



Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Üretim Yönetim ve Sayısal Yöntemler Bilim Dalı

**STOKASTİK TALEP DURUMUNDA ÇOK ÜRÜNLÜ ÜRETİM
SİSTEMLERİNDE
KURAL TABANLI ÇİZELGELEME:
ALÜMİNYUM SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA**

Maria Jazaei

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2012

STOKASTİK TALEP DURUMUNDA ÇOK ÜRÜNLÜ ÜRETİM SİSTEMLERİNDE
KURAL TABANLI ÇİZELGELEME:
ALÜMİNYUM SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA

Maria Jazaei

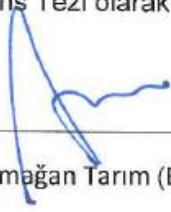
Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
İşletme Anabilim
Üretim Yönetim ve Sayısal Yöntemler Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

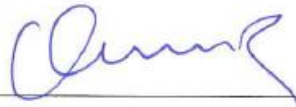
Ankara, 2012

KABUL VE ONAY

Maria Jazaei tarafından hazırlanan "Stokastik Talep Durumunda Çok Ürünlü Üretim Sistemlerinde Kural Tabanlı Çizelgeleme: Alüminyum Sektöründe Bir Uygulama" başlıklı bu çalışma, 3 Ekim 2012 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof.Dr. Ş.Armağan Tarım (Başkan)



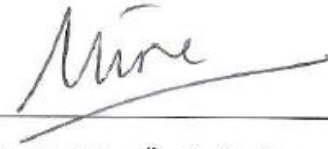
Dr. Onur koyuncu (Danışman)



Yrd.Doç.Dr. Hatice Çalınar



Yrd.Doç.Dr. Ayşegül Taş



Yrd.Doç.Dr. Mine Ömürgönülşen

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Prof.Dr. Yusuf Çelik

Enstitü Müdürü

BİLDİRİM

Hazırladığım tezin/raporun tamamen kendi çalışmam olduğunu ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi taahhüt eder, tezimin/raporumun kağıt ve elektronik kopyalarının Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü arşivlerinde aşağıda belirttiğim koşullarda saklanmasına izin verdiğimi onaylarım:

- ☐ Tezimin/Raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.
- ☐ Tezim/Raporum sadece Hacettepe Üniversitesi yerleşkelerinden erişime açılabilir.
- ☒ Tezimin/Raporumun 2015 yıl süreyle erişime açılmasını istemiyorum. Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.

3 Ekim 2012



Maria Jazaei

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanma sürecinde, öncelikle tez danışmanlığını kabul eden, gösterdiği sabır ve güvenle beni teşvik eden değerli hocam Öğr. Gör. Dr. Onur KOYUNCU'a

Tezin olgunlaşma ve teslim sürecinde destek ve eleştirileriyle katkıda bulunan değerli hocam Dr. Onur Alper KILIÇ'a

Ayrıca, bu uzun ve yorucu süreçte her zaman yanımda olan, tezin tamamlanmasında büyük katkısı olan Yrd. Doç. Dr. Hatice ÇALIPINAR desteği için teşekkür ederim.

Ve tabii ki hayatımın her aşamasında bana güvenen ve her türlü desteği veren aileme teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

JAZAEİ, Maria, “*Stokastik Talep Durumunda Çok Ürünlü Üretim Sistemlerinde Kural Tabanlı Çizelgeleme: Alüminyum Sektöründe Bir Uygulama*”, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2012

Çizelgeleme, bir imalat işletmesi organizasyonunda en temel konularından biridir. Zira bir işletme hayatının devamı için ve istediği hedeflere ulaşması için adım adım takip edebileceği bir program hazırlamak zorundadır. Aslında çizelgeleme, ulaşmak istenen noktaya nasıl ve hangi yollarla ulaşılabilineceğini gösteren önemli bir gereksinimdir. Üretim planlamasının yüksek öneme sahip olduğu günümüzde, çizelgeleme kullanılarak en iyileme çalışmasının nasıl yapılabilineceği bir alüminyum fabrikasının üretim planlama işlemi ele alınarak bu çalışma kapsamında anlatılacaktır. Firmanın mevcut üretim sistemi daha uygun bir kapsamında uygulanabilecek planlama yöntemleri ve işleyiş mekanizmaları açıklanmaya çalışılacak ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak firmanın koşullarına uygun planlama yöntemi tespit edilmeye çalışılacaktır. Bu çalışmanın amacı siparişleri kurulum maliyeti ve zamanı hesaba katarak üretim aşamasında kaybedilen zamanı ve maliyeti minimize etmek için sıralama yönteminin modellenmesi ve siparişlerin zamanında müşteriye teslim edilmesidir. Bu yöntemin tek makine-çok ürün (single machine-multi item) varsayımı altında uygulanması hedeflenmiştir. Veriler, firmanın bir yıllık siparişleri esas alınarak hazırlanmıştır. Çok fazla ürün olması nedeniyle ABC sınıflandırma yöntemi kullanılarak, sipariş oranı yüksek olan ürünler belirlenmiştir. @RISK programı kullanılarak, Poisson dağılımıyla her üründen hangi zaman aralığında ne kadar sipariş geldiğini tespit edilmeye çalışılmıştır. Her üründen günlük olarak gelen sipariş sayısının ve miktarının, Poisson uniform dağılımı ile minimum ve maksimum değerleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler Python tabanlı modelleyerek simülasyon yapılmıştır.

Kurulum maliyetleri göz ardı edilemeyecek kadar büyük olduğundan uygulanan sıralama yöntemleriyle kurulum maliyetlerinde yüksek tasarruf sağlanmıştır. Çok az gecikme maliyetine katlanarak yüksek miktarda kurulum maliyeti önemli ölçüde azaltılmıştır.

Anahtar Sözcükler

Tek Makine-Çok Ürün, Kurulum Maliyeti, Çizelgeleme, Sıralama, Simülasyon.

ABSTRACT

JAZAEİ, Maria, “*Rule-Based scheduling in Multi-Product Manufacturing Systems in case of Stochastic Demand: An Implementation in the Aluminum Sector*”, Master Thesis, Ankara, 2012.

scheduling is one of the essential problems of a manufacturing enterprise organization. An enterprise has to prepare a program to be followed step-by-step to maintain its life and to achieve its ends. In fact, scheduling is an essential requirement showing how and through which ways an intended end is to be reached. In today's world, where production planning is of high importance, how the optimization study is to be carried out best through scheduling would be discussed in this thesis by addressing the production planning of an aluminum factory. Current production system of the factory, planning methods that may be used on a more suitable scale as well as operation processes will be discussed and a planning method suitable to the conditions of the company will be determined by comparing obtained results.

The purpose of this study is to deliver orders to the customers on time and to model the ordering method so as to minimize the time lost during the production process and the cost by taking into account the orders, setup cost, and time. This method is intended to be applied under the single machine – multi item hypothesis.

The data have been prepared based on the orders of the company in a single year. Since there are too many products, products with a high rate of order are determined through ABC method. Using @RISK program, with Poisson distribution, the amount of order for a given product in a given period of time is determined. Maximum and minimum values of daily number and amount of order for each product are determined through Poisson uniform distribution. A simulation is prepared by modeling treated data based on Python.

Since the setup costs are so high as not to be omitted, high amount of savings are ensured in setup costs through the ordering methods applied. High cost of setup is significantly reduced, bearing a little late delivery cost.

Key Words

Single Machine – Multi Unit, Setup Cost, Scheduling, Sequencing, Simulation.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY.....	i
BİLDİRİM.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ	xi
TABLO LİSTESİ	xii
1 GİRİŞ.....	1
1.1 ÜRETİM PLANLAMASININ TANIMI	2
1.2 ÜRETİM PLANLAMASININ AMAÇLARI	5
1.3 TOPLAM ÜRETİM PLANLAMASI	6
1.4 PLANLAMA SÜRECİ.....	7
1.4.1 Talep Gereklilikleri Kararı	7
1.4.2 Alternatifleri, Kısıtları ve Maliyetleri Belirleme	8
1.4.3 Kabul Edilebilir Bir Plan Hazırlamak	8
1.4.4 Planın Uygulanması ve Güncellenmesi.....	8
2 SIRALAMA VE ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ.....	9
2.1 ÇİZELGELEME NEDİR?.....	9
2.2 İŞLETMELER AÇISINDAN ÇİZELGELEMENİN ÖNEMİ	11
2.3 ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN ÖGELERİ	13
2.4 SİPARİŞ SIRALAMA METODU	16
2.5 PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ.....	18
3 KURULUM ZAMANINA DAYALI SIRALAMA LİTERATÜR İNCELEMESİ ...	25
3.1 SIRALAMA VE KURULUM ZAMANLI ÇİZELGELEME	25
4 PROBLEM TANIMI VE ÇÖZÜMÜ	33
4.1 PROBLEM TANIMI	33

4.1.1	Şirket Tanıtımı	33
4.1.2	Ekstrüzyon	35
4.1.3	Kalıplar	36
4.2	PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ	38
4.2.1	Verilerin Oluşturulması	38
4.3	STANDART YÖNTEM İLE KURULUM MALİYETİ EKLENEREK	
PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ		46
4.3.1	SPT (Shortest Processing Time)	46
4.3.2	LPT (Longest Processing Time)	46
4.4	PUANLAMA DEĞERİYLE SIRALAMA	47
4.4.1	SPT (Shortest Processing Time)	47
4.4.2	LPT (Longest Processing Time)	49
4.5	İŞLEM ZAMANINA GÖRE SIRALAMA	50
4.5.1	SPT (Shortest Processing Time)	50
4.5.2	LPT (Longest Processing Time)	51
4.6	MAKİNEDEKİ ÜRÜN ÖNEMSENMEDEN İŞLEM ZAMANI SIRALANMASI	
52		
4.6.1	SPT (Shortest Processing Time)	52
4.6.2	LPT (Longest Processing Time)	53
4.7	UYGULAMA SONUÇLARI	53
5	SONUÇ	55
KAYNAKÇA		58
EK-A : KURAL KULLANILMADAN SIRALAMA METODU		64
EK-B : PUANLAMA METODU GELEN SİPARİŞ SAYISINA BAĞLI		66
EK-C : SIRALAMA METODU (PROCESSİNG TİME'A BAĞLI)		68
EK-D : PROCESSİNG TİME METODU (MAKİNEDEKİ ÜRÜNÜN		
ÖNEMSENMEMİŞ)		70

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1- Optimal Temel İşlemler Planlama Faaliyetlerine Genel.....	5
Şekil 2-Bir Gantt Şeması, Bilgisayardan Alınmış Görüntü.....	10
Şekil 3-İmalat Sistemlerinde Bilgi Akışı Diyagramı.....	12
Şekil 4-Çözüm Yöntemleri.....	27
Şekil 5-Alüminyum Üretim Süreci.....	34
Şekil 6 - Kütük.....	35
Şekil 7-Pres Makinesi	36
Şekil 8- Alüminyum yıkama havuzu,	37
Şekil 9-Ürün ambalajlama hattı	37

TABLO LİSTESİ

Tablo 1-Verilerin Poisson Tektip Dağılımı Uygulanmış Hali	45
---	----

1 GİRİŞ

Günümüz rekabet ortamında değişen şartlara hızlı uyum sağlayabilme yeteneği firmalar açısından hayati öneme sahiptir. Bir diğer önemli konuda, kısıtlı kaynakların minimum düzeyde kullanarak üretimin yapılmasıdır. Rekabetin doğal sonucu olarak düşen kar marjları, firmaları üretim maliyetlerini azaltma yönünde zorlamaktadır. Bu durum firmaların üretim planlaması üzerine odaklanmasını beraberinde getirmektedir, iyi bir planlamayla üretim maliyetleri önemli ölçüde azaltıp karlılık arttırılabilir.

Üretimde esas amaç en son ürünü en kısa sürede bitirmektir. Bu sürece tamamlanma zamanı (*makespan*) denir. Genellikle bir üretim hattında birden fazla işin makineler üzerinde yapılabilmesi için işlerin birbirleriyle koordine halinde doğru sıralanması gerekir. Doğru sıralama yapılarak gecikmeleri minimum düzeye indirmek mümkündür. Doğru sıralamayla kurulum sayısının azalması ve buna bağlı olarak kurulum maliyetinde azalma ve üretim için ekstra zaman üretilmiş olur.

Planlama için literatürde, özel durumlara göre kalıplaşmış modeller mevcuttur. Planlama sorunun çözümü için bu modellerden herhangi biri kullanılabilir ancak optimal çözümün garantisi yoktur. Bu nedenle her durum için o durumun kendine özgü koşulları dikkate alınarak kısıtlar oluşturulup, modeller kurulması ve amaca en uygun sonucu veren modeller iş hayatında kullanılması gerekmektedir.

Birinci bölümde planlama önemini görmek için, planlama tanımlanmaktadır ve amaçları, süreçleri ele alınmaktadır.

İkinci bölümde çizelgelemenin ne olduğu, işletmeler açısından ne kadar önemli olduğu, çizelgelemenin öğeleri, sıralama metodları ve parti büyüklüğü anlatılmaktadır ve bu konularda literatür çalışmalarına yer verilmektedir.

Üçüncü bölümde kurulum zamanını sıralama ve çizelgeleme yöntemleri dahil edilmiş literatür çalışmaları anlatılmaktadır.

Dördüncü bölümde çalışmanın üzerinde yapıldığı firmanın tanımı ve problemin anlatımı, bu problemin çözümü için kullanılmış yöntemleri açıklanmaktadır.

Sonuncu bölümde problemin çözme aşamasında karşılaşıldığı kısıtlar ve elde edildiği sonuç anlatılmaktadır.

1.1 ÜRETİM PLANLAMASININ TANIMI

Üretimin tarihi, insanoğlunun gelişme yolunda ilk adımlarını attığı tarihe kadar uzanmaktadır. Üretim; insan gereksinimlerini karşılamak amacıyla mal veya hizmetleri (M/H) meydana getirmektir.

Chase (1998) yılında yaptığı çalışmada, işletmelerin yürüttüğü faaliyetlerle kar elde etmeye çalışan kuruluşlar olduğunu, ikinci dünya savaşından sonra teknolojik gelişmeler, işletmeler arasında fiyat, kalite ve çeşitlilik gibi konularda rekabeti artırarak üretilen mal ve hizmetlerin (M/H) verimliliği, üretim araçlarının rasyonel kullanımı, en uygun mal ve hizmetlerin (M/H) üretimini daha önemli hale getirdiğini vurgulamıştır.

Üretim yönetiminin ana amacı, miktar, kalite, zaman ve maliyet olarak belirlenen faktörlerin optimal değerlerinin bulunmasına odaklanmıştır. Buna göre üretim yönetimi, üretimde iş gücü, fiziksel araç ve kaynakları rasyonel bir biçimde kullanarak, ihtiyaçları en uygun koşullarda karşılayacak ve düşük maliyetle mal üretme yöntem ve ilkelerini geliştiren bir bilim dalı olmuştur.

İşletmelerin, verimli bir şekilde üretim faaliyetlerinde bulunması, üretimle ilgili bütün işlemlerin düzenli olarak yürütülmesi, üretime uygun olarak bir araya getirilen faktörlerin harekete geçmesi ancak iyi bir plan ile mümkün olacak ve bir üretim planlaması gerektirecektir.

Bir işletmenin işi, kim için ne ürettiği ile tanımlanır. İşletme amaçlarına nasıl ulaşılacağını gösteren, uzun vadeli plandır. İşletmenin rekabet avantajının ve büyüme yönünün belirlenmesi, üretilecek mal veya hizmetlerin saptanması, üretim kaynaklarının temin ve dağıtımının planlanması gibi konuları kapsar. Stratejiler işletmenin olmak istediği yere şu anki mevcut durumlarını belirleyerek ulaşması için oluşturulurlar.

