

**T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI**

Yüksek Lisans Tezi

ÜRETİM ÇİZELGELEME VE BİR UYGULAMA

Murat ALTINDAŞ

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Mehmet S. İLKAY**

Yozgat 2011

**T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI**

Yüksek Lisans Tezi

ÜRETİM ÇİZELGELEME VE BİR UYGULAMA

**Hazırlayan
Murat ALTINDAŞ**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Mehmet S. İLKAY**

Yozgat 2011

T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAYI

Enstitümüzün İşletme Anabilim Dalı 8011010012 numaralı öğrencisi Murat ALTINDAŞ'ın hazırladığı “**Üretim Çizelgeleme ve Bir Uygulama**” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezi ile ilgili TEZ SAVUNMA SINAVI, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği uyarınca 08/07/2011 Cuma günü saat 13:00'te yapılmış, tezin onayına ~~OY ÇOKLUĞU~~/ OY BİRLİĞİYLE karar verilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Mehmet Sıdkı İLKAY (Danışman)

g.ilkay

Üye : Yrd. Doç. Dr. Erdal CANIYILMAZ

[Signature]

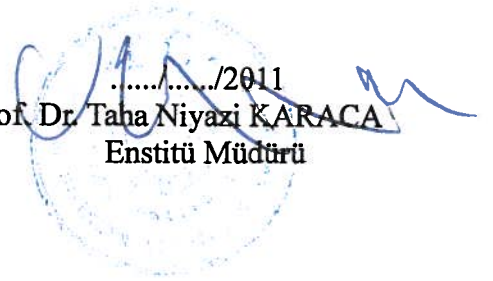
Üye : Yrd. Doç. Dr. Ramazan KURTOĞLU

[Signature]

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 12/07/11 tarih ve .../16 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

...../...../2011
Prof. Dr. Taha Niyazi KARACA
Enstitü Müdürü



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	vii
KISALTMALAR LİSTESİ	viii
GİRİŞ	1
1. ÇİZELGELEME	2
1.1. Çizelgelemenin Tanımı, Amacı ve Önemi	2
1.1.1. Çizelgelemenin Tanımı	2
1.1.2. Çizelgelemenin Amacı ve Önemi.....	4
1.2. Üretim Çizelgelemenin Tanımı ve Sınıflandırılması	4
1.2.1. Üretim Çizelgelemenin Tanımı	5
1.2.2. Üretim Çizelgelemenin Sınıflandırılması.....	7
1.3. Çizelgeleme Probleminin Çözülebilirliği ve Karmaşıklık	8
1.4. Çözüm Yöntemleri	10
1.4.1. Tam Çözüm Yöntemleri.....	10
1.4.1.1. Dal-Sınır Yöntemi	10
1.4.1.2. Dinamik Programlama	11
1.4.2. Sezgisel Yöntemler.....	11
1.4.3. Yerel Araştırmalar.....	12
1.4.3.1. Tabu Arama.....	12
1.4.3.2. Benzetilmiş Tavlama.....	14
1.4.3.3. Genetik Algoritma	15
1.5. Literatür Taraması.....	17
1.5.1. Tek Makine Problemleri Çalışmaları	17
1.5.2. Paralel Makine Problemleri Çalışmaları	18
1.5.3. Akış Tipi Üretim Çizelgeleme Problemleri Çalışmaları	20
1.5.4. Atölye Tipi Üretim Çizelgeleme Problemleri Çalışmaları.....	21
1.5.5. Açık Tip Üretim Çizelgeleme Problemleri Çalışmaları	23
1.5.6. Yerel Araştırma Çalışmaları.....	24
2. ÜRETİM ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ	26
2.1. Notasyon.....	26

