyileştirilmiş programı göstermektedir.

Tablo 5-6: D Ürünü İyileştirilmiş Üretim Planı.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1				6						1,00	
2				5					1,00	0,14	
3				4				1,00	0,14	0,28	
4				3			1,00	0,13	0,27	0,43	
5				2		1,00	0,13	0,27	0,41	0,57	
6				1	1,00	0,12	0,26	0,40	0,55	0,71	
7		$t$	Dönem	0	1	2	3	4	5	6	Toplam
8		$d$	Talep		3913	4060	4208	4355	4502	4649	25687
9		$x$	Üretim		8288	0	0	13505	0	0	21793
10		$s$	Stok	6400	10775	6714	2507	11657	7155	2506	41314
11		$y$	Geçiş		1	0	0	1	0	0	2
12			Stok Maliyeti		1724	1074	401,1	1865	1145	401	6610,2
13			Geçiş Maliyeti		5240	0	0	5240	0	0	10480
14			Üretim Maliyeti		45252	0	0	73735	0	0	118988
15		$p$	B. Üretim Maliyeti		5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	136078
16		$h$	B. Stok Maliyeti		0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	
17		$q$	B. Geçiş Maliyeti		5240	5240	5240	5240	5240	5240	



Son olarak kapasite doluluk oranlarını kontrol ederek üretim programındaki üretim dağılımının kapasiteye uygunluğu test edilmiştir. Tablo 5-7’de Ocak ayında %96 oranında yükleme olduğunu göstermektedir. Bu oranın yüksek çıkması dönem başı stok miktarlarının düşük olduğunu göstermektedir. Yine Nisan ayında kapasitenin %69 oranında dolu olduğu gözlenmektedir. 2,3,5 ve 6. aylarda stok ile talebin karşılanması hedeflendiğinden kapasite doluluk oranı 0 çıkmıştır.

Tablo 5-7: Kapasite Kontrolü

ÜRÜN	AY					
	1	2	3	4	5	6
A	29891	0	0	31891	0	0
B	13446	0	0	0	0	0
C	14844	0	0	0	0	0
D	8288	0	0	13505	0	0
Toplam Üretim	66470	2	3	45400	5	6
Kapasite (mt/gün)	3000	3000	3000	3000	3000	3000
İş Günü Sayısı	23	20	21	22	22	21
Aylık Kapasite (mt)	69000	60000	63000	66000	66000	63000
Kapasite Doluluk Oranı	96%	0%	0%	69%	0%	0%

## KAYNAKLAR

- Abraham B., Ledolter J, (2009), “Statistical Methods for Forecasting”, Wiley.
- Asal, Ö. (2009). “Malzeme ihtiyaç planlaması (MIP) ve üretim kaynakları planlamasının (ÜKP) üretim planlama ve kontrol faaliyetleri üzerindeki etkileri: Ankara bölgesindeki KOBİ’ler üzerinde bir uygulama”, Gazi Üniversitesi, 171.
- Aslan, S (2012)., “SAP PP Üretim Planlama Modülü”, Pusula Yayınları, 184.
- Box G., Jenkins G, (1976), “Time Series Analysis Forecasting and Control”, Lancaster U.K..
- Buzacott, J. A., Corsten, H., Gössinger, R., Schneider, H. M., (2012)., “Production Planning and Control: Basics and Concepts”, Oldenbourg Verlag.
- Chockalingam M., (2010), “Forecast Error and Safety Stock Strategies, Demand Planning LCC”, India.
- Dear A. D. (1990)., “Inventory Management Demystified”, Springer.
- Demir H., Gümüšođlu Ş., (2003), “Üretim Yönetimi-İşlemler Yönetimi”, Beta Basım Yayım, 6. Baskı, İstanbul.
- Frisch R., (1964), “Theory of production”, Springer.
- Güzel, D., (2008), “Üretim Planlama ve İş Yükleme Metotları- Bir Uygulama”, 112.
- Harrison, D. K., and Petty, D. J., (2002), “Systems for planning and control in manufacturing: systems and management for competitive manufacture”, Butterworth-Heinemann.
- Hill, A. V., (2007), “The Encyclopedia Of Operations Management”, Eden Prairie, MN: Clamshell Beach Press.
- Hopp, W. J. and Spearman, M. L. 2008. Factory Physics. Boston: Mc Graw Hill / Irwin.
- Johnson L.A., Montgomery D.C., (1974), “Operation Research in Production Planning, Scheduling and Inventory Control”, John - Wiley & Sons Inc., USA.
- Kachwala, TT, and P. N. Mukherjee., (2009), “Operations Management And Productivity Techniques”, PHI Learning Pvt. Ltd.
- Kanyalkar, A. P ve 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.

Khan, Mohammad Ibrahim., (2004), "Industrial Engineering. New Age International".

Matta, A., and Semeraro, Q. (Eds.). (2005). "Design of Advanced Manufacturing Systems: Models for Capacity Planning in Advanced Manufacturing Systems", Springer.

McKay, Kenneth N. "The Historical Foundations of Manufacturing Planning and Control Systems Planning Production and Inventories in the Extended Enterprise", Springer US, 2011. 21-31.

Mentzer J. T., Moon M. A., (2004), "Sales Forecasting Management: A Demand Management Approach", SAGE Publications.

Nahmias, Steven, and Ye Cheng. (1997), "Production and operations analysis.", McGraw-Hill

Noori, H., Radford, R. (1995), "Production and Operations Management: Total Quality and Responsiveness", McGraw-Hill, New York.

Pochet, Y., and Wolsey, L. A., (2006), "Production Planning By Mixed Integer Programming", Springer.

SAS Institute, (2006), "SAS Inventory Optimization 1. 3: User's Guide", North Carolina.

Toomey, J. W. (1996), "MRP II: planning for manufacturing excellence", Springer.

Tomes, A. and Hayes, M., (1993), "Operations Management: Principles and Practice", Prentice-Hall.

Üreten, S., (2000), "Üretim/İşlemler Yönetimi", Gazi Kitabevi, Ankara.

Yaman, R (2011), "Üretim Planlama (Kontrol ve Bütünleştirme)", Nobel Yayın ve Dağıtım, 200.

Yenersoy, G (2011), "Üretim Planlama ve Kontrol", Papatya Yayınları, 360.

## ÖZGEÇMİŞ

Vedat Genç 1982 yılında Kahramanmaraş'ta doğdu. 2009 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi (YTÜ), Makine Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü'nü başarıyla tamamladı. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü (GYTE), Sosyal Bilimleri Enstitüsü, İşletme Bölümü, Sayısal Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimi almaktadır. 2010 yılından bu yana özel sektörde Üretim Planlama ve Kontrol alanında çalışmaktadır.