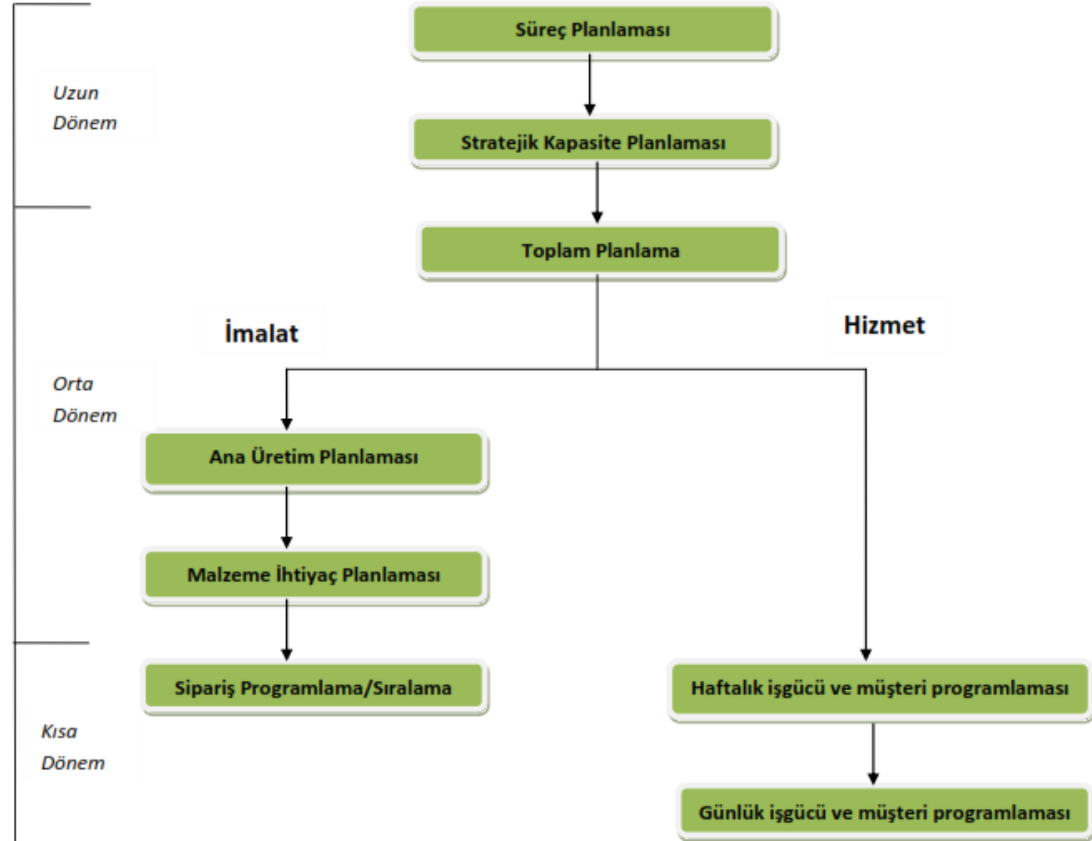
Üreten, (1999) Üretim İşlemler Yönetimi kitabında Üretim/işlemler departmanı yöneticisinin temel amacı tüketicilerin istek ve ihtiyaçlarını, zamanında, kabul edilebilir kalitede ve minimum maliyetle karşılamak olduğunu bu nedenle üretim faaliyetlerinin planlanmasına ihtiyaç duyulduğunu üretim planlamasının, önceden belirlenen üretim gereklerini karşılamak için kaynakların optimal kullanımını planlama faaliyeti anlamına geldiğini belirtmiştir.

Üretim planları çeşitli düzeylerde ve zaman aralıklarını kapsayacak şekilde hazırlanır. Bu zaman aralıklarını uzun, orta ve kısa dönemli olarak tanımlanır. Uzun dönemli planlar, işletmenin üretim/işlemler stratejisini yansıtır, dolayısıyla işletmenin geleceğini etkileyecek niteliktedirler, yüksek sermaye yatırımı gerektirirler ve üst düzey yöneticiler tarafından hazırlanırlar. Genelde yıllık yapırlar ve 1 yıldan fazla bir zaman aralığını kapsarlar. Üreten (1999) vurgular ki belirsizlik uzun dönemde yüksek olduğundan riski oldukça yüksek olan kararlardır. Orta ve kısa dönemli kararlar üzerinde kısıtlayıcı niteliktedirler. Orta dönemli toplam üretim planları ürün gruplarıyla ilgili planlardır. Bu planlar hazırlandıktan sonra tüm ürün türleri için üretilecek miktarları gösteren ana üretim programları hazırlanır. 6-18 aylık dönemi kapsarlar. Kısa dönem planlar üzerinde etkilidirler. Kısa dönemde belirsizlik daha azdır, risk de daha azdır; çünkü ayrıntısı daha fazladır. Bu kararlar 6 aydan daha kısa dönemi kapsar.

Uzun dönemli planlar stratejik, toplam üretim planları taktik, kısa dönemli üretim planları işlemsel kararları içerirler. Kısa dönemli üretim planlamasından orta dönemli planlamaya, orta dönemli planlamadan ise uzun dönemli planlamaya geri besleme bilgilerinin aktarılması gerekir.

Malzeme ihtiyaç planlaması (MRP), Russell (2000) göre ana üretim planının uygulanabilmesi için hangi malzeme, ne kadar ve ne zaman sorularının cevabını bulma çabasıdır. Bu cevapların bulunması ile MRP gereksiz envanter bulundurulmamasını, planın daha etkin ve verimli olarak uygulanabilmesi ve anlık müşteri isteklerine hızlı bir şekilde cevap verilebilmesini sağlamaktadır. Son planlama faaliyeti olan sipariş programlama/sıralama (*order scheduling*), işleri belirli makinelere ürün hatlarına veya iş merkezlerine göre atamayı içerir. Şekil 1’de temel işlemler planlama faaliyetlerine genel bakışı tablo halinde görülebilir.

Şekil 1- Optimal Temel İşlemler Planlama Faaliyetlerine Genel



Kaynak : Chase, 1998

1.2 ÜRETİM PLANLAMASININ AMAÇLARI

Genel olarak üretim planlama ve kontrolünün amacını, Russell'e (2000) tarifine göre şirketlerin hedefleri çerçevesinde, optimum kar sağlayacak şekilde işletmenin içine ve dışına olan malzeme akışını planlamak ve kontrol etmek şeklinde tanımlanabilir. Bu nedenle üretim planlama ve kontrol, müşteri talebini, finansman durumunu, üretim kapasitesini, insan gücünü vb. sürekli olarak tartan, kontrol altında tutan bir mekanizma olması gerekmektedir.

1.3 TOPLAM ÜRETİM PLANLAMASI

Toplam üretim planlaması işgücü büyüklüğünün, üretim hızlarının, işletmede bulundurulması gerekli son ürün envanter düzeylerinin, programlanması gereken fazla mesai ve taşeronla ürettirilecek miktarlarının belirlenmesine yönelik bir planlama faaliyetidir. Toplam üretim planlamasının amacı, orta dönemde oluşması beklenen toplam talebi karşılamak için gerekli üretim kapasitesini en az maliyetle sağlamaktır.

Kobu'nun (2003) Üretim Yönetimi kitabında açıkladığı gibi toplam planlama finansman, personel ve pazarlama gibi işletme fonksiyonlarıyla yakından ilgilidir. Ürün bazında gerçekleştirilen bir faaliyet olmadığından ürün hattındaki tüm ürün çeşitlerine göre ayrı bir plan hazırlanmamaktadır. Ürün hattındaki ürünlerin toplamı için yapılan bir plan söz konusudur. Ürün ayrıntılarına bakılmadığından makro bir üretim yaklaşımı olduğunu söyleyebiliriz.

Toplam üretim planlamasında dikkate alınması gereken konuları Kobu (2003) şu şekilde sıralamış:

Ürün Aileleri: Benzer talep ve ortak süreç, işgücü ve malzeme gereklilikleri olan mal/hizmet (M/H)ler bir ürün ailesini oluşturur. Bir işletme çok detaylı ürün aileleri oluşturmak yerine bunu geniş tutabilir.

Ürün Türleri: Talep, kapasite, işçi-saat, makine-saat gibi ortak bir birim kullanılarak ifade edilir. Ürün ayrıntılarına girilmez, sadece genel anlamda kaynakların kullanımına ilişkin karar verme imkanı tanır. Ortak ve ilgili ölçümler kullanılması gerekmektedir.

İşgücü: Bir işletme işgücünü, işgücü esnekliğine bağlı olarak çeşitli yollarla sağlayabilir. Yönetim, ürün aileleri hattı boyunca işgücünü alt gruplara bölerek ve her ürün ailesine farklı grupları atlayarak işgücünü yığılabilir.

Zaman: Planlama süresi toplam planın kapsadığı süredir. Genellikle bu süre 1 yıldır ama bazen değişiklik gösterebilir. İşletme çıktı miktarındaki veya işgücündeki sık değişikliklerin olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için aylık, 3 aylık veya sezonluk olarak planı gözden geçirmelidir.

1.4 PLANLAMA SÜRECİ

Kobu'nun (2003) düşüncesine göre toplam üretim planı hazırlamak için gerekli süreçler aşağıdaki şekilde oluşmalıdır. Bu dinamik ve devamlı bir süreçtir; yeni imkânlar doğunca veya yeni bilgiler gelince güncellenebilir.

1.4.1 Talep Gereklilikleri Kararı

Planlama sürecinin ilk aşaması planlama süresinin her periyodu için talep gerekliliklerine karar vermektir. Personel planlarında planı yapan yönetici geçmiş talepler, yönetisel kararlar ve yığılmış işlere dayanılarak her işgücü grubunun personel gerekliliklerine göre tahminleme yapar.

Üretim planları için talep gereklilikleri son ürün için olan talebi ve yedek kısımlar için dışsal talebi içerir. Siparişe göre üretim yapan işletmeler son ürün talebini yığılmış işlerden tespit edebilirler. Stoka göre üretim yapan işletmelerse stoktaki ürün aileleri için olan talep tahminlerine göre gelecekteki gerekliliklerini saptayabilirler. Bayiler veya dağıtıcılar da geçmişe göre tahmin yapıp son ürün için mevcut siparişleriyle gerekliliklerini belirtirler.

1.4.2 Alternatifleri, Kısıtları ve Maliyetleri Belirleme

İkinci aşama planın seçeneklerini, kısıtlarını ve maliyetlerini belirlemektir. Kısıtlar toplam planla ilgili politikaları veya fiziksel kısıtlamaları ifade eder. İşletme politikası kısıtları birikmiş sipariş limiti veya fazla mesai limiti olabileceği gibi güvenlik stoku tutmak gibi kısıtlar da olabilir. Planı yapan yönetici toplam planı hazırlarken göz önünde bulundurduğu maliyetler vardır. Kibu bu maliyetleri řu şekilde tanımlar:Normal Çalışma Saati Maliyetleri - Fazla Mesai Maliyetleri - İşe Alım/İşten Çıkarma Maliyetleri - Elde Tutma Maliyeti - Birikmiş siparişler ve elde kalmama maliyetleri.

1.4.3 Kabul Edilebilir Bir Plan Hazırlamak

Bir sonraki aşama toplam planı hazırlamaktır. Kabul edilebilir bir plan hazırlamak tekrarlı bir süreçtir. Planın zaman zaman gözden geçirilmesi, bazı ayarlamalar yapılması gerekebilir. öncelikle muhtemel, değiştirilebilir bir plan hazırlanır. Aylık periyotlarda gözden geçirilebilir. Daha sonra bu plan kısıtlara ve stratejik amaçlara göre kontrol edilir. Olası plan kabul edilemezse, yeni bir muhtemel plan hazırlanır.

1.4.4 Planın Uygulanması ve Güncellenmesi

Son aşama ise toplam planın uygulanması ve güncellenmesidir. Uygulama tüm bölüm yöneticilerinin bağılılığını gerektirir. Planlama komitesi uygulama süresince amaçlar arasındaki çatışmayı ortadan kaldırmak için değişiklik önerisinde bulunabilir. Planın kabul edilmesi herkesin aynı fikirde olması demek değildir ama herkes bu planı gerçekleştirmek için çalışması gerekmektedir.

2 SIRALAMA VE ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ

Bu bölümde çizelgeleme tanımlanıp ve işletme açısından önemleri, sıralama metodları, parti büyüklüğü konularında genel literatür anlatılacaktır.

2.1 ÇİZELGELEME NEDİR?

“Çizelgeleme, kıt kaynakların belirli bir zaman boyunca işlere tahsis edilmesiyle ilgilidir. Bu süreç bir veya daha fazla hedefin optimizasyonunu amaçlayan bir karar alma sürecidir .” (Pinedo, 2008)

Planlamacılar işlerin kaynaklara dağıtımı için saat, gün, hafta gibi zaman periyotlarını kullanırlar.

Acil sipariş, tekrar çalışma gerekliliği, operatör yokluğu/ yetersizliği, makina arızası, tahminin siparişe uyuşmaması ve buna benzer aksaklıklar üretim planında bir delik açacaktır. Çizelgeleyici söz verilen siparişi zamanında yetiştirmek için işlerin tekrar yüklenmesi, önceliklerin değiştirilmesi, alternatif üretim rotalarının incelenmesi için sonsuz zaman harcayacaktır. Her ne kadar, çalıştığı sistemi iyi tanıyan tecrübeli planlamacılar bu sorunu bir noktaya kadar çözebilirler de, sorun görüldüğünden çok daha büyüktür (Pinedo, 2004).

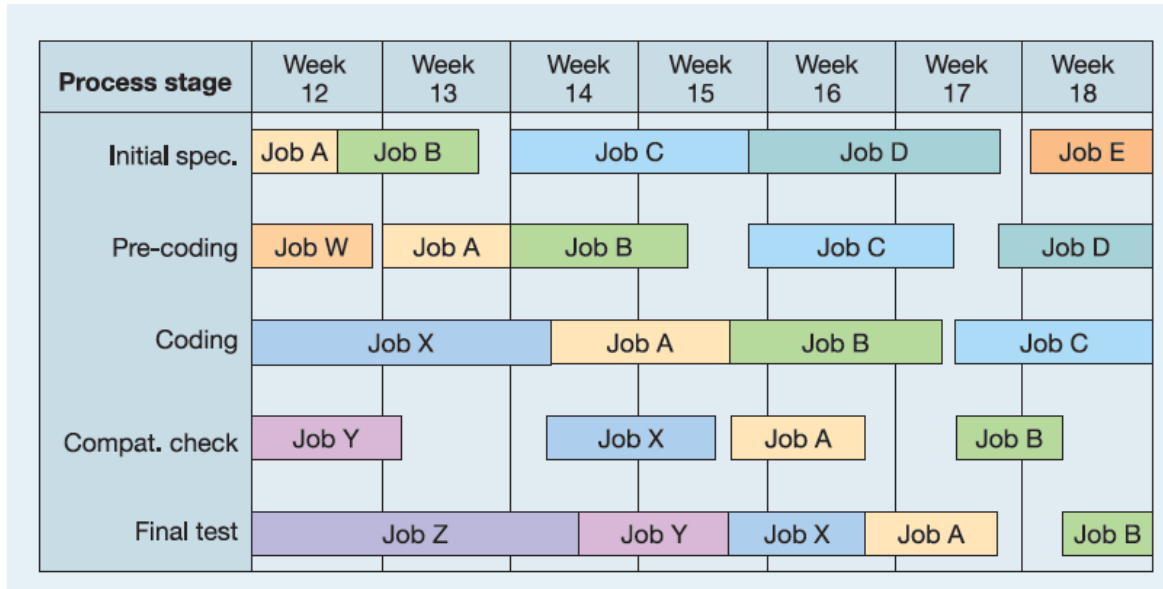
Üretim sistemindeki günlük olağan sorunları statik bir tablo üzerinden takip etmek, diğer ayarları/istenilenleri bozmayacak şekilde yeniden hızlı bir şekilde düzenlemek belki de dünyanın en zor işlerinden biridir.

Pinedo (2008), açıkladığı gibi çizelgeleme, operasyonların, belli bir hedef kritere göre (geç kalan iş sayısını minimumda tutmak, setup sayısını minimumda tutmak gibi), kısıtlar göz önünde bulundurularak kaynaklar üzerinde sıralanması ve atanan

operasyonların başlangıç ve bitiş zamanlarının belirlenmesi olarak tanımlanabilir. Kısıtların göz önüne alınması (kaynak kısıtları, malzeme teminindeki aksamalar, düzenli bakımlar, arızalar vs.) oluşturulan Gantt şemasını daha uyulabilir hale getirir. Sistem kısıtlarını göz önüne alarak yapılan bu işlem “sonlu kapasite çizelgeleme” olarak adlandırılır. Bir başka deyişle sonlu kapasite çizelgeleme, kaynakların gerçek kapasiteleri üzerine kurulmuş operasyon sıralamasını içeren bir üretim planıdır.

Çizelgeleme yazılımları, üretim planını göstermek için, yukarıda bahsedilen statik tabloya benzeyen, fakat çok daha fazla detay içeren "Gantt Şemasını" kullanırlar.

Şekil 2-Bir Gantt Şeması, Bilgisayardan Alınmış Görüntü



Kaynak: Slack,2010

Tipik bir Gantt şeması hangi operasyonun ne zaman, hangi birim tarafından yapılacağını, operasyonun başlangıç ve bitiş zamanlarını gösterir.

2.2 İŞLETMELER AÇISINDAN ÇİZELGELEMENİN ÖNEMİ

Pinedo, (2008) kitabında çizelgelemenin öneminden şu şekilde bahsetmiştir. Bir organizasyonda kaynaklar ve işler farklı şekillerde bulunabilir. Bir iş istasyonundaki makineler, havalimanındaki peronlar, bir yapım içindeki çalışanlar, bir hesaplama ünitesindeki işlem birimlerinin her biri birer kaynak olarak ele alınabilir. İşler ise, bir üretim sürecindeki işlemler, bir havaalanındaki uçakların kalkış ve inişleri, bir yapım projesindeki aşamalar, bilgisayar programının çalışması olarak örneklendirilebilir.