2.1.1. Tanımlar	26
2.1.2. Makina Parametreleri (α)	27
2.1.3. İş Parametreleri (β).....	29
2.1.4. Amaç Fonksiyonu Parametreleri(γ)	29
2.1.5. Temel Varsayımlar	30
2.2. Tek Makine Problemleri.....	30
2.2.1. Toplam Tamamlanma Zamanının En Küçüklenmesi ($1 \sum C_j$)	31
2.2.2. Toplam Öncelikli Tamamlanma Zamanının En Küçüklenmesi ($1 \sum w_j C_j$)	31
2.2.3. Maksimum Gecikmenin En Küçüklenmesi ($1 L_{max}$).....	31
2.2.4. Toplam Gecikmiş İşlerin Sayısının En Küçüklenmesi ($1 \sum U_j$)	31
2.2.5. Toplam Öncelikli Gecikmiş İşlerin Sayısının En Küçüklenmesi ($1 \sum w_j U_j$).....	32
2.2.6. Toplam Geç Bitmenin En Küçüklenmesi ($1 \sum T_j$).....	32
2.2.7. Toplam Öncelikli Geç Bitmenin En Küçüklenmesi ($1 \sum w_j T_j$)	32
2.3. Paralel Makine Problemleri.....	32
2.3.1. Maksimum Tamamlanma Zamanının En Küçüklenmesi ($P C_{max}$).....	33
2.3.2. Toplam (Öncelikli) Tamamlanma Zamanının En Küçüklenmesi ($P \sum w_j C_j$)	35
2.3.3. Maksimum Gecikmenin En Küçüklenmesi ($P L_{max}$)	35
2.4. Akış Tipi Üretim Çizelgeleme Problemleri.....	37
2.4.1. Permütasyon Akış Tipi Üretim Çizelgeleme.....	37
2.4.2. Esnek Akış Tipi Üretim Çizelgeleme.....	39
2.5. Atölye Tipi Üretim Çizelgeleme Problemleri	40
2.6. Açık Tip Üretim Çizelgeleme Problemleri.....	44
2.6.1. Maksimum Tamamlanma Zamanının En Küçüklenmesi ($O C_{max}$).....	45
2.6.2. Maksimum Gecikmenin En Küçüklenmesi ($O L_{max}$).....	48
3. ÜRETİM ÇİZELGELEME PROGRAMI VE UYGULAMASI.....	52
3.1. Üretim Çizelgeleme Programı (Lekin).....	52
3.1.1. Ana Menü ve Temel İşlev Menüleri.....	52
3.1.1.1. Çizelge Menüsü.....	55
3.1.1.2. Araçlar (Tools) Menüsü	59
3.1.2. Yardımcı Menüler ve Görsel Destekler.....	60
3.1.2.1. Çalışma Ortamı Menüsü.....	60
3.1.2.2. Dosya Menüsü.....	61
3.1.2.3. Pencere (Windows) Menüsü	62
3.2. Üretim Çizelgeleme Uygulaması	64
3.2.1. Gülben Mobilya Ltd.Şti.'nin Tanıtımı.....	64
3.2.1.1. İş Akışı	64
3.2.1.2. Makine Parkı	65
3.2.2. Üretim Süreçleri	65
3.2.2.1. Ebatlama.....	66
3.2.2.2. Bantlama ve Delik-Kanal Açma.....	67

3.2.2.3. Montaj ve Ambalajlama	68
3.2.3. Üretim Çizelgeleme.....	68
3.2.3.1. Mevcut Durum	68
3.2.3.2. Önerilen Çözümler	73
3.2.3.3. Önerilen Çözümlerin Performanslarının Karşılaştırılması	78
3.2.3.4. Önerilen Çizelge ile Mevcut Durumun Karşılaştırılması	79
SONUÇ	81
KAYNAKÇA	83
EKLER	89
ÖZGEÇMİŞ	95

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Üretim Çizelgeleme ve Bir Uygulama

Murat Altındaş

Bozok Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü
İşletme Anabilim Dalı

2011:95 Sayfa

Üretim çizelgeleme problemi belirli sayıdaki makineye işlem görecektir belirli sayıdaki işin hangi sıra ile yüklenmesi gerektiğinin belirlenmesidir. Bu sıralamanın farklı amaçlar için farklı olacağı açıktır.