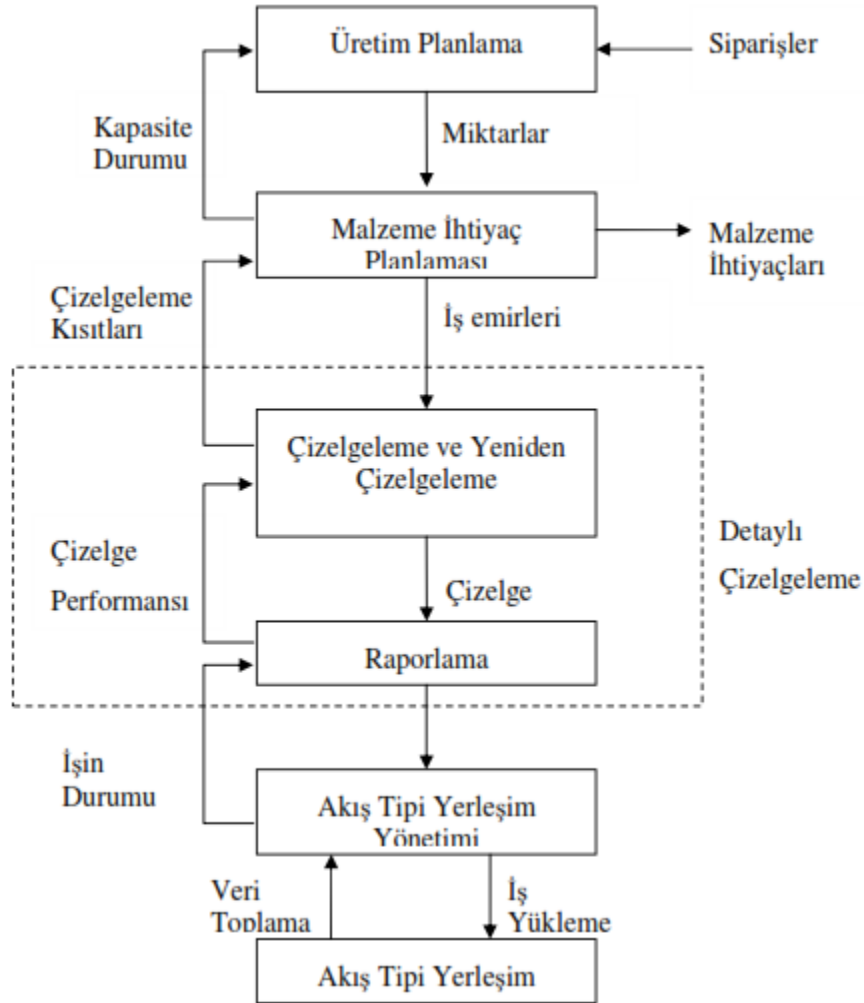
Çizelgelemenin rolünü daha iyi anlamak için bir imalat işletmesi düşünüldüğünde, İmalat ortamında ilan edilen siparişler ortak teslim zamanlı işlere dönüştürülür. Bu işler genellikle verilen bir sipariş veya sırada iş merkezlerindeki makinelerde işlem görürler (Pinedo, 2008).

Eğer mevcut makineler meşgul ise işlerin gecikmesi söz konusu olabilir. Ayrıca eğer iş merkezine daha öncelikli bir iş gelirse mevcut işin yarım birikilip öncelikli işe başlanması durumuyla da karşılaştırılabilir. Seri üretim yerleşim düzeninde makine duraklamaları veya beklenenden uzun işlem süreleri gibi beklenmeyen olaylarda dikkate alınmalıdır; çünkü bu tür durumlar çizelgeler üzerinde büyük etkilere sahiptirler. Dolayısıyla işlerin detaylı bir çizelgesinin geliştirilmesi etkinliğin artırılmasına ve operasyonların kontrolüne yardımcı olacaktır (Pinedo, 2008).

Pinedo (2008), üretim planlama sürecinde çizelgeleme; tahmin, bütünleşik planlama ve malzeme ihtiyaç planlamasından sonraki adımdır şeklinde tanımlar. Malzeme ihtiyaç planlamasında ürünün her bir parçasının ya da bileşeninin ihtiyaç duyacağı zamanlar belirlenir. Çizelgeleme, belirli bir makinede işlem görecektir işleri ve emirleri, işlerin tamamlanma sırasına göre ortaya koyarak planlama sürecini bir adım daha ileri götürür. Çizelgeleme; kaynak kısıtları, işlerin zamanında tamamlanması ve çalışanlar–makineler için bekleme zamanlarının azaltılması gibi

hedefleri dikkate alarak, üretimin etkili bir şekilde başarıya ulaşmasına imkân sağlar.

Şekil 3-İmalat Sistemlerinde Bilgi Akışı Diyagramı



Kaynak ; Pinedo (2004)

2.3 ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN ÖGELERİ

Pinedo (2008, 2010), kitaplarında çizelgeleme problemlerini şöyle açıklamış, çizelgelenecek işlerin ve makinelerin önceden bilindiği varsayımı unutulmamalıdır. Çizelgelenecek işlerin sayısı n ve makinelerin sayısı ise m ile ifade edilmektedir. İş ve makine sayıları alt indis olarak kullanıldıklarında; j iş sayısına ve i makine sayısına karşılık gelmektedir. Eğer iş bir dizi işlem veya operasyon gerektiriyorsa (i,j) çifti; j işinin i makinesindeki operasyon adımını ifade etmektedir. Çizelgelenecek i işi ile ilgili diğer gerekli bilgiler ise şunlardır.

Tamamlanma Zamanı (Makespan):

$C_{\max} = \max (C_1, C_2, C_3, \dots, C_n)$ En son işlemin bitiş zamanı

L_j Maksimum gecikme (*job lateness*) ve işle teslim zamanını işlemin bitiş zamanından azatlarsak elde edebiliriz. Kurulumun en önemli hedeflerinden biri gecikmeyi en aza indirmektir .

$$L_j = C_j - d_j$$

Maksimum Gecikme (Maximum Lateness):

$L_{\max} = \max (L_1, L_2, L_3, \dots, L_n)$ maksimum gecikmeyi en aza indirmek

T_j j işlemin gecikme (rötar) süresi. Böylece gecikme zamanı da kontrol altına alabilir .

$$T_j = \max (C_j - d_j, 0) = \max (L_j, 0)$$

T_j değeri, işlem gecikirse pozitif veya işlem daha erken biterse negatif olacaktır.

Doğal olarak gecikme (*tardiness*) hiç bir zaman negatif olmamalı; çünkü o zaman ceza maliyeti (*penalty cost*) artacaktır.

$$U_j = 1 \text{ if } C_j > d_j$$

$$U_j = 0 \text{ otherwise}$$

Toplam Ağırlıklı Gecikme (Total Weighted Tardiness):

Bu işlere verilen ağırlığa göre önemi de değişebilir.

$$\sum_{j=1}^n W_j T_j$$

Toplam gecikme ağırlığı (total weighted tardiness) yukarıdaki formülle hesaplanarak bulunur.

Ağırlıklı Gecikmiş İş Sayısı (Weighted Number of Tardy Jobs) :

$$\sum W_j U_j$$

Sadece gecikme değil erken bitirme de problem yaratır mesela çabuk bozulan ürünleri düşünürsek çabuk bitirilmesi bozlamalarına neden olabilir.

$$E_j = \max (d_j - C_j , 0)$$

Bu fonksiyonun miktarı işler bitince azalış biçimde çoğalır.

Eğer hem gecikmeyi (*tardiness*) hem de erken bitirmeyi (*earliness*) azaltmak istersek

$$\sum_{j=1}^n E_j + \sum_{j=1}^n T_j$$

W' erken bitirme ağırlığı

W' gecikme ağırlığı

O zaman;

$$\sum_{j=1}^n W'_j E_j + \sum_{j=1}^n W'_j T_j$$

$$\sum_{j=1}^n C_j$$

Ortalama üretim hızı (*average production rat*)

Bir işlem üretim süresini azaltmak her kurum için önem taşıyan faktörlerden biridir.

Toplam Ağırlıklı Tamamlanma Zamanı (Total Weight Completion Time):

Eğer bu her işin ağırlığı ile yapılmak istenirse;

$$\sum_{j=1}^n W_j C_j$$

İndirimli Toplam Ağırlıklı Tamamlanma Zamanı (Discounted Total Weighted Completion Time):

$$(\sum w_j (1-e^{-rc_j}))$$

$0 < r < 1$ her birim zamanın oranıdır.

Eğer j işlemi tam t zamanında bitmezse o zaman $w_j re^{-rt} dt$ yapılacaktır. $[t, t + dt]$

Eğer işlem tam zamanında biterse yani $[0, t]$ zamanında $w_j (1-e^{-rt})$ ve r oranı her zaman 10% olacaktır.

Preemption (prmp)

Bir işlemi tamamlanmadan bırakıp başka bir işe girilmesi ve iş bittikten sonra tamamlanmamış işe geri dönülüp kaldığı yerden devam edilmesidir.

Precedence constraints (prec)

bir işlem tamamıyla bitmeden başka bir işe geçilememesidir. Çoğu zaman zincir gibi birbirine bağlı işlerde ortaya çıkar. Her işin bir öncesi ve bir sonrası vardır.

Sequence dependent setup time (s_{jk})

k işlemini yürütürken k işleminin bitirilmesi için gereken süre.

S_{0k} k işleminin birinci olduğu sırada gerekli olan kurulum süresidir.

S_{j0} j işleminden sonra temizlenmesi için gerekli olan süredir (Pinedo, 2008; Pinedo, 2010).

2.4 SİPARİŞ SIRALAMA METODU

Alvani (2004), Nahmias (2004), Jafarnejad (2009) ve Pinedo'ya (2010) göre siparişlerin sıralama metodlarını aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür;

- I. İlk Gelen İlk İşlenir (*first come first serve*) FCFS
Bu yöntemde siparişlerin geliş sırasına göre sıralama yapılır. İlk gelen sipariş ilk olarak işlenir. (Nahmias, Production and Operations Analysis, 2004)
- II. En Kısa İşlem Süresi (*shortest processing time*) SPT
Bu yöntemde siparişlerin işlenme süresi dikkate alınarak sıralama yapılır. En kısa işlem gerektiren iş, ilk işlenir. (Nahmias, Production and Operations Analysis, 2004)
- III. En Kısa İşlem Süresi (*shortest operation time*) SOT
- IV. En Uzun İşlem Süresi (*longest operation time*) LOT
Bu yöntemde sıralama siparişlerin işlenme süreleri dikkate alınarak sıralama yapılır. En uzun işlem gerektiren iş, ilk işlenir.
- V. Statik Bolluk (*static slack*) SS
Kurulum maliyetini dikkate alarak siparişler sıralamasını buna (the next best role) NBR sonraki işlerden en iyi seçmektir.
- VI. SS/PT Yöntemi
Bir işlem yapım zamanı (*processing time*) PT dikkate alarak SS/PT oranlarını karşılaştırıp en küçük oranı veren ürünle üretime başlanır.
- VII. SS/RO Yöntemi
Kalan işlemler (*remaining operation-ro*) SS'e göre sıralamır ve SS'i büyük olan sipariş öne alınır.
- VIII. En Erken Teslim Zamanı (*earliest due date*) EDD
Teslim zamanı en yakın olan seçilir
- IX. Son Gelen İlk İşlenir (*last in system first serve*) LIFS

Bu yöntemde siparişlerin geliş zamanı dikkate alınır. Son gelen sipariş ilk olarak işleme alınır.

- X. Dinamik Bolluk (*dynamic slack*) DS
En kısa süreli olan dinamik bolluk DS olarak seçilir. Formülize edersek;
teslim tarihine kalan zaman – siparişin tamamlanmasına kalan zaman olarak bulunur.
- XI. DS/PT Yöntemi
En az olan oran seçilir.
- XII. DS/RO Yöntemi
En küçük olan bu oranla seçilir. DS/RO kalan işlemleri dikkate alır.
- XIII. Kritik Oran(*critical ratio scheduling*) CR
(*due date – current time*) /processing time
- XIV. En Az Ağırlıklı Olan İlk İşlem Görür (*weighted shortest processing time first*) Wspt
Önce işlemlerin önemlerine göre ağırlıklar verilir ve bu ağırlıklara dayanarak sıralama yapılır.
- XV. Belirgin Gecikme Maliyeti (*apparent tardiness cost*) ATC
Bu yöntemde zamanıda dikkate alacağız, eğer K bir ölçek parametresi (*look ahead parameter*) ki tecrübeyle belirlemiş olsak

$$I_j(t) = (w_j/p_j)[(-\max(d_j - p_j - t, 0))/(kp)]$$
- XVI. Vade Sıklığı (*due date tightness*)

$$\varepsilon = 1 - (d^- / C_{\max})$$

 d^- tüm teslim zamanların ortalaması
Ne kadar bu ε miktarı bire yakın olursa o kadar teslim zamanı sıkışıktır
- XVII. Dizi Faktörüne Göre (*due date range factor*)

$$R = (d_{\max} - d_{\min}) / C_{\max}$$

R ne kadar büyük olursa o kadar aralıkların açık olduğunu gösterir

2.5 PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ

“Sipariş büyüklüğünün belirlenmesi, planlama dönemleri boyunca ortaya çıkan talepleri karşılamak için toplam maliyeti en küçükleyecek nihai ürün veya bileşenlerinin hesaplanmasıdır”. (Pinedo, 2004)

Parti büyüklüğü belirleme’lerinde en önemli hedef kuşkusuz toplam maliyetin minimize edilmesidir. Sipariş büyüklüğünün belirlenmesinde, talebin değişkenliği, stokta tutma maliyetlerinin toplam maliyete oranları gibi birçok etken göz önünde bulundurulmalıdır. Tüm bunlar göz önünde bulundurularak ihtiyacı en iyi şekilde karşılayan parti büyüklüğü modeli seçilmelidir.

Malzeme ihtiyaç planlamada, bağımlı ve bağımsız parçalara olan talebi karşılamak için sipariş miktarının belirlenmesi önemli bir konudur. Son ürün üretiminde kullanılan bileşen parçaların talebi, son ürün talebine bağlı oluşu ve kitle halinde üretilmeleri kesikli talep oluşturmakta ve klasik ekonomik sipariş miktarını bulan stok kontrol modellerinin kullanılmasını önlemektedir.

Pinedo’ ya (2004) göre planlama ufku, sipariş miktarının dağılımı, stokta tutma maliyeti, sipariş verme maliyeti gibi ölçütlere göre bu yöntemler farklı performanslar gösterebilmektedir.

Sipariş miktarı seçimine yönelik modeller, genellikle parti büyüklüğü modelleri olarak adlandırılmaktadır. Bu modeller iki başlık altında toplanabilir:

- Statik Parti Büyüklüğü Modelleri,
- Dinamik Parti Büyüklüğü Modelleri.

Statik parti büyüklüğü modelleri; talebin planlama dönemi boyunca sabit olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Bu tip modellerde sipariş miktarı bir kez hesaplanır ve dönem boyunca aynı değer kullanılır.

Dinamik parti büyüklüğü modelleri; talebin deterministik olup, planlama dönemi boyunca değişiklik gösterdiği durumlarda kullanılmaktadır.

Parti büyüklüğü ve zamanlama konusunda en önemli çalışmalardan biri Drex ve Kimms, (1996) yılında yaptığı çalışmadır. Bu çalışmada kapasite dynamic ve deterministic olarak ele alınmış ve planlama ufku bir kaç alt döneme ayrılmıştır. Jodl Bauer, (2004) Drex ve Kimms , (1996) (CLSP, DLSP, CSLP, PLSP, GLSP) modelleriyle çalışmışlardır. DLSPSD formulasının çözüm yolu olarak seyyar satıcı modelini göstermişler bu yöntemi Haase ve Kimms (1999) de kullanmışlar.

Haase ve Kimms, (1999) Tek kademeli, tek makineli üretim sistemi kurulum maliyetleri ve sürelerini bir bağımlı dizi (*sequence dependent*) olarak çalışmış ve çözüm yolu olarak büyük kova karışık tamsayı programlamayla konuya yaklaşmış ve çözüm yolu olarak branch and bound yöntemiyle çözmüş bu çalışmada (DLSPSD, DLSPSDCT) modellemeleri geliştirmiştir.

Jodl Bauer, (2004) Taleplerin dinamik olması durumunda ton maliyeti, kurulum ve tutma maliyetlerini minimize etmeye çalışmış ama modellemede birikime izin vermemek şartıyla tüm kapasiteyi kullanılmış ve hesaplamalar ekonomik sipariş miktarı ile yapılmıştır.

Caserta ve Rico, (2007) çalışmalarında multi item–multi period capacitated lot sizing problem with setup (MCLS) geliştirip talep planlama sınırından daha fazladır. Her dönemde çeşitli ürünler sınırlı kaynaklarla birbiriyle rekabetteler bu çalışmasında kapasite sınırlı olduğu ve kurulum maliyeti ve kurulum zamanında

dikkate alınmış. Caserta matematiksel formüllerini açıklamış ve logrange problem haline getirip (*cross entropy parading*) CE asalı algoritmayla çözmüştür.

Song ve Chan, (2003) bir sınırlı planlama ufuklunda sabit talepler olduğu halde birikim olabilir şartıyla maliyeti dinamik programlama algoritması bir optimum üretim çizelgesi hesaplaması eğer talep değişken olursa ve eğer basit bir durumda talep sabit olursa nasıl olur diye açıklamışlardır.

Songa çalışmasında tek çeşitli ürün bir makine üzerinde birikimini bir sonlu süreçte kurulum maliyetini minimize etmeye çalışmış ve iki farklı açığı ele almıştır:

- Talep dinamik ve işlem süresi belirli olduğu varsayılmış
- Talep sabit ve işlem süresi belirsiz olduğu varsayılmış

Amaç optimal bir üretim planı belirlemek ki bütün talepleri zamanında yetiştirme imkanı bulma, kurulum, envanter tutma ve birikim maliyetini en aza indirebilmektir ve her birimin birikim maliyeti tüm süreçte sabit düşünülmüştür (Songa, 2005).

Ve birikimin tek makine üzerinde sınırlı üretim oranıyla Wagner Whitin 1958 de sunduğu yöntemle çözmeye çalışmıştır.

Drexl (1996), Kapasite Kısıtlı Boyutlandırma Çizelgeleme Problemi (CLSP-*capacitated lot sizing scheduling problem*) üzerine yaptığı çalışmasına göre bu modelde önemli olan nokta kapasitenin kısıtlı olarak düşünülmesidir. Kurulum maliyeti (*setup*) ve bulundurma maliyetini (*holding cost*) en aza indirgenmek amaçlanır. Üretim ya yapılmamış ya da birden fazla yapılmış CLSP problemini büyük kova (*large bucket problem*) modellemesiyle çözmüştür.

Kesikli Boyutlandırma ve Çizelgeleme Problemini (DLSP-*discrete lot sizing and scheduling problem*)’de şu şekilde yorumlar. Bu planlama kesikli dönemlerde yapılır ve önemli kuralı ya hep ya hiç dir. Planlama küçük kova problemi (*small*

bucket problem) altında yapılır. Bütün modelleme ve parametreler CLSP'nin aynısı ancak kapasite ve üretim miktarının eşit olacaktır. DLSP avantajı CLSP ye göre lead time azaltmaktır; çünkü daha küçük zamanlarda planlama yapılır (Drexl, 1996).

Kesintisiz Kurulum Boyutlandırma Problemi'ni ise (CSLP-*continuous setup lot sizing problem*) şu şekilde anlatmaktadır. DLSP ve CLSP avantajlarını birleştirmek için iki yöntem bir araya getirilmesiyle oluşturulmuştur. İlk kısmı aynı CLSP gibi ikinci bolumü ise DLSP gibi modelleniyor. Bu yöntem kapasitenin kısıtlı olduğu, sürekli olarak farklı üretim miktarlarında üretim yapılması gereken durumlarda kullanılabilir (Drexl, 1996).

Drexl (1996), üstteki modellemeleri geliştirmek için Oransal Boyutlandırma ve Çizelgeleme Problemini (PLSP-*proportional lot sizing and scheduling*) şöyle açıklar. Eğer CSLP modelinde bütün kapasite kullanmazsa o zaman kalan kapasite için PLSP modeli kullanılır. Fazla kapasitenin olduğu dönemde farklı bir ürün üretilerek o kapasite değerlendirilir. Modele o dönemin önceki üretimi de eklenmesi gerekmektedir. Dönem içindeki toplam üretim kapasiteye eşit yada az olması gerekmektedir.

Genel Boyutlandırma ve Çizelgeleme Modelini (GLSP-*general lot sizing and scheduling problem*) Drexl (1996) göre, talepler sabit tutulur, her bir fazla üretim için numaralandırma yapılır, talepler dönem başında tanımlanır. GLSP bir büyük kova problemi (*large bucket model*) ile çözülür, amacı ise teslimat süresini (*lead time*) en aza indirmeyi palanlar.

Drexl, Kimms ile (1996) yaptığı çalışmayla literatüre yani bir model eklenmektedir. Çok Seviyeli Boyutlandırma ve Çizelgeleme (*multi level lot sizing and scheduling*) Tek bir makinenin darboğaz oluşturduğu durum dikkate alınırsa, bu durumda

genellikle PLSP modeli kullanılır. Modelleme PLSP çok seviyeli durumuna göre düzenlenmiştir. Amacı kurulum (*setup*) ve tutma (*holding*) maliyetini azaltmaktır. Bir önceki dönemin envanteri bu dönemin üretimiyle toplanıp talep azalır, lead time ve taşımaya harcanan zamanda dikkate alınırsa modele aşağıdaki kısıtlar eklenecektir.

Haase, (1999) çalışmasında çizelgeleme modellerini geliştirmeye çalışmıştır. Kesikli Boyutlandırma ve Sıraya Bağımlı Çizelgeleme (DLSPSD-*discrete lot sizing and scheduling sequence dependent*) Kesikli çok boyutlandırma ve zamanlama, ama sıraya bağımlı kurulum maliyeti seyyar satıcı modeliyle çözülmektedir (*traveling salesman*).

Kesikli Boyutlandırma ve Sıraya, Kurulum Maliyeti ve Zamana Bağımlı Çizelgeleme (DLSPSDCT-*discrete lot sizing and scheduling sequence dependent setup cost and time*) kesikli çok boyutlandırma ve zamanlama, ama sıraya bağımlı kurulum maliyeti ve zamanlaması toplu sıralama sorunu da denir (*batche sequencing problem*). Her kurulum maliyeti (*setup cost*) belli bir süre içinde yapılacak ve elde edilen maliyetler sıralanacaktır. Bu sıralamanın minimum maliyetinin hesaplanması için sayar satıcı (*traveling salesman*) yöntemi kullanılır (Haase, 1999).

TOPLAM AĞIRLIKLIL TAMAMLANMA SÜRESİ (The Total Weighted Completion Time-*Wspt*)

İlk hedef W_j ağırlık değerine göre belirlemektir. j işleminden hemen sonra K işleminin yapılacağı varsayımıyla ilk olarak W_j / P_j oranına göre işler sıralanır.

Komşu İkili Değişim (*adjacent pairwise interchange*) kuralına göre bu şart mutlaka olmalıdır

$$\frac{w_j}{p_j} < \frac{w_k}{p_k}$$

Bu orantı ile yeni bir dizi yapılacaktır ki bu dizi S' diye adlandırılır.

Eğer K işlemi J den sonra S dizisinde sıralanırsa değişiklikten toplam bitiş zamanı etkilenmez.

Genellikle bu problemleri (*polynomial time*) algoritmasıyla çözmeye çalışılır. Bu algorithmada işleri 2 dizi halinde, birinci zincir bitip sonra ikinci zincirin başlaması kuralına bağlıdır.

$$\begin{aligned} 1 &\rightarrow 2 \rightarrow \dots \rightarrow k \\ K+1 &\rightarrow k+2 \rightarrow \dots \rightarrow n \end{aligned}$$

Bu tip problemler NP–Hard diye adlanır. Eğer bütün işler sıfır zamanında yapılmaya hazırsa o zaman primitif sürümü (*preemptive version*) WSPT yöntemiyle formüle edebilir.

ÖNCE AĞIRLIKLİ İNDİRİMLİ KISA İŞLEM SÜRESİ (WDSPT) (the Weighted Discounted Shortest Processing Time first)

Eğer j işlemi t zamanında başlarsa ve S' sıralamasında K ve j yer değiştirirse tüm işte hiç bir değişik olmaz (Pinedo, 2008).

MAKSİMUM GECİKME (The Maximum Lateness)

Pinedo (2008), maksimum gecikme problemini maksimum gecikme zamanına göre sıralanarak çözüldüğünü ve bitiş tarihine (*due date*) bağlı olmak üzere, bu problem backward dynamic programıyla çözülebildiğini belirtmiştir.

J tüm işlemlerin zamanlamasıdır, böyle durumlarda $h_j = C_j - d_j$ ve ilk en erken bitiş tarihli ürün sıralaması (*earliest due date first*) (EDD) yoluyla *Branch and Bound* kullanarak çözüm bulunabilir.

GECİKMiŞ İŞLERİN SAYISI (The Number Of Tardy Jobs)

Pinedo'ya (2008) göre her birimin gecikme cezası (*unit penalty*)($\sum U_j$) önem taşıyan konulardan biridir ve geriye dönüş (*forward*) algoritmalar yardımıyla hesaplanır.

Algoritma n sayıda (*toplam ürün sayısı*) tekrarla yapılabilir. Bitiş tarihi (*due date*) oranına bağlı olarak her zaman diliminde yapılacak olan işler artabilir.

Eğer en uzun işlem süresine sahip K işlemi biliniyorsa en uzun işlem süresi (*longest processing time*) L olarak adlandırılacaktır. J grup işler (yapılabilir işler) kabul edilip EDD yöntemiyle bitiş tarihleri (*due date*) bulunur. Bitiş tarihi konularında çoğunlukla sırt çantası (*knapsack*) yöntemi kullanılır. İşlerin işlem süreleri (*processing time*) işlerin boyutlarıyla ve ağırlıklara eşdeğerdir (*equivalent*). WSPT kullanarak W_j / P_j işleri bir dizi haline getirilir.

TOPLAM GECİKME - DİNAMİK PROGRAMLAMA (The Total Tardiness – Dynamic Programming)

Bu problem sadece NP-hard yöntem ile polinom zaman algoritması (*polynomial time algorithm*) esaslı dinamik (*dynamic*) bir programlamadır.

$$p_j \leq p_k \quad \text{ve} \quad d_j \leq d_k$$

Eğer bu şartlar sağlanırsa optimal bir dizi elde ederiz. j işlemi k işleminden önce yapılmaktadır.

Her zaman iki tür sonuçla karşılaşılır; ilki Baskın Sonuç (*dominance result*) diğeri ise Eliminasyon Kriter (*elimination criterion*). Sadece önemli olanlar elde kalsın diye gerekli olmayanlar birer birer elenecektir (Pinedo, 2008).

3 KURULUM ZAMANINA DAYALI SIRALAMA LİTERATÜR İNCELEMESİ

Üretim yöneticileri tarafından genellikle dikkate alınmayan kurulum zamanı ve maliyeti konusunun nasıl çalışıldığı literatürde araştırılmıştır. Bu çalışma kapsamında yapılacak olan uygulama ile literatürdeki teorik ve uygulamalı araştırmalar arasında benzerlik aranmış veya benzetim yapılmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmada kurulum zamanı ve maliyeti üzerine bir problem çözüleceğinden sadece kurulum zamanı dayalı sıralama çizelgeleme problemlerine bakılmıştır.

3.1 SIRALAMA VE KURULUM ZAMANLI ÇİZELGELEME

Allahverdi (2006) kurulum maliyetli çizelgeleme konusu üzerine artan ilgi ve son yıllarda yazılan çok sayıdaki makale üzerine kapsamlı bir inceleme yapmıştır. Çoğu araştırma birbirlerinden bağımsız şekilde ve hatta bazen de aynı teknikleri geliştirerek aynı problem üzerine yoğunlaşmıştır. bu problemin öbekleme ve öbekleme'siz, sıralamaya bağlı ve sıralamadan bağımsız kurulum zamanları gibi değişik şartları araştıran versiyonları gözardı etmiştir.

Allahverdi, kurulum zamanlı çizelgeleme üzerine 1999'dan sonra ortaya çıkan 300'den fazla makalenin incelendiği çalışmada yılda ortalama, 40'dan fazla makale literatüre eklendiği tespit etmiştir. Yaptığı araştırmalara göre son 6 yılda 190 makale ile Kurulum zamanlı çizelgeleme üzerine ciddi şekilde artan bir ilgi vardır.

Bu araştırma literatürü kurulum zamanına göre; (1) tek makine, paralel makineler, akım atölyeleri, iş atölyeleri, açık atölyeler ve diğerleri olmak üzere atölye çevresi, (2) yığın ve yığın olmayan kurulum zamanları (maliyetleri), (3) sıra bağımlı ve sıra bağımsız kurulum zamanları (maliyetleri) ve (4) iş ve yığın kullanılabilirlik modelleri

olarak sınıflandırmıştır. Tek makine, paralel makine, akım atölyesi, iş atölyesi ve açık atölye konuları sırayla 80, 70, 100, 20 ve 10 makale ile ele alınmıştır. Tek makine problemleri makalelerinin $3/4$ ' ü yığın kurulum zamanları ile ele alırken sadece $1/4$ ' ü yığın olmayan kurulum zamanları ile ilgilenmiştir. Öte yandan diğer iş atölyeleri için trend bu şekilde değildir. Örneğin, paralel makine olaylarında makalelerdeki ağırlık yığın olmayan kurulum zamanlarındadır. Dahası, akım iş atölyeleri ile ilgili makalelerin $2/3$ ü yığın olmayan kurulum zamanları üzerinedir. Makalelerin büyük çoğunluğu sıra bağımsız kurulum zamanları üzerinedir; çünkü sıra bağımlı kurulum zamanları ile çalışma yapmak daha zordur (Allahverdi, 2006).

Genel çözüm metotları dal ve sınır algoritmaları, matematiksel programlama, dinamik programlama, hōristik ve meta-hōristiklerdir. Meta-hōristik metotlar arasında genetik algoritmalar yaklaşık 35 makalede kullanılmış bunların yarısı da tabu araştırması şeklindedir. Benzetimli tavlama da bazı makalelerde kullanılmış fakat tabu araştırmasından daha az sayıdadır. Az sayıda makalede karınca kolonisi algoritması kullanılmışken sadece bir makalede de sürü zekâsı algoritması kullanılmıştır. Bu hōristiklerin performansı bir ölçüde problem örneklerinin büyüklükleri ve karakterleri kadar farklı parametrelere ve operatörlere de bağlıdır. Bazı durumlarda, bölgesel araştırma metotları daha iyi sonuç verirken bazı durumlarda hibrit meta-hōristik metotlar daha iyi sonuç vermektedir. Bu da değişik metotların farklı üstünlükleri ve zayıflıkları olduğunu göstermektedir (Allahverdi, 2006).

Problemlerin bazı sınıfları ve çözüm metotları literatürde daha az ilgi görmüştür.

Şekil 4-Çözüm Yöntemleri

Sorunları ve yöntemleri daha az çalışılan sınıfları.

Sorunlar	Sınırlı Çalışmanın Nedenleri
Kurulum maliyetleri ile ilgili sorunlar	Zamanın azaltılması genellikle maliyet azaltma anlamına gelir
Çoklu-makine sorunları	Zorluk, tek bir darboğaz makineye basitleştirilmesi
Çoklu kriter sorunları	Tek bir kriter den daha zordur
Toplu uygunluk modeli altında birden fazla aile ile ilgili sorunlar	Modelin yenilenmesi ve bildirilmemiş uygulamaları
Sınırlı parti büyüklükleri ile ilgili problemler	Optimal bir çözümün karmaşık yapısı
Stokastik sorunları	Deterministik sayıcıdan daha zordur
Yöntemler	Sınırlı Çalışmanın Nedenleri
Sezgisel Performans garantileri	İyi alt sınırların olmaması
Online algoritmalar	Çoğu durumda kötü bir rekabet oranı
Karınca Kolonileri Metasezgiseli	Nadir durumlarda iyi performans
Parçacık sürü optimizasyonu metasezgiseli	Nadir durumlarda iyi performans

Kaynak: Allahverdi, 2006,1022

Kurulum zamanlı ya da maliyetli çizelgelemede yani trendler kaynak bağımlı iş ve kurulum parametreleri, iş ve kurulum bozulmaları ve iş veya yığın taşımalarını da kapsar. Böyle modelleri ile ilgili uygulamalar tedarik zinciri yönetimi ve lojistikte görülmektedir.

Allahverdi, (2006) çalışmalarında akım atölyesi, iş atölyesi ve açık atölye problemleri için araştırılan makalelerin büyük çoğunluğu tamamlama süresi odaklı

performans ölçümleri üzerine yoğunlaşmıştır. Dolayısıyla, bu problemlerle ilişkili gelecekteki araştırmalar bitiş tarihi bazlı performans ölçümleri üzerine odaklanacaktır.

Sadece birkaç makale çok kriterli kurulum zamanlı çizelgeleme problemleri üzerinde durmuştur. Çoğu uygulama problemleri hem kurulum zamanlarını hem de çoklu hedefleri kapsadığı için kurulum zamanlı çizelgeleme problemleri ile ilgili gelecekteki araştırmaların çoklu hedefleri optimize etmesi daha cazip ve ilginç olacaktır (Allahverdi, 2006).