Bu amaçları en iyi yapan sıralamanın bulunması az sayıdaki iş ve makine kombinasyonları için mümkün olsa da, çoğu zaman bu imkânsızdır. Bu durumda, en iyi çözümü elde etmeye yönelik sezgisel yöntemler geliştirilmiştir.

İşletmelerde üretim hatlarındaki çizelgeleme problemlerinin öncelikle hangi sınıflamaya uygun olduğuna karar verilmelidir. Çoğu zaman çözümü imkânsız olan bu problemlere, basit dağıtım kurallarının ve bunların varyantlarının uygulanması ile hızlı fakat yaklaşık bir çözüm üretmek mümkün olacaktır. Bu amaçla hazırlanmış paket programların kullanılması da işletmede üretim programlama fonksiyonunun etkin bir şekilde yerine getirilmesine yardımcı olacaktır.

Bu çalışmada, genelde çizelgelemenin tanımlanması yapıldıktan sonra hem üretim çizelgeleme probleminin tanımı, sınıflandırılması, karmaşıklığı, çözüm yöntemleri ve hem de konu ile ilgili yapılan çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra belirli ve statik üretim çizelgeleme problemleri maddeleştirilerek geliştirilen çözümlerden bahsedilmiştir. Son olarak, üretim çizelgelemede kullanılan Lakin paket programı tanıtılarak, mobilya sektöründe gerçekleştirilen bir çizelgeleme örneği için üretim çizelgeleme algoritması önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Üretim Çizelgeleme, Lakin paket programı, Panel mobilya üretimi, NP-Zor, Sezgisel Yöntemler

ABSTRACT

MSc. Thesis

Production scheduling and an application

Murat Altındaş

Bozok University
Institute of Social Sciences
Department of Management

2011:95 Pages

Determining a sequence of a certain number of jobs to be processed by a certain number of machines is production scheduling problem. It is obvious that this sequence will be different for various objectives.

Optimum sequence for these objectives could be found for combinations of a few machines and jobs, though, most of the time that is impossible. In this case, heuristics have been developed to get optimum sequence.

At production lines of firms, the first step is to decide on which type of the production scheduling problem is. Then, a quick but approximate solution may be obtained by the implementation of some dispatching rules and their variants, as it is often impossible to solve the problem. Usage of computer programs prepared for this purpose might help applying the production planning function of firms effectively.

In this study, after defining scheduling generally, both definition, classification, complexity, solution methods of production scheduling and literature works on the subject are informed, then deterministic and static production scheduling problems are classified and mentioned about the solutions developed. Finally, Lekin computer program used in production scheduling is introduced and a production scheduling algorithm for a scheduling example in furniture industry is suggested.

Keywords: Production scheduling, Lekin computer program, Panel furniture production, NP-Hard, Heuristics

ÖNSÖZ

Pazarda artan rekabetle birlikte serbest piyasa şartları sonucu işletmelerin piyasa fiyatını belirlemedeki etkisizliği, işletmeleri daha çok ürün maliyeti üzerinde odaklanmaya yönlendirmiştir.

Üretim süresinin kısalması birim zamandaki üretim miktarını artırarak birim maliyetlerin düşmesini sağlayacaktır. Bu amaçla işletmeler, işlerin işlem süresi sabit iken bunların makinede işlem görme sıralarının düzenlenmesi ile birim üretim için harcanan sürenin kısaltılmasını hedeflemektedirler. Bu ise çizelgeleme sürecinin basamaklarının bilinmesini ve bunun uygulanmasını gerektirir.