Stokastik çizelgeleme problemlerinde, bazı iş karakteristiklerinin rassal değişkenler ve/veya makineler ile modellendiği işlerin bölünmüş kurulum zamanı gibi bazı rassal arızalara maruz kalabildiği birkaç sayıdaki makalede tespit edilmiştir. Dolayısıyla, araştırmaların yönü ile ilgili diğer bir önemli ayrıntı da bölünmüş kurulum zamanlarıdır (Allahverdi, 2006).

Vaka çalışmalarının sayısında son yıllarda artış olmuştur. Çoğu üretim planlama aktiviteleri ile sınırlıdır. Ancak, Allahverdi 'nin görüşüne göre, kurulum/maliyet çizelgeleme modelleri lojistik, telekomünikasyon, elektronik müzayede ve ticaret ve yüksek hızlı paralel hesaplamalar alanlarında güçlü bir potansiyele sahiptir (Allahverdi, 2006).

Son olarak, eğer kurulum zamanlı veya maliyetli çizelgeleme üzerine yayınlar bu hızla devam edecek olursa gelecekte bereketli bir alan olacaktır, gelecekteki araştırmalar ya atölye çevresi gibi bu problemlerin belli sınıflarına ya da spesifik çözüm metotlarına odaklanacaktır (Allahverdi, 2006).

Ji-Bo Wang (2008), yapılan çalışmada tek makineli çizelgeleme sorunlarını p-s-d kuruluş zamanı ve zaman bağlı öğrenme etkisi ile incelemiştir. Üretim süresi minimizasyon probleminin, toplam tamamlama zamanı minimizasyon probleminin ve kuadratik iş tamamlama süreleri toplamının minimize edilmesi probleminin SPT

kuralıyla çözülebileceğini göstermektedir. Ayrıca, toplam ağırlıklı tamamlama zamanının minimize edilmesi probleminin ve maksimum gecikme zamanı minimize edilmesi probleminin bazı özel durumlarda polinomial zaman algoritması ile çözülebileceğini göstermektedir. Belirtmek gerekir ki toplam ağırlıklı tamamlama zamanı minimize edilmesi problemi ve maksimum gecikmenin minimize edilmesi problemi ile ilgili hesapsal karmaşıklıklar çözülmüş değildir. Gelecekteki araştırmalar bu problemler üzerine odaklanabilir veya öğrenme etkisi ile ilgili daha genel ve pratik modeller öne sürülebilir (Wang, 2008).

Schaller'ın (2007) çalışmasında tek makine erken/geç problemi ele alınmaktadır. Bu çalışmada, kısmi sıralamaya dahil edilmemiş işler için zaman çizelgesi algoritmasını alt sınırla bütünleştirme işlemini anlatmaktadır. Ayrıca, daha önce aynı problem için geliştirilen iki alt sınırın nasıl iyileştirileceği de gösterilmektedir. Alt sınırlar değişik büyüklükteki problemler ve son tarihlerin dağılımı için bulunan parametreler üzerinde test edilmiştir. Sonuçlar, alt sınırların dal ve sınır algoritmasının verimliliğini arttırabildiğini göstermektedir.

Baptiste ve Pape (2005) kurulum kısıtlıkları altında düzenli hedef işlevini en aza indirmek amacıyla tek makinenin çizelgelemesi için yaptığı çalışmada aşağıdaki kısıtlarla birlikte bir makine çizelgeleme sorunu için Dal ve Sınır işlemi sunmuştur:

- Çıkış tarihleri ve son başvuru tarihleri.
- Faaliyetlerin tamamlanma sürelerine bağlı maliyetler.
- Bazı işlerin “yerine getirilmemiş” olarak bırakılma ihtimalleri.
- Kurulum süreleri ve maliyetleri.

Baptiste ve Pape bildirdiği kadarıyla bu çalışma, bu tür genel bir sorun için yapılan ilk tam işlemdir.

Tek makine çizelgeleme problemleri üzerinde Schaller (2004) yaptığı bir çalışmada, iş erkenliği miktarı ve iş gecikmesinin karesini en aza indirmeye amaçlayan tek makine çizelgeleme sorununu çözmek için işlemler sunmaktadır.

Boş süreyi sıraya dahil eden ve böylece amacı en aza indiren işlem sunulmaktadır. Daha sonra bu işlemin, sorun için uygun bir sıra bulmak üzere dal ve sınır işlemi içinde nasıl kullanılabileceği gösterilmektedir. Ayrıca, sorun için etkin buluşsal işlemler önerilmektedir.

Kurulum süreleri, çizelgeleme sorunlarında karşılaşılan en yaygın güçlüklerden biridir ve cihazları, biçimleri değiştirme ile ilgilidir. Bu konu üzerinde Noivo ve Lourenço (2005) yaptıkları çalışmada ele alınan ilk sorun, çıkış tarihleri, sıra bağımlı kurulum süreleri ve teslim süreleri ile tek makine çizelgelemesidir. Performans ölçümü azami gecikmedir.

İkinci sorun ise amacın üretim süresini en aza indirmek olduğu sıra bağımlı kurulum süreleri bulunan sipariş çizelgeleme sorunudur. Her iki sorun için de birçok görev dağıtım öncelik kuralları sunulmuştur ve ardından bunların performanslarını ele alınmıştır.

Çizelgeleme çalışmaları için temel bir konu olan sıra bağımlı kurulum süreleri bulunan tek makine gecikme sorununa Chingying ve arkadaşları (2009) çalışmalarında böyle bir problemin NP-problem sınıfı zorluğunda olduğunu ve optimal değerinin bulunmasının çok güç olduğunu anlatmaktadırlar. Bu sorunun bilgisayarlı karmaşıklığından yola çıkarak bunu çözmek için basit bir yinelenen doyumsuz (*IG-iterated greedy*) buluşsal yöntem önerilmektedir. Önerilen IG buluşsal yöntemini doğrulamak ve geçerli kılmak için ağırlıklı ve ağırlıksız gecikme sorunlarında bulunan üç denektaşı sorunu üzerinde bilgisayarlı deneyler gerçekleştirilmektedir. Deney sorunları açıkça, aynı denektaşı örneklerindeki en gelişmiş meta buluşsal yöntemlerle karşılaştırıldığında önerilen IG buluşsal yöntemin oldukça verimli olduğunu göstermektedir. Hem çözüm kalitesi hem de bilgisayarlı masraf açısından bu çalışma, sıra bağımlı kurulum süreleri bulunan tek makine toplam gecikme sorunları için etkili bir yaklaşım geliştirmektedir.

Tek makine üzerindeki diğer çalışmalardan Eren (2007) sıra bağımlı kurulum süreleri bulunan çok kriterli çizelgeleme sorunu ele almıştır. Bu sorun için tamsayı programlama modeli önermektedir. Hedeflenen işlev, toplam tamamlama, azami gecikme ve azami erkenlik süresinin ağırlıklı ortalamasıdır. Eren çalışma sonrasında sıra bağımlı kurulum süreleri ve birden fazla makine durumları ile yapılan diğer performans ölçümleri gelecekteki araştırmalar için gerçekleştirilebilir olduğunu belirtmiştir.

Probleme dinamik yöntemle yaklaşanlardan Ung (2010) sıra bağımlı kurulum süreleri bulunana iki makineli akış tipi işliğin sıralanması durumunu bir simülasyon çalışmasıyla önerilen algoritmanın etkililiği değerlendirmektedir. Önerilen dinamik programlama algoritmasının makul bir bilgisayarlı süre içerisinde büyük çaplı sorunlara çözüm bulamadığı görülmüştür. Küçük çaplı sorunları uygun çözümler dinamik programlamayla bulunmaktadır.

Zdrzalka (1996) yaptığı bir çalışmada çizelgelenecek iş kümesinin iki farklı ürün grubundan iki ardışık olarak çizelgelenen işler arasında makine kurulumu gerektiren iş gruplarından oluştuğu, teslim süreleri bulunan tek makine çizelgeleme sorununu ele almıştır. Kurulum süresi sadece bir sonraki adımda sıralanacak ürün grubuna bağlıdır ve amaç üretim süresini en aza indirmektir. Her bir ürün grubunun tüm işlerinin bitişik olarak çizelgelenmesi gerektiği grup çizelgeleme sorunu tabir edilen durumda genişletilmiş Jackson kuralının genellemesi uygulanır ve bunun özellikleri incelenir. Bunun sonucunda, çok kısa sürede yüzlerce işin bulunduğu örnek sorunları çözme yeterliliğine sahip dal ve sınır algoritması geliştirilir. Bilgisayarlı deneyler bildirilir. Partilere bölünebilen ürün gruplarıyla ilgili sorunlar için birçok buluşsal yöntemler önerilmekte ve incelenmektedir.

Ürün gruplarının kurulumları üzerine çalışanlardan Schaller ve Gupta (2008), toplam erkenlik ve gecikmeyi en aza indirmek için ürün gruplarının kurulumlarıyla tek makine çizelgeleme sorununu ele almaktadır. Grup teknoloji varsayımıyla ya da

bu olmadan, sorunu en uygun şekilde çözmek için dal ve sınır algoritmaları önerilmekte ve bunlar değerlendirilmektedir. Ancak, bu işlemin gerektirdiği CPU süresi sorun büyüklüğü arttıkça hızla artmaktadır. Bu yüzden, önerilen dal ve sınır algoritması özellikle de grup teknoloji varsayımı olmadan büyük çaplı sorunları çözmede kullanışsız olacaktır. Sorun NP-zorluk açısından değerlendirilmelidir. Deneyimsel değerlendirmelerin sonuçları, önerilen buluşsal algoritmasının, grup teknolojisi varsayımı bulunan dal ve sınır algoritmasından sorun için uygun işlemin daha iyi bir kestirimi olduğunu göstermektedir.

Bu deneyimsel soruşturmaların sonuçları ayrıca toplam erkenlik ve gecikmeyi azaltmak için ürün gruplarının çoklu partilere bölmenin daha faydalı olduğunu göstermiştir; çünkü bu durumda son tarihler daha az sıkı olur ve son tarihlerin aralığı, problem büyüklüğü ve aile başına iş sayısı artar ve ürün gruplarının kurulumları azalır.

Sinir ağı yaklaşımı araştırmalarından El-Bouri ve diğerlerinin (2000) yaptığı bir çalışmada bu yönteme dayanan tek makine iş sıralama sorunları hususunda bir yaklaşım sunmaktadır. Bu yaklaşımda problem, ilk önce kategori sayılarından biri içerisine, bir sinir ağı tarafından sınıflandırılmaktadır. Daha sonra, belli bir kategori için özelleştirilen başka bir sinir ağı, verilen görevi daha iyi gerçekleştirmeyi amaçlayan bir iş üretmek için daha önceden 'öğrenilen' bir ilişkiyi uygulamaktadır. Bu ağlarda öğrenme, ağın bir örnek problem kümesi ve bunların çözümlerine maruz bırakıldığı bir öğrenme sürecinde gerçekleşmektedir. Böylelikle eğitim gören ağ, verilen örnekler arasındaki baskın ilişkileri ve istenilen amacı en uygun şekilde karşılayan teslim sıralamalarını öğrenir. Bu yöntem ve bunun uygulanması, sınırlı üssel davranış ortaya koyan maliyet işlevini en aza indiren varsayımsal amacın yanı sıra daha yaygın birçok sıralama amaçları için açıklanmaktadır.

4 PROBLEM TANIMI ve ÇÖZÜMÜ

Bu bölümde genel olarak problem tanılmaktadır, Problemin neden önemli olduğuna bakılmaktadır, bu problem çözmek için nasıl bir yol takip edildiği anlatılmaktadır.

4.1 PROBLEM TANIMI

Bu bölümde problemin ne olduğunu ve nerden ortaya çıktığı anlatılmaktadır.

4.1.1 Şirket Tanıtımı

POWDER COLORS KOSER İran'da faaliyet gösteren bir alüminyum fabrikasıdır. Bu fabrikada dökümden, pres ve boyaya kadar bütün süreçlerde üretim yapılmaktadır. Üretim süreci boksit ile başlar ve rafineriler tarafından külçelere (*ingot*) dönüştürülür, üretim ise siparişlere göre yapılır. Fabrikada günde 10 ton üzerinde üretim yapılmaktadır. Ancak kaynakları verimli kullanması halinde üretim kapasitesini arttırması mümkündür. Alüminyum metali günümüzde önemli metallerden biri haline gelmiştir; çünkü hem güçlü hem de ince bir metal ve üretime geri dönüşü de kolaydır. Alüminyum 19. yüz yılın ikinci yarısından beri endüstriyel çapta üretilen çok genç bir metaldir.

“Alüminyum sektöründe iki farklı hammadde bulunur :

“primary” ve “secondary”,

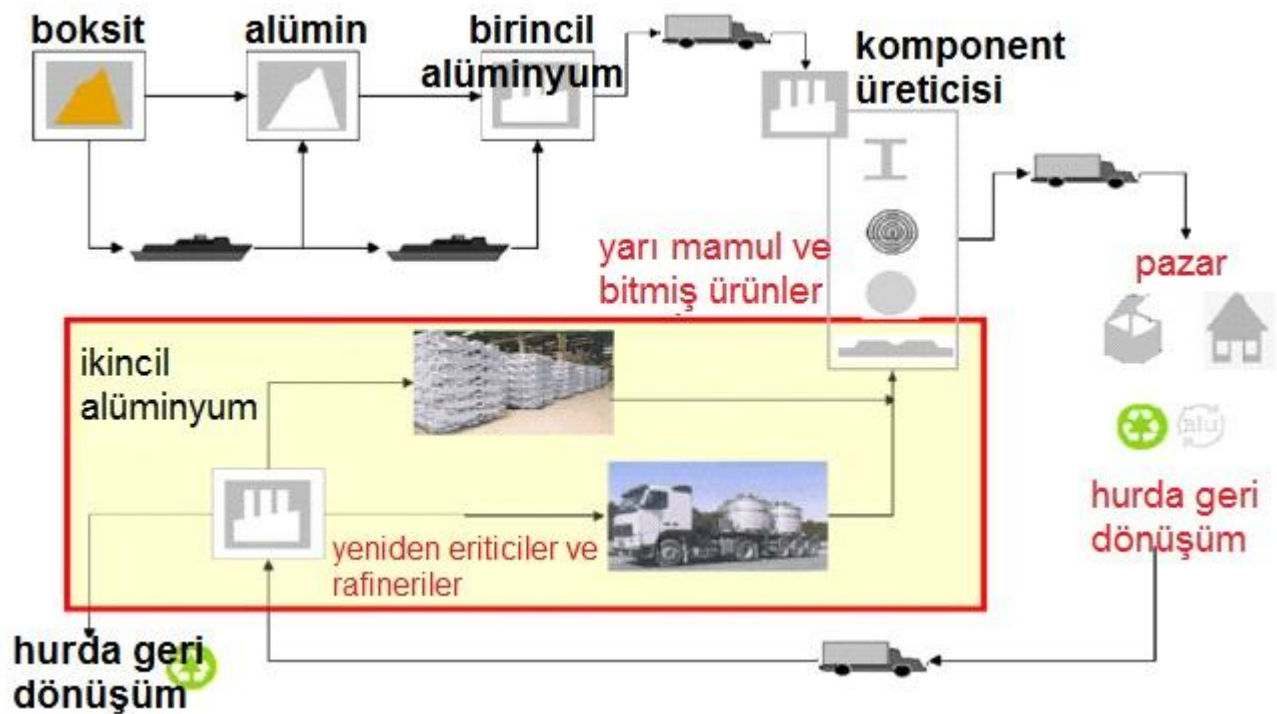
Primary: *Doğadan elde edilen alüminyum madeninin yoğun elektrik enerjisi kullanılarak saf alüminyuma dönüştürülmüş halidir. Bu yolla elde edilen alüminyum yüksek maliyetlidir.*

Secondary: *Hammadde ve enerji tasarruf sağlayan, üretim süreçlerinin hurda (scraps) ve bitkin ürün(exhausted product) geri dönüşümü ile elde edilen bir metal alaşımıdır(alloy).” (Ferretti, 2006)*

Ferretti, (2006) alüminyumun hayat döngüsünü anlatırken pek çok kez tekrar tekrar kullanılabilir bir metal olduğuna işaret etmektedir. Alüminyumun geri dönüştürülebilir olması büyük ekonomik yarar sağlamaktadır. Bu sebeple alüminyuma yeşil (*green*) metal denir.

Geleneksel olarak ikincil alüminyum sanayisi, arıtıcı (*refiners*) ve eritici (*remelters*) olarak tanımlanmaktadır. Bu arıtma ve eritme işlemi için uygun hammadde olarak hurdalar ve rafineriler alaşımları kullanılır.