Bu çalışmada, üretim çizelgeleme sürecindeki, üretim çizelgeleme probleminin tanımlanması, hangi sınıflandırmaya ait olduğunun belirlenmesi, çözüm yöntemlerinin araştırılması, önerilerin geliştirilmesi, çözüm alternatiflerinin bilgisayar ortamında tanımlanması, çözümlerin elde edilmesi, uygun olanın seçilmesi ve seçilen çözümün üretime uygulanması basamakları araştırılmıştır.

Bu tezin hazırlanmasında emeği geçen danışman hocam Doç. Dr. Mehmet S. İLKAY'a, bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım eski mesai arkadaşım Hayati KORKUT'a ve uygulamada Gülben Mobilya Ltd.Şti.'ndeki üretim bilgilerine ulaşmamda yardımcı olan Enver EREN'e teşekkürü bir borç bilirim.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1:	Çizelgeleme Problemi Hiyerarşisi.....	6
Şekil 1.2:	Gantt Şeması ile Üretim Çizelgeleme Gösterimi.....	7
Şekil 2.1:	Atölye Tipi Üretim Çizelgeleme Probleminin Şebeke (Ağ) Gösterimi.....	41
Şekil 2.2:	Ağ Akış ve Maksimum Akış Şeması.....	47
Şekil 3.1:	Program Ana Menüsü.....	53
Şekil 3.2:	Makine ve İş Sayısı Tanımlama Ekranı.....	53
Şekil 3.3:	İş İstasyonu Tanımlama Ekranı.....	54
Şekil 3.4:	İş Tanımlama Ekranı.....	55
Şekil 3.5:	Makine Parkı ve İş Havuzu Ekranı.....	55
Şekil 3.6:	Çizelgeme Kuralları Seçme Ekranı.....	56
Şekil 3.7:	Sezgisel Yöntemler Seçme Ekranı.....	57
Şekil 3.8:	Manüel Sıralama Giriş Ekranı.....	58
Şekil 3.9:	Seçilen Kurala Göre Elde Edilen Çizelgenin Gantt Şeması.....	58
Şekil 3.10:	Çizelgeleme Performans Göstergeleri Ekranı (Veri Kütüğü).....	59
Şekil 3.11:	Çizelgeleme Performans Göstergeleri Onay Ekranı.....	59
Şekil 3.12:	Çizelgeleme Performans Göstergeleri Ekranı.....	60
Şekil 3.13:	Çalışma Ortamı Menüsü.....	61
Şekil 3.14:	Dosya Menüsü.....	62
Şekil 3.15:	Pencere Menüsü.....	63
Şekil 3.16:	Çoklu Çizelgeleme “Multiple Schedule” Ekranı.....	63
Şekil 3.17:	Amaç Fonksiyonları Performans Göstergeleri Şeması.....	64
Şekil 3.18:	İş Akış Şeması.....	65
Şekil 3.19:	Gantt Şeması ve Performans Kriterleri (Mevcut Durum).....	72
Şekil 3.20:	Bantlama ve Delik Makinesi Gantt Şeması (Johnson Algoritması).....	75
Şekil 3.21:	Bantlama ve Delik Makinesi Gantt Şeması (EDD).....	76
Şekil 3.22:	Bantlama ve Delik Makinesi Gantt Şeması (EDD-Johnson Alg.).....	78

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1:	Dannenbring Algoritması'nın Johnson Algoritması'na Dönüşümü	40
Tablo 2.2:	$1 r_j L_{\max}$ Problemi Çözüm Tablosu	43
Tablo 3.1:	Makine Parkı.....	65
Tablo 3.2:	Feza Ofis Tk. Modül Parçaları Bantlama ve Delik İşlem Süreleri	71
Tablo 3.3:	Feza Ofis Takımı Modül İş Akış Süreleri (Mevcut Durum)	73
Tablo 3.4:	Feza Ofis Takımı Bantlama-Delik Kanal Açma Teslim Süreleri	74
Tablo 3.5:	Çizelgeleme Kurallarının Bantlama ve Delik Çizelgeleme Performansları .	78
Tablo 3.6:	Önerilen Çizelge Ambalajlama Sonu Tamamlanma Zamanları	79
Tablo 3.7:	Ambalajlama İşlemi Sonu Çizelgeleme Performansları	80

KISALTMALAR LİSTESİ

EDD	:	En Erken Teslim Tarihi
FCFS	:	İlk Geleni İlk İşleme
FMS	:	Esnek Akış Tipi Üretim Çizelgeleme
FS	:	Akış Tipi Üretim Çizelgeleme
GA	:	Genetik Algoritma
JSS	:	Atölye Tipi Üretim Çizelgeleme
LIFO	:	Son Giren İlk Çıkar
LPT	:	En Uzun İşlem Süresi
MS	:	En Küçük Serbest Zaman
OSS	:	Açık Tip Üretim Çizelgeleme
SB	:	Darboğazı Öteleme Metodu
SPT	:	En Kısa İşlem Süresi
PFS	:	Permütasyon Akış Tipi Üretim Çizelgeleme
WSPT	:	Öncelikli En Kısa İşlem Süresi

GİRİŞ

Çizelge, kaynakların işlemleri hangisi sıra ile yerine getireceğini gösterir. Bunun yapılması olan çizelgeleme, işletmeler için satın alma, satış ve özellikle üretim fonksiyonunun gerçekleştirilmesinde oldukça önemlidir. Bu sadece basit bir sıralama olmayıp, üretimde maliyete etki eden birçok kalemin değerinin ortaya çıkmasına ve müşteri memnuniyetinin belirlenmesine kadar yönetimin başarısını gösteren birçok performans kriterlerine etki eden kritik bir karar alma sürecisidir. Bu aşamada yöneticilerin veya çizelgelemeyi yapan planlamacıların çizelgelemenin ve detayda da üretim çizelgelemenin nasıl yapıldığı bilgisine sahip olması bu sürecin iyi bir şekilde yönetilebilmesi için gereklidir.

Bu çalışmada; ihtiyaç duyulan bu bilginin derlenerek sunulmasının yanı sıra bir uygulama örneği üzerinden pratikte bu bilginin nasıl uygulanabileceğini göstermek amaçlanmaktadır.

Çalışmanın 1. Bölümü'nde çizelgelemenin tanımı, amacı, üretim çizelgeleme ve sınıflandırılmasından bahsedilmiştir. Çizelgeleme probleminin karmaşıklığı ve çözülebilirliği açıklandıktan sonra geliştirilen çözüm yöntemlerinden bahsedilmiş ve çizelgeleme konusunda yapılan çalışmalara yönelik bir literatür taraması verilmiştir.

2. Bölüm'de makine sayıları ve özellikleri ile işlerin bunlara yüklenmesine göre yapılan sınıflama esas olmak üzere üretim çizelgeleme problemleri genel olarak tanımlanmış ve varsa optimum çözümlerden, yoksa geliştirilen sezgisel yöntemlerden bahsedilmiştir. Sınıflama yapılırken işin göreceği işlemin parçalanabilme özelliği dikkate alınmıştır.

3. Bölüm'de öncelikle üretim çizelgeleme uygulamasında kullanılacak Lakin paket programı tanıtılmıştır. Daha sonra bir uygulama örneğinin yapılacağı işletmenin tanıtımı yapılarak, üretim imkânları ve yapılan işler hakkında bilgi verilmiştir. İşletmede uygulanan örnek bir üretim çizelgesi verildikten sonra geliştirilen üretim çizelgeleme algoritması kullanılarak üretim sürecini kısaltan bir çizelge önerilmiştir.