Şekil 5-Alüminyum Üretim Süreci



Kaynak ; Ferretti, (2006)

Genellikle fırınlarda 220 kilovatsaat enerji harcanarak arıtılan alüminyum potalarla (*ladles*) kalıplara dokülür. Bunlara kütük denilir. Şekil-7’de bir kütüğün şekli gösterilmektedir.

Şekil 6 - Kütük



4.1.2 Ekstrüzyon

Malzemenin bir kuvvet tatbiki ile bir kalıp içerisinde geçirilerek boyu kesitine göre büyük olan yarı ürünlerin elde edilmesi işlemidir. Ekstrüzyon yöntemiyle profil, boru, çubuk, lama vb. malzemeler üretilir.

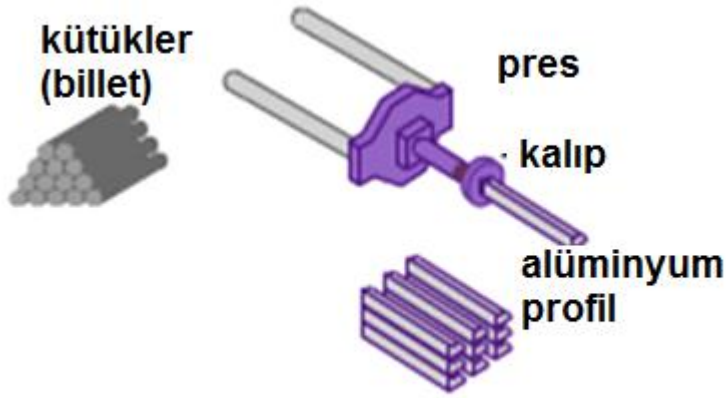
Alüminyum ekstrüzyonu sıcak olarak yapılır; kütükler $420-470^{\circ}\text{C}$ ısıtılır, kalıplar 450°C ısıtılmış olmalıdır ve preslen çıkan profilin sıcaklığı 500°C nin üzerindedir.

Ekstrüzyon, aynı zamanda bir kesit düşürme işlemidir. Alüminyum kütükin kesiti, alüminyum profilin kesitine dönüştürülmektedir. Bu nedenle kullanılan kütükin kesiti, üretilcek profilin kesitine yüzey ölçümü olarak ne kadar yakın ise işlem o kadar kolay olur.

Ekstrüzyon presinden çıkan profiller soğutulur, soğuk germe işlemi yapılır ve istenen boyda kesilir. Daha sonra ısıtma işlemi yapılır. Hangi ölçüdeki profillerin, şekil ve ölçü toleranslarına sahip olacağı çeşitli standartlarla belirtilmiştir.

Standartlarda gösterilen ölçülerin dışında üretim yapmak, müşteri ile üretici arasındaki anlaşmaya bağlıdır. Ancak, standartlardan çok daha dar toleranslar ile profil üretmenin maliyetinin her zaman normalden çok daha fazla olduğu unutulmamalıdır.

Şekil 7-Pres Makinesi



4.1.3 Kalıplar

Ekstrüzyon yönteminin önemli parametrelerinden biride kalıp tasarımıdır.

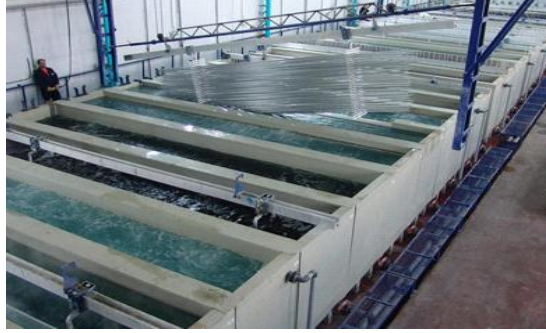
Kalıp tasarımı noktasında dikkat edilmesi gereken noktalar ;

- Çıkış tablası uzunluğu
- Gerdirme gücü
- Pres kapasitesi
- Kalıbın çevresel çember çapı
- Kullanılan hammaddedir.

Hammaddenin 565° c de 6 saat süre ile homojenasyon (*rafiner*) işlemine tabii tutularak, magnezyum ve silisyumun difüzyonu sayesinde yapıdaki segragasyonu önlenmektedir .

Eloksal tesisleri, 7 metrelik havuzlarda alüminyum üzerinde mat, polisajlı (parlak), satinajlı (krom efektli) gibi uygulamalar yapılır. Sonrasında boyalar alüminyuma pürüzsüz ve homojen biçimde uygulanabilmesi için temizlenir.

Şekil 8- Alüminyum yıkama havuzu,



Boyama işleminden sonra bunları değişik sayılarda ambalaj yaparlar ve kamyonlarla müşteriye aktarılır.

Şekil 9-Ürün ambalajlama hattı



Çalışmaya konu olan işletme dökümden boyamaya kadar pek çok işlemin bir arada yapıldığı bir alüminyum fabrikasıdır. Bu çalışma, külçe alüminyumun son şeklinin verildiği pres makinesi bölümünün zaman çizelgelemesi hakkında yapılmıştır. Pres

makinesi döküm bölümünden gelen silindir şeklinde olan kütükleri kalıplardan geçirip 6 metrelik nihai ürünler haline getirmektedir.

Firma, kendi atölyesinde eritip oluşturduğu alüminyum kalıpları (kütük) üretilmek istenen ürün tipine göre presleyerek standart 6 metre uzunluğunda alüminyum profiller oluşturmaktadır.

Firmanın üretim yöneticisi, siparişleri geciktirmemek amacıyla üretim programı yapmaktadır. Üretim yöneticisi kurulum maliyetini ihmal ederek gecikme cezasını minimize etmeye odaklanmaktadır.

Bu çalışmada ihmal edilen kurulum maliyetinin etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

4.2 PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

Çalışmada kullanılacak olan veriler firmanın bir yıllık sipariş verileri esas alınarak hazırlanmıştır. Çok fazla ürün olması ve sipariş miktarlarının önceden bilinmemesi nedeniyle ürünleri ABC yöntemiyle gruplara ayrılmıştır.

ABC yöntemiyle gruplandırılan bir yıllık sipariş verilerini daha kolay hesaplama yapmak için Poisson dağılımı kullanarak veriler tekrar oluşturulmuştur.

4.2.1 VERİLERİN OLUŞTURULMASI

Bu bölümde verilerin hangi kaynaklardan bulunduğu ve bu bilgileri toplamakta nasıl bir kısıtların olduğunu anlatılmaktadır.

4.2.1.1 Problemin Kısıtları

Üretimde kullanılacak olan alüminyum kütük 35 kg ağırlığında, 60 cm boyunda silindirik bir yapı göstermektedir. Kütüğün pres makinesine girmeden önce 220 derecelik fırında 1 saat süreyle ısınması gerekmektedir. Pres makinesinin yapısı gereği 35 kg olan kütüklerin 32 kg'ı ürün haline gelmektedir. 3 kg lık kısım makine içinde ürüne dönüştürülemeyecek pozisyonda kalmaktadır.

Kütükler bir bütün olarak pres makinesinde işlenmektedir. Bu nedenle üretim esnasında sipariş için gerekli olan ürün üretilmiş olsa bile üretim kesilip, başka bir ürünü üretmek için aynı kütük kullanılmaktadır. Makineye giren kütüğün sonuna kadar kullanılması gerekmektedir. Sipariştan fazla üretim yapılırsa fazla kısım bir sonraki siparişi karşılamak için depoya kaldırılır. Bu durumda depoya kaldırılacak fazla üretilmiş ürünün standart uzunluk olan 6 metrelik boyutlarda kesilmiş olması gerekir. Kesme işleminden sonra standart uzunluğu karşılamayan ürünler geri dönüşüm için döküm atölyesine gönderilir.

Ürünlerin farklı şekiller almasını sağlayan kalıplar daire şeklindedir. Bir pres işleminde bazı kalıplarda bir ürün elde edilirken bazı kalıplarda ise birden fazla ürün elde edilebilmektedir. Bu sayı kalıplarda var olan profil boşluğu sayısıyla doğru orantılıdır.

Kalıp değişimi standart 30 dakikadır. Bu süre içinde üretim yapılmadığı için kurulum zamanı olarak hesaplamaya dahil edilmektedir. Her kalıp değişiminden sonra üretilen ilk 4 metrelik ürün standartlara uymadığı için atık kabul edilmektedir. Bu durum kalıp değiştirme sayısının azaltılmasıyla sadece zaman tasarrufu değil aynı zamanda hammadde tasarrufu sağlanacağını kanıtlar.

Bir ürünün üretimi bitmiş ve sıradaki ürünün üretimi için gerekli olan kalıp ve kütükler hazır değilse işletme hazırlıkların tamamlanmasına kadar beklemek, üretimi durdurmak zorunda kalmaktadır. Bu durum zaman çizelgelemesinin önemini ortaya koymaktadır.

Ürünlerin sipariş geldiği andan, 7 gün içinde teslim edilmesi gerekmektedir. Oluşan gecikmelerde kilogram başına 5 cent gecikme cezası ödenmesi gerekmektedir. Bu durum zamanında teslimatın önemini ortaya koymaktadır.

Araştırmaya konu olan fabrika üretim müdürleri sadece siparişlerin zamanında teslimatına odaklanmaktadırlar. Çalışmada üretim mekanizmasında kurulum zamanının önemini ortaya koyarak gecikmeleri ve kurulum zamanını en aza indirgeyerek karlılığın arttırılabileceği ispatlanmaya çalışılmıştır.

Çizelgeleme, belirli işleri başarıyla sonuçlandırmak üzere teknik üretim kısıtlarını hesaba katarak kaynakların işlere bir zaman periyodunda tahsis edilmesidir.

Literatürdeki çalışmalarda ürünlerin sıralanması sadece o ürünün üretimi için gerekli olan zamana göre yapılmıştır. Birinci işlemin işlem süresi ikinci işlem ile toplanarak n tane işin toplam ne kadar zaman alacağı belirlenmiştir. Bu süre teslim tarihleriyle karşılaştırılmış ve teslim tarihini karşılamak için farklı sıralamalar yapılmıştır.

Bu çalışmada ise ürün üretim süreleri 30 dakikalık kurulum zamanı dikkate alınarak belirlenmiştir. Üretime başlanması için tüm siparişlerin gelmesinin beklenilmemesi sebebiyle birinci ürünün üretim süresi ikinci ürünle toplanmamıştır. Siparişler her an gelebildiği için sıralama her siparişle yeniden yapılmaktadır. Gelen her siparişle birlikte mevcut üretim listesindeki ürünlerle karşılaştırma yapılarak yeni liste belirlenmektedir.

Yeni liste belirlenirken en fazla üretim süresine sahip ürüne öncelik tanınmaktadır; çünkü mevcut listedeki az miktardaki ürünler geçen süre içerisinde gelen siparişlerle büyük miktarlara ulaşır ve az sayıda kalıp değiştirme ile tüm siparişler karşılanabilir.

4.2.1.2 ABC Analizi

Nahmias, (2004) ABC analizine dayalı sıralanması şöyle tanımlanmaktadır:

- A EŞYALAR: çok sıkı kontrol ve kesin kayıtlar
- B EŞYALAR: daha sıkı kontrollü ve iyi kayıtlar
- C EŞYALAR: basit kontroller mümkün ve minimal kayıtları

ABC analizi de farklı yönetim ve kontrol gerektirir. Stokun farklı kategorilerde belirlenmesi için bir mekanizma sağlarken toplam stok maliyeti üzerinde önemli bir etkisi olacaktır. Öğeleri tanımlamak için bir mekanizma sağlar. ABC analizi bir organizasyonun stoklarının eşit öneme sahip olmadığını göstermektedir. Böylece, envanter tahmini önem sırasına göre üç kategoride (A, B ve C) gruplanır.

'A' öğeleri bir organizasyon için çok önemlidir; çünkü bu 'A' kalemlerin değeri yüksek olduğu için, sık sık değer analizi gereklidir. 'B' grubu ürünler 'A' grubundan daha az, 'C' grubundan daha önemli ürünlerden oluşur. 'C' öğeleri marjinal önemlidir.

Her bir sınıfı için bir sabit eşik değeri vardır, değişik oranda objektif kriterlere göre uygulanabilir.

'A' ürün grubunun değeri, yıllık tüketim değerinin % 70'ini oluştururken toplam ürünlerin % 20'sini bünyesinde barındırır.

'B' ürün grubunun değeri, yıllık tüketim değerinin % 25'ini oluştururken toplam ürünlerin % 30'unu bünyesinde barındırır.

'C' ürün grubunun değeri, yıllık tüketim değerinin % 5'ini oluştururken toplam ürünlerin % 50'sini bünyesinde barındırır.

Uygulamada ele alınan ürünler, ABC kuralını kullanarak birincil verilere göre yıllık toplam üretimin %70'ini oluşturması şartıyla seçilmiştir. Bu şartı sağlayan 13 ürün bulunmaktadır. Bu ürünlerin hammaddeleri aynı iken her birim ürünün şekil ve

ağırlığı farklıdır. Ürünlerin uzunlukları, şekil ve ağırlıklarından bağımsız, standart olarak 6 metredir.

4.2.1.3 Bileşik Poisson Talep Modeli (Compound Poisson Demand Pattern)

Springael, (2005) yazdığı makalede bir envanter deposunda stok miktarını optimal halde tutmak istemiştir. Bunun için gelen talep miktarlarını bileşik Poisson (*compound poisson*) dağılımı halinde tutarak tedarik süresini azaltmaya çalışmaktadırlar.

Stok tutma politikası: Ürünler satılıp raflar boşaldığı zaman merkez depodan hemen temin edilir.

Eğer talep stoktan daha fazla olursa karşılanamayan talep bir satış kaybı olarak görülür.

Her ürünü rafta saklamak 3 grup maliyete neden olur

- Ortalama stok tutma maliyetleri
- Sabit bir taşıma maliyeti
- Ortalama bir satış maliyetleri kaybı

Malzemenin her hareketi sabit maliyete neden olur.

Talep stokastik modellemesi müşterilerin arka arkaya mağaza ziyaretleri zamanı ve her ziyaretinde satılan ürün miktarı arasındaki rasgele bir değişkendir.

GomezDeniz, (2003) makalelerinde yeni bileşik negatif binom dağılımını $0 < p < 1$ negatif binom parametreleriyle karıştırıp ve bir birleşen hipergeometrik dağılımına göre dağıldığını belirtmiştir.

Klugmann (1998), Lemaire (1979) çalışmalarında Kasko Sigortasından ortamında negatif binom dağılımını bir Poisson ve bir gamma dağılımlarının bir karışımı olarak kullanmışlardır.

Dominey, (2003) Klasik tek dönem envanter modeli kulanmışlar ve dönemde müşteri siparişlerinin sayısı bilinen bir Poisson dağılımı ve bireysel müşteri sipariş boyutları bağımsız rassal değişken olarak belirlenmiştir.

İki değişik gider olabilir: 1- birim başına tatminsiz talep maliyeti. 2- birim başına stok maliyeti. Amaç bu 2 maliyeti en aza indirmektir.

4.2.1.4 Poisson Dağılımı, Olasılık Kuramı Ve İstatistik

Newbold'a (1995) göre Poisson bilim kollarında bir ayrık olasılık dağılımı olup belli bir sabit zaman birim aralığında meydana gelme sayısının olasılığını ifade eder. Bu zaman aralığında ortalama olay meydana gelme sayısının bilindiği ve herhangi bir olayla onu hemen takip eden olay arasındaki zaman farkının, önceki zaman farklarından bağımsız olduğu kabul edilir.

Poisson dağılımı çok kere belirli sabit zaman aralığı birimleri bulunan problemlere uygulanmakla beraber, diğer birimsel aralıklı problemlere de (yani birim uzaklık, alan veya hacim içeren problemlere de) başarı ile uygulanabilir.

Poisson dağılımının genel odaklandığı rassal değişken bir sayılabilen olaydır; bu olay belli bir sabit uzunlukta olan (genellikle zaman) aralıkta ayrık olarak ortaya çıkar ve bu aralıkta gözlenen olayların sayısı Poisson dağılım için rassal değişkendir. Bu sabit aralıkta ortaya çıkan olaylar sayısının beklenen değeri (ortaya çıkmanın ortalama sayısı) λ olarak sabittir ve bu ortalama değer aralık uzunluğuna orantılıdır (Newbold, 1995).

$$f(k, \lambda) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!}$$

Burada;

- e , doğal logaritmanın tabanı ($e = 2.71828...$);
- k , olasılığı fonksiyon ile verilmekte olan olayın ortaya çıkma sayısı;
- $k!$, k için faktöriyel;
- λ verilen sabit aralıkta ortaya çıkma sayısının beklenen değeri; bir pozitif gerçel sayıdır;

Bu k 'nin fonksiyonu Poisson dağılım için olasılık kütle fonksiyonu olur.

4.2.1.5 ABC ve Poisson'nun Uygulanması

Bu araştırma için fabrikanın bir senelik sipariş verilerinden @RISK programı kullanılarak Poisson yöntemiyle her üründen hangi zaman aralığında, ne kadar sipariş geldiğini tespit edilmeye çalışılmıştır, iki grup veri elde edilmiştir;

- Sipariş aralıkları
- Her siparişin miktarı

Yazılan simülasyon modelinde bu verileri kullanarak bir maliyet belirlenmeye çalışılacak ve bu maliyet fabrikanın yöntemiyle karşılaştırılmak suretiyle ne kadar tasarruf yapılabileceği tespit edilecektir.

İşletmenin bir ürün için 12 ay boyunca aldığı sipariş verilerini Poisson yöntemini kullanarak tek bir değere indirgenmiştir. Bu işlem tüm ürünler için tek tek uygulanmıştır. Daha sonra bulunan değerler her üründen günlük olarak gelen sipariş sayısının ve miktarının Poisson tektip (*poisson uniform*) dağılımı ile minimum ve maksimum değerleri belirlenmesinde kullanılmıştır. Elde edilen bilgiler Tablo-1'de gösterilmektedir.

Kullanılan verileri bütün ürünler için kullanılarak bir tablo oluşturulmaktadır.

Tablo 1-Verilerin Poisson Tektip Dağılımı Uygulanmış Hali

Ürün	İndex	Her Ürün İçin Günlük Gelebilecek Sipariş Sayısı		Her Ürün İçin Günlük Gelebilecek Sipariş Miktar	
		Minimum Sayı	Maximum Sayı	Minimum Miktar	Maximum Miktar
Ürün 1	0	0	9	0	14
Ürün 2	1	0	14	0	20
Ürün 3	2	0	8	0	27
Ürün 4	3	0	6	0	30
Ürün 5	4	0	13	0	40
Ürün 6	5	0	9	0	40
Ürün 7	6	0	6	0	100
Ürün 8	7	0	9	0	64
Ürün 9	8	0	12	0	58
Ürün 10	9	0	9	0	20
Ürün 11	10	0	6	0	26
Ürün 12	11	0	12	0	2
Ürün 13	12	0	8	0	66

Elde edilen verileri Python tabanlı modellenerek simülasyon yapılmıştır. Her yöntem için simülasyon 30 defa çalıştırılmıştır. Daha güvenilir sonuçlar elde etmek için tekrar sayısı artırılabilir ve optimale daha yakın bir sonuç elde edilebilir. Problem bir NP-Hard problemi olduğundan optimal tek bir çözüm bulunmamaktadır.

4.3 STANDART YÖNTEM İLE KURULUM MALİYETİ EKLENEREK PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

4.3.1 SPT (Shortest Processing Time)

Bu yöntemde gelen siparişler direk işlem zamanına göre sıralanır ve üretime geçirilir. Başka hiç bir veriye bakılmaksızın sadece normal bir sıralama yapılmıştır. Buna göre 30 günlük ortalaması 30 kere yapıp şöyle bir sonuç elde edilmiştir.

SPT		
Kurulum Maliyeti \$	Gecikme \$	Toplam Maliyet \$
7831	2.70	7833.8

Bu yöntemden elde edilen sonuçlara göre gecikme çok az olmaktadır. Bunun yanı sıra her sipariş için kalıp değiştirme ve kurulum maliyetlerine katlanıldığı için çok yüksek kurulum maliyeti ile karşılaşılabilir.

4.3.2 LPT (Longest Processing Time)

Gelen siparişler büyükten küçüğe işlem zamanı sıralaması yapılarak üretime geçildiği varsayılmıştır.

LPT		
Kurulum Maliyeti \$	Gecikme \$	Toplam Maliyet \$
509	6.62	515.18

Gelen büyük miktarda sipariş ilk yapılmış ve küçük olan siparişlerde zamanla büyüyüp üretime geçilmiştir böylece gecikme artabilir ama kurulum daha az yapıldığı için yüksek oranda tasarruf sağlanabilir.

Şimdi bu yöntemleri daha uygun yapmaya ve bazı şartlar eklenerek daha iyi sonuçlar aranmıştır.

4.4 PUANLAMA DEĞERİYLE SIRALAMA

Kritik nokta olan puanlama konusunda çok dikkatli olmak gerekir. Ürünleri bir özellik üzerinden sıralayıp ve ona göre puanlamalar yapılır.

Bu adım ,Pinedo'nun ürünlere ağırlık verdiği gibi benzer, her ürünün ne derecede üretim hattı için önemli olduğuna dayanan bir puanlamadır.

4.4.1 SPT (Shortest Processing Time)

3 ürün olduğu düşünüldüğünde;

A , index = 0

B , index = 1

C , index = 2

İlk önce her ürüne üretim önceliğini göstermesi açısından “index” ile adlandırdığımız bir değer verilmektedir. Bu “index” değerleri hangi ürünün önce işleme alınması gerektiğini göstermektedir.

Gelen siparişler, bu varsayımla ele alınırsa:

A dan bir sipariş işlem zamanı = 70

B den hiç sipariş yok

C den 3 tane var

C	182
C	165
C	200

İlk adımda her üründen kaç kere sipariş geldiğini dikkate alarak bir sıralama yapılır. Bu örnekte A'dan bir sipariş B'den sıfır sipariş ve C'den 3 sipariş olduğuna göre (1,0,3) şeklinde eğer SPT kuralını uygularsak (0,1,3) olarak sıralanacaktır yani ilk B ürünü olacak sonra A ürünü ve en sonda C ürünü işleme girecektir.

Her ürün verilen "index" değeri ile tanıtıldığında o zaman bu dizi şu şekilde yazılacaktır. A ürünün "index" değeri 0 olduğu için ve B ürünün "index" değeri 1 ve C ürünün "index" değeri 2 olarak (0,1, 2) tanımlanır.

Elde edilen dizi her ürünün önemini ortaya koymaktadır ve her üründen gelen siparişe göre sıralanması gerekir.

Her ürün için elde edilen yeni değer kendi grubundaki siparişlerle toplanır.

Yani A ürünün puanı 1000 ve ondan gelen sipariş 70 olursa o zaman bunun yeni değeri 1070 olacaktır.

A	$70 + 1000 = 1070$
B	$0 + 0 = 0$
C	$182 + 2000 = 2182$
C	$165 + 2000 = 2165$
C	$200 + 2000 = 2200$

SPT kuralına bağlı olarak sıralandığında (1070, 2165, 2182, 2200) olarak yani (A, C₂, C₁, C₃) olarak üretilecektir .

Ama önemli olan konu en son ürün makinede olduğu zaman gelen sipariş aynı üründen olursa yeni kurulum yapılana kadar onunla devam edilecektir. Yani gelen

siparişler arasında makinede işlenmekte olan üründen varsa o ürünün öne alması için çok küçük bir değer verilmesi gerekir.

Bu adımları tamamen gerçek verilere uygulanır.

30 günlük bu şartlarla 30 kere run edildi ve ortalama her gün için ;

SPT		
Kurulum Maliyeti \$	Gecikme \$	Toplam Maliyet \$
71	27.05	98.146

Gördüğümüz gibi sipariş sayısının daha fazla olduğu ürünü öne alırsak o üründen büyük bir sayıda sipariş olduğu için bir kere kurulum yapıp yüksek bir oranda üretmiş olabiliriz .

4.4.2 LPT (Longest Processing Time)

Bu hesaplamayı LPT (*longest processing time*) olarak yapmak için ürünlerin önem puanını büyükten küçüğe göre sıraladıktan sonra işlenmekte olan üründen gelen siparişlerin değerini büyülterek ilk sıraya gelmesini ve üretime devam edilmesini sağlamak gerekir.

LPT		
Kurulum Maliyeti \$	Gecikme \$	Toplam Maliyet \$
80	25.12	105.46

4.5 İŞLEM ZAMANINA GÖRE SIRALAMA

Puanlama yönteminde gördüğümüz gibi ilk ürün önemini belirlemek için her üründen kaç kere sipariş geldiğine dair bir dizi yapıp ve onu dikkate alarak sıralamalar yapılmaktadır. Ama bu yöntemde ilk adımdan işlem zamanına (processing time) göre sıralamalar yapılır. Yani A ürününden gelen bütün işlem zamanları (processing time) toplanır ve başka ürünler ile karşılaştırılır ve buna bağlı bir dizi yapılır.

4.5.1 SPT (Shortest Processing Time)

A dan hiç sipariş yok

B den 2 tane sipariş var

B 126

B 105

C den 5 tane sipariş var

C 191

C 156

C 208

C 147

C 200

Dizi bu kez sipariş sayısı ile değil işlem zamanına toplamına göre belirlenir (0, 231, 905). Her ürünün puanına göre yazılır (0, 1, 2) A ürünün puanı 0 ve B ürünün puanı 1 ve C ürünün puanı 2 olduğundan SPT kuralına uyarak sıralama yapılır.

Ürüne göre sıralama yapıldıktan sonra her ürünün içinde de sıralamalar yapılacaktır. Python programında birinci yöntemde olduğu gibi işlenmekte olan üründen gelen siparişin puanını daha küçültüp değerini işlem zamanı ile toplayarak yeni bir dizi elde edilir ve oluşan sıralamaya göre üretim yapılır.

A	$0+0 =0$
B	$126+1000 =1126$
B	$105+1000 =1105$
C	$191+2000 =2191$
C	$156+2000 =2156$
C	$208+2000 =2208$
C	$147+2000 =2147$
C	$200+2000 =2200$

SPT kuralına bağılı olarak sıralarsak (0, 1105, 1126, 214, 2156, 2191, 2200, 2208) yani (A, B₂, B₁, C₄, C₂, C₁, C₅, C₃) sıralamasında üretilecektir. 30 günlük bu şartlarla 30 kere run edildi ve ortalama her gün için;

SPT		
Kurulum Maliyeti	Gecikme	Toplam Maliyet
\$	\$	\$
74	26.09	100.32

4.5.2 LPT (Longest Processing Time)

Bu hesaplamayı lot (longest operation time) olarak yapmak için ürünlerin önem puanını büyükten küçüğe göre sıraladıktan sonra Python programında işlenmekte olan üründen gelen siparişlerin değerini pozitif bir büyük sayıyla çarparken değerlerini daha küçük bir sayıya çarpmak gereklidir.

LPT		
Kurulum Maliyeti	Gecikme	Toplam Maliyet
\$	\$	\$
72	26.17	97.838

4.6 MAKİNEDEKİ ÜRÜN ÖNEMSENMEDEN İŞLEM ZAMANI SIRALANMASI

Bu yöntemde ürünlerin işlem zamanına (*processing time*) bağlı olarak sıralama yapılmış, ancak makinede üretilmekte olan ürün hiç dikkate alınmamıştır. Gelen siparişler direk sıralanmıştır.

4.6.1 SPT (Shortest Processing Time)

Eğer tamamen önceki yöntemin kuralları uygulandığında sadece makinedeki ürün üretimi aksatılarak o zaman böyle bir sonuç elde edilmektedir.

30 günlük 30 kere yapılmış uygulamanın ortalaması;

SPT		
Kurulum Maliyeti	Gecikme	Toplam Maliyet
\$	\$	\$
883	20.63	903.33

Bu sonuç, konunun ne kadar önemli olduğunu göstermektedir ki eğer devamlı kurulum yapılırsa maliyet oldukça yükselebilir.

4.6.2 LPT (Longest Processing Time)

Şimdi eğer sıralamayı büyükten küçüğe yaparsak;

LPT		
Kurulum Maliyeti	Gecikme	Toplam Maliyet
\$	\$	\$
810	52.27	862.47

Bu sonuç, yöntemin SPT' den daha uygun olduğunu gösteren bir konu ama bu tamamen gecikme maliyetine katlanmak zorunda olduğumuzu gösterir.

4.7 UYGULAMA SONUÇLARI

Çalışmada birinci yöntemde hiçbir kural uygulamadan sıralama yapılmıştır. Bu yöntemde defalarca kurulum yapıldığı için yüksek bir maliyetle karşılanmıştır. İkinci yöntemde ürünlerin bir özelliklerine dayanan puanlama yapılmıştır. Puanlamaya bağımlı bir sıralama yapılmıştır; makinedeki son ürün sıralamada hep birincil olarak öne alınarak üretim yapılmıştır. Bu kurallarla maliyetin azalması mümkün olmaktadır. Üçüncü yöntemde ise, yine makinedeki ürün öne alınarak, ürünler arası puanlama ve sıralama yapıp sonra her ürün grubu içinde sıralama yapılmıştır. Bu yöntem kullanarak ikinci yönteme yakın bir sonuç elde edilmiştir. Dördüncü ve son yöntem üçüncü yöntemi makinedeki son ürünü dikkate almadan yapılmıştır ve yine birinci yöntem gibi yüksek bir maliyete neden olmaktadır.

Sonuç tablosu, her yöntem 30'ar defa tekrarlanarak elde edilmiştir. Uygulanan yöntemler dağılımlara bağlı olduğu için tekrar sayısı artırılarak optimal değerlere daha yakın bir sonuç elde edilebilir. Tabloda görüldüğü gibi B ve C yöntemleri daha

iyi sonuç vermektedirler. Bunun sebebi ise bu yöntemlerde kurulum maliyetlerinin ciddi ölçüde azaltılmış olmasıdır.

Yapılan uygulamaların karşılaştırılması aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

		Shortest Processing Time	Longest Processing Time
A. Normal Sıralama	Kurulum Maliyeti \$	7831.13	508.57
	Gecikme \$	2.70	6.62
B. Puanlama Değeriyle Sıralama	Kurulum Maliyeti \$	71.10	80.33
	Gecikme \$	27.05	25.12
C. İşlem Zamanına Göre Sıralama	Kurulum Maliyeti \$	74.23	71.67
	Gecikme \$	26.09	26.17
D. Makinedeki Ürün Önemszenmeden İşlem Zamanına Göre Sıralama	Kurulum Maliyeti \$	882.70	810.20
	Gecikme \$	20.63	52.27

5 SONUÇ

Literatür dikkate alındığında çoğu çalışmada puanlama yöntemi sıralama sorununun çözümüne dahil edilmemiştir. Bu çalışmada Pinedo' nun açıkladığı puanlamayı sıralama yöntemine dahil edip ve kurulum zamanının önemini ortaya koymaya çalışılmıştır.

Bu çalışma bir fabrika verilerine dayalı olması ve kurulum zamanını ve puanlamayla sıralama, tek makine çok ürün olan, benzeri olmayan bir çalışma olduğundan literatürde gözlemde herhangi bir çalışmaya benzer olmadığı dikkate alınırsa, Allahverdinin yaptığı kurulum zamanlı, maliyetli çizelgelemeye benzer bir uygulama yapılmaktadır. Wang (2008), Schaller (2004) (2007), Eren (2007) çalışmalarında aynı bu çalışmada gibi tek makineli çizelgeleme yapmışlardır. İşlem zamanını gruplandırmak yöntemi Zdrzalka (1996) çalışması gibi aile grublandırmak yönteminden ilham alınmıştır.

Bu çalışmada önemli belirsizliklerden biri puanlama kriteridir. Ürünleri hangi özeliğine göre sıralanacağı tespit edilememektedir. Sıralamanın satış fiyatına ya da sipariş miktarı ya da üretim maliyetlerine göre mi yapılacağı sorun teşkil etmektedir.

Seçilen yöntem şirketin elde ettiği tecrübelerle dayanarak hangi ürünlerin mutlaka satılacağına ve envanter oluşturmayaacağına bağlı olarak yapılmıştır. Ama bu bilimsel bir konuya dayalı olmadığı için pazardaki değişimlerle farklılaşabilir.

Sıralama sorunları hakkında kurulum maliyeti dikkate alınarak yapılacak olan daha fazla akademik çalışma bu sorunsalı tüm boyutlarıyla daha iyi açıklayabilir. Yapılan çalışmada kurulum zamanı her ürün için aynı varsayılmıştır.

Maliyetlerde sadece kurulum maliyeti dikkate alınmış ancak iş gücü maliyetleri sabit ve değişken maliyetler de dikkate alındığında elde edilecek maliyet tutarı değişebilir.

Bu çalışmada verileri elde etmek için bir senelik veriler kullanılmıştır. Ama gerçek uygulamada veri dağılımı çok farklı gerçekleşebilir.

Önemli konulardan biri de atık ve envanter konusudur. Her kalıp değişiminde farklı miktarlarda atık oluşmaktadır. Bu çalışmada atık miktarı her ürün için sabit varsayılmıştır.

Üretim çizelgelemesi yapılırken dikkat edilmesi gereken diğer bir konu üretim miktarlarının 32 kg ve 32'nin katları şeklinde ayarlanmasıdır. Üretimde kullanılacak her kütük alimünyumun ağırlığı 32 kg olması ve yarım kütüğün tekrar kullanılamaması nedeniyle üretim miktarında planlaması yapılması gerekir. Siparişin 32 kg ve katları olmaması halinde üretim hattında bulunan alimünyum külçe tamamıyla ürüne dönüştürülmesi ve sipariş miktarı karşılandıktan sonra kalan ürün 6 metrelik parçalara bölünerek daha sonra satılmak üzere depoya kaldırılması gerekmektedir. Siparişler 6 metrelik ürünler halinde teslim edildiği için fazla üretilen ürün 6 metrelik boyutlar halinde parçalandıktan sonra 6 metreden kısa kalan ürün teslim edilemeyeceği için atık olarak kalır. Çalışmada bu durumdan oluşabilecek atıkların maliyeti dikkate alınmamıştır.

Envanter ile ilgili bir diğer konu ise ürünlerin teslimatıdır. Her müşteri birden fazla üründen sipariş verebilir. Üretimi biten ürünün tek tek teslimatı yapılabileceği gibi siparişteki tüm ürünlerin üretimi tamamlandıktan sonra toplu halde teslimat yapılabilir. Ürünlerin tek tek teslimatında ulaştırma maliyeti artarken toplu halde teslimatta stoklama maliyeti artar hatta çizelgelemedeki sıralamaya göre gecikme cezası ödemek zorunda kalınabilir. Bu durumda firmanın teslimat politikası ciddi öneme sahiptir. Çalışmada siparişteki ürünlerin üretimi tamamlandıktan sonra anında teslim edildiği ve teslimatın maliyetsiz olduğu varsayılmıştır.

Bu çalışmaya üstte açıklanan kısıtlar dahil edilirse daha açıklayıcı ve uygulanabilir bir modelleme elde edilebilir. Bu konu üzerinde daha geniş çalışmalar yapılabilir.

Elde edilen sonuçlara göre en uygun olan yöntem ürünleri önemine göre sıralayıp sonra da en kısa işlem zamanı hesaplama kullanarak dizi oluşturarak bir üretim çizelgelemesi yapmaktır.

Araştırmaya konu olan fabrikada üretim yöneticileri sadece gecikmeyi önemseyerek kurulum maliyetlerini dikkate almadıkları için gecikme maliyetini sıfıra indirmeyi başaramışlar ama kurulum maliyetini hiç önemsememişlerdir.

Bu araştırmada ortaya çıkan kurulum maliyetleri göz ardı edilemeyecek kadar büyüktür. Uygulanan sıralama yöntemleriyle kurulum maliyetlerinde yüksek tasarruf sağlanmıştır. Çok az gecikme maliyetine katlanarak yüksek miktardaki kurulum maliyetini önemli ölçüde azaltılabilmektedir.

Eğer bu çalışmaya tedarik zinciri ve envanter konuları da dahil edilirse ve çizelgelemede kurulum zamanının sabit değil'de gerçek kurulum zamanı dikkate alınırsa daha kapsamlı ve uygulanabilir bir problem elde edilmiş olunur.

KAYNAKÇA

- Absi, N., & Sidhoum, S. (2009). The multi-item capacitated lot-sizing problem with stocks and demand shortage costs. *Computers & Operations Research*, 36, 2926 - 2936.
- Allahverdi, A. K. (2006). A survey of scheduling problems with setup times or costs. *European Journal of Operational Research*, 187, 985–1032.
- Alvani, M., & Mirshaffi, N. (2004). Production management. *Astan Quds Razavi press, Iran*, 223-394.
- Araujo, S. A. (2008). Lot sizing and furnace scheduling in small foundries. *Computers & Operations Research*, 35, 916 – 932.
- Asgharpour, M. (2009). Advanced operation rsearch. *University of Tehran press, Iran*.
- Baptiste, P., & Pape, C. (2005). Scheduling a single machine to minimize a regular objective function under setup constraints. *Discrete Optimization*, 2, 83 – 99.
- Belvaux, G., & Wolsey, L. (2001). Modelling practical lot sizing problems as mixed integer program. *Management Science*.
- Caserta, M., & Rico, E. (2007). A cross entropy-Lagrangian hybrid lgorithm for the multi-itemcapacitated lot-sizing problem with setup times. *Computers & Operations Research*, 36, 530 – 548.
- Chase, R., & Aquilano, N. (1998). Production and Operations Management: *Manufacturing and Services (8th Edition)*. *Irwin-McGraw-Hill press*.

- ChingYing, K. W. (2009). Sequencing single-machine tardiness problems with sequence dependent setup times using an iterated greedy heuristic. *Expert Systems with Applications*, 36, 7087–7092.
- Dominey, M., & Hill, R. (2003). Performance of approximations for compound Poisson distributed demand in the newsboy problem. *International Journal of Production Economics*, 92, 145–155.
- Drexl, A., & Kimms, A. (1996). lot sizing and scheduling - survey and extensions. *European Journal of Operational Research*, 99, 221-235.
- El-Bouri, A. B. (2000). Sequencing jobs on a single machine: A neural network approach. *European Journal of Operational Research*, 126, 474-490.
- Eren, T. (2007). A multicriteria scheduling with sequence-dependent setup times. *Applied Mathematical Sciences*, 58, 2883 – 2894.
- Ferretti, I. Z. (2006). Greening the aluminium supply chain. *International Journal of Production Economics*, 108, 236–245.
- Ghomi, A., & Fatemi, M. (2008). Production planning and inventory control. *Amirkabir Press, Iran*, 459-516.
- GomezDeniz, E. S. (2003). A flexible negative binomial mixture distribution with applications in actuarial statistics. *Department of Quantitative Methods, University of Las Palmas de Gran Canaria And, Spain*.
- Haase, K., & Kimms, A. (1999). Lot sizing and scheduling with sequence-dependent setup costs and times and efficient rescheduling opportunities. *International Journal of Production Economics*, 66, 159-169.

- Hentenryck, P., & Russell (2006). Online Stochastic Combinatorial Optimization. *Massachusetts, The MIT Press*, 19-33.
- Hoogeveen, H. P. (1999). On-line scheduling on a single machine: maximizing the number of early jobs. *Operations Research Letters*, 27, 193-197.
- Jafarnejad, A., & Morovvati, A. (2009). Basic points & key concepts of productions & operations management. *Mehraban Book Press, Iran*, 310-430.
- Ji Ung, S. (2010). Sequencing problem in a two machine flow shop with sequence dependent setup times. *EABR & ETLC Conference Proceedings*.
- Jodlbauer, H., & Steyr, F. (2004). An approach for integrated scheduling and lot-sizing. *European Journal of Operational Research*, 172, 386–400.
- Kobu, B. (2003). Üretim yönetimi. *University of Massachusetts Dartmouth Chailton College of Business*, 478-540.
- Lourenço, R., & Noivo, J. (2005). Solving two production scheduling problems with sequence-dependent set-up times. *Journal of Economic Literature Classification*, C61, M11, L60.
- Nahmias, S. (2004). Production and operations analysis. *Santa Clara University*, 397-467.
- Newbold, P., Carlson, W., & Thorne, B. (2009). Statistics for business and economics (5th Edition). *Prentice Hall*.

- Öztürk, M. (2008). Alüminyum atıklarından- alüminyum üretimi. *Çevre Ve Orman Bakanlığı, Ankara.*
- Pinedo, M. (2010). Planing & scheduling in manufacturing & services. *Allame Tabatabai University, Iran, 245-283, 488-524.*
- Pinedo, M. (2004). Planning and scheduling in manufacturing and services. *New York, Spring 1-79, 116-170.*
- Pinedo, M. (2008). Scheduling theory, algorithms, and systems. *New York university, 1-110, 243-315.*
- Rizk, N. M. (2006). A Lagrangean relaxation algorithm for multi-item lot-sizing problems with joint piecewise linear resource costs. *International Journal of Production Economics, 102, 344–357.*
- Russell, R., & Taylor, B. (2000). Operations management. *New Jersey, 516-551.*
- Schaller, J. &. (2008). Single machine scheduling with family setups to minimize total earliness and tardiness. *European Journal of Operational Research, 187, 1050–1068.*
- Schaller, J. (2007). A comparison of lower bounds for the single-machine early/tardy problem. *Computers & Operations Research, 34, 2279 – 2292.*
- Schaller, J. (2004). Single machine scheduling with early and quadratic tardy penalties. *Computers & Industrial Engineering, 46, 511–532.*
- Slack, N. (2010). Operations management. *Pearson Education Limited, London.*

- Songa, Y., & Chan, G. (2005). Single item lot-sizing problems with backlogging on a single machine at a finite production. *European Journal of Operational Research*, 161, 191–202.
- Springael, J., & Nieuwenhuysse, I. (2005). A lost sales inventory model with a compound poisson demand pattern. *Faculty of Applied Economics, University of Antwerp, Belgium*.
- Staggemeier, A., & Clark, A. (2001). A survey of lot sizing and scheduling models. *Annual Symposium of the Brazilian Operational Research Society (SOBRAPO), Brazil*.
- Tao, J. C. (2010). An optimal semi-online algorithm for a single machine scheduling problem with bounded processing time. *Information Processing Letters*.
- Tatsushi Nishi, M. K. (2007). A distributed decision making system for integrated optimization of production scheduling and distribution for aluminum production line. *Computers and Chemical Engineering*, 31, 205–221.
- Tian, J. F. (2007). A best on-line algorithm for single machine scheduling with small delivery times. *Theoretical Computer Science*, 393, 287–293.
- Üreten, S. (1999). Üretim İşlemler Yönetimi. *Turkey, Gazi Kitabevi press*.
- Wang, J. (2008). Single-machine scheduling with past-sequence-dependent setup times and time-dependent learning effect. *Computers & Industrial Engineering*, 55, 584–591.
- Yu, S., & Wong, P. (2011). An optimal online algorithm for single machine scheduling to minimize total general completion time. *Information Processing Letters*, 112, 55–58.

Zdrzalka, S. (1996). A sequencing problem with family setup times. *Discrete Applied Mathematics*, 66, 161-183.

EK-A : Kural kullanılmadan sıralama metodu

SPT			LPT		
Kurulum Maliyeti	Gecikme	Toplam Maliyet	Kurulum Maliyeti	Gecikme	Toplam Maliyet
7926	1.3	7927.3	373	3.57	376.57
7802	1.2	7803.2	401	6.14	407.14
7608	6.38	7614.4	608	5.53	613.53
7898	5.02	7903	511	14.87	525.87
8161	2.46	8163.5	594	3.96	597.96
7871	2.33	7873.3	373	4.11	377.11
7387	4.73	7391.7	470	8.04	478.04
7954	0.77	7954.8	525	4.17	529.17
7871	1.21	7872.2	594	0.73	594.73
7622	1.37	7623.4	498	3.78	501.78
7691	1.1	7692.1	511	5.94	516.94
7470	4.13	7474.1	525	5.505	530.51
7815	2.67	7817.7	401	13.94	414.94
8161	1.49	8162.5	553	2.57	555.57
7995	1.97	7997	428	3.82	431.82
7940	5.41	7945.4	442	4.61	446.61
7594	1.04	7595	511	1.28	512.28
7636	5.31	7641.3	608	11.47	619.47
7898	8.5	7906.5	511	5.92	516.92
7663	2.02	7665	650	18.34	668.34
8064	1.22	8065.2	498	1	499
8092	2.93	8094.9	525	8.89	533.89
7691	1.74	7692.7	594	7.29	601.29
7802	3.91	7805.9	401	9.55	410.55

	8244	1.99	8246	567	4.26	571.26
	7732	1.44	7733.4	456	2.07	458.07
	7968	0.46	7968.5	581	6.08	587.08
	7871	2.28	7873.3	622	4.81	626.81
	8037	1.68	8038.7	456	8.54	464.54
	7470	2.96	7473	470	17.68	487.68
Ortalama	7831	2.70	7833.8	509	6.62	515.18

EK-B : Puanlama Metodu Gelen Sipariş Sayısına Bağlı

SPT			LPT		
Kurulum Maliyeti	Gecikme	Toplm Maliyet	Kurulum Maliyeti	Gecikme	Toplam Maliyet
110	39.65	149.65	83	19.47	102.47
166	32.09	198.09	41	9.04	50.04
41	32.13	73.13	166	30.59	196.59
69	26.63	95.63	55	12.89	67.89
110	23.89	133.89	152	31.81	183.81
55	26.37	81.37	69	9.58	78.58
83	25.9	108.9	27	21.27	48.27
69	4.98	73.98	55	4.4	59.4
69	17.63	86.63	83	47.22	130.22
69	23.77	92.77	96	32.9	128.9
69	36.73	105.73	41	16.15	57.15
83	33.47	116.47	41	12.27	53.27
110	22.35	132.35	110	30.22	140.22
83	50.89	133.89	124	41.45	165.45
96	42.01	138.01	55	4.16	59.16
69	36.41	105.41	69	11.35	80.35
41	12.98	53.98	83	30.83	113.83
96	31.36	127.36	27	21.52	48.52
55	20.95	75.95	55	36.95	91.95
69	37.64	106.64	83	45	128
27	12.39	39.39	83	23.07	106.07
83	28.53	111.53	96	45.88	141.88
55	38.4	93.4	166	53.6	219.6

	69	27.35	96.35	69	12.12	81.12
	83	31.46	114.46	55	10.76	65.76
	110	21.66	131.66	96	27.77	123.77
	13	4.05	17.05	41	16.167	57.167
	27	35.8	62.8	124	46.84	170.84
	27	27.9	54.9	124	36.4	160.4
	27	6	33	41	12.06	53.06
Ortalama	71	27.05	98.146	80	25.12	105.46

EK-C : Sıralama Metodu (Processing Time'a Bağlı)

SPT			LPT		
Kurulum Maliyeti	Gecikme	Toplm Maliyet	Kurulum Maliyeti	Gecikme	Toplam Maliyet
69	10.33	79.33	55	4.79	59.79
41	10.9	51.9	69	25.27	94.27
83	3.14	86.14	69	27.58	96.58
110	17.91	127.91	27	19.53	46.53
13	12.85	25.85	69	1.9	70.9
96	24.096	120.1	69	41.99	110.99
96	38.58	134.58	69	25.03	94.03
55	26.67	81.67	69	26.91	95.91
41	36.54	77.54	83	43.52	126.52
69	51.2	120.2	83	5.86	88.86
69	36.04	105.04	110	31.74	141.74
124	25.46	149.46	55	8.41	63.41
96	36.49	132.49	138	36.05	174.05
13	17.96	30.96	83	35.95	118.95
69	38.75	107.75	83	30.98	113.98
69	18	87	55	22.1	77.1
41	8.35	49.35	55	21.23	76.23
55	31.06	86.06	69	50.91	119.91
83	31.08	114.08	69	2.66	71.66
96	18.58	114.58	41	41.14	82.14
96	41.53	137.53	69	12.82	81.82
69	36.14	105.14	69	36.4	105.4

	41	8.17	49.17	83	39.56	122.56
	55	24.6	79.6	124	25.46	149.46
	110	34.5	144.5	27	12.48	39.48
	138	39.85	177.85	124	44.56	168.56
	41	21.59	62.59	41	3.48	44.48
	55	9.92	64.92	69	39.5	108.5
	124	38	162	69	20.91	89.91
	110	34.43	144.43	55	46.42	101.42
Ortalama	74	26.09	100.32	72	26.17	97.838

**EK-D : Processing Time Metodu (Makinedeki
Ürünün Önemsenmemiş)**

SPT			LPT		
Kurulum Maliyeti	Gecikme	Toplam Maliyet	Kurulum Maliyeti	Gecikme	Toplam Maliyet
885	23.02	908.02	664	25.42	689.42
747	13.99	760.99	1009	10.3	1019.3
857	2.36	859.36	843	23.94	866.94
1065	15.43	1080.4	691	32.48	723.48
968	20.27	988.27	802	15.21	817.21
968	23.73	991.73	608	23.86	631.86
1037	16.26	1053.3	926	14.13	940.13
913	65	978	774	4.12	778.12
871	12.56	883.56	816	16.6	832.6
968	14.4	982.4	968	8.22	976.22
982	16.39	998.39	677	17.14	694.14
982	12.84	994.84	788	14.77	802.77
940	16.62	956.62	816	18.14	834.14
830	13.17	843.17	871	8.26	879.26
885	21.75	906.75	774	23.8	797.8
954	24.57	978.57	788	24.96	812.96
913	21.2	934.2	968	16.81	984.81
857	24.18	881.18	802	16.92	818.92
705	9.93	714.93	650	13.97	663.97
691	32.72	723.72	857	4.51	861.51
857	27.13	884.13	677	22.15	699.15
553	30.49	583.49	802	15.92	817.92

	996	14.68	1010.7	830	8.67	838.67
	954	13.58	967.58	788	24.4	812.4
	830	28.03	858.03	857	31.99	888.99
	747	23.42	770.42	816	25.04	841.04
	885	22.49	907.49	913	18.16	931.16
	885	23.6	908.6	816	23.64	839.64
	996	16.52	1012.5	830	1055	1885
	760	18.54	778.54	885	9.62	894.62
Ortalama	883	20.63	903.33	810	52.27	862.47