1. ÇİZELGELEME

Günlük hayatımızda çizelgeleme kelimesinden çok çizelge kelimesi veya onun yerine kullanılanlarla çeşitli dokümanlar üzerinde karşılaşırız. Otobüs hareket saatleri (çizelgesi) veya haftalık ders programı (çizelgesi) örnek olarak verilebilir. Bir çizelge, her şey iyi gittiğinde olması planlananların zamanlamasını gösterir. Bir başka deyişle, bir şeylerin ne zaman gerçekleşmesinin hedeflendiğini gösterir. Haftalık ders çizelgesi, bir eğitim kurumunda hangi derslerin, hangi derslikte, hangi gün ve saatte yapılacağını tablolaştırılmış halidir.

Çizelgeler bize çeşitli faaliyetlerin hangi zamanda yapılacağı bilgisinin yanında bundan da önemlisi bunların hangi sıra ile yapılacağı bilgisini verir. Herhangi bir derslikte derslerin hangi sıra ile yapılacağı haftalık ders çizelgesinden çıkarılabilir.

Çizelgeleme ise çizelgenin oluşturulması süreci olarak tanımlanabilir. Çizelge doküman üzerindeki bilgi iken, o dokümanın oluşturulması için yapılan bütün çalışmalar da çizelgeleme işlevi olarak adlandırılabilir.

Çizelgeleme işlevinin iki aşamadan oluştuğu söylenebilir. Önce, faaliyetlerin hangi sıra ile gerçekleştirileceğinin tespiti yani sıralama yapılır. Sonra, her bir faaliyetin başlama zamanı hatta tamamlanma zamanı belirlenir (Baker ve Trietsch, 2009, s. 1-2).

1.1. Çizelgelemenin Tanımı, Amacı ve Önemi

Çizelgeleme bir karar verme sürecidir. Faaliyetlerin hangi sırada olacağına ve ne zaman başlayıp ne zaman biteceğine karar verilmektedir.

Çizelgeleme kullanılacak kaynakların yeterliliklerini dikkate alarak yapılacak işlerin sıralanması ve zamanlamasını verir. (Baker ve Trietsch, 2009, s. 1-2) Bu ise kaynakların kullanımındaki verimliliği ve dolayısıyla maliyetleri etkileyecektir.

1.1.1. Çizelgelemenin Tanımı

Çizelgeleme, belirli amaçları en iyi yapmak üzere kıt kaynakların atanması ile ilgilidir (Lee vd, 1997, s. 1).

Bir diğer tanımla, farklı kısıtların sağlanmasının zorunluluğu altında kıt kaynakların ve rakip işlemlerin zamana atanmasıdır (Schmidt, 1996, s. 110).

Çizelgeleme, imalat sanayi ve hizmet sektöründe rutin olarak yapılan bir karar verme işlemidir. Belirli bir zaman için, kaynakların işlemlere atanmasını ve bunu yaparken de belirli amaçların en iyilenmesini hedeflemektedir (Pinedo, 2008, s. 1).

Kaynaklar ve işlemler bir organizasyonda değişik şekilde karşımıza çıkabilmektedir.

Kaynaklar;

- Atölyedeki makineler
- Havaalanındaki giriş-çıkış kapıları
- İnşaattaki işçiler
- Bilgisayardaki merkezi işlemci
- Okuldaki derslikler

olabilir.

İşlemler ise;

- Üretim sürecindeki işlemler (kesme, bantlama, delme ve montaj)
- Havaalanındaki uçak iniş ve kalkışları
- Bir inşaatta yapılan işlemler (temel atma, iskelet çakma, beton atma, tuğla örme v.s)
- Bilgisayar programının çalıştırılması
- Okul müfredatındaki yapılması gereken dersler

gibi olabilir.

Her işlemin;

- Belirli bir öncelik seviyesi
- En erken başlama zamanı
- Teslim tarihi

olabilir.

Amaçlar da;

- İşlemlerin bir an önce bitirilmesi (en son işlemin tamamlanma zamanının en küçüklenmesi)

veya

- İşlerin geç teslim edilmemesi (teslim süresinden sonra tamamlanan işlerin sayısının en küçüklenmesi)

gibi farklı olabilir.

1.1.2. Çizelgelemenin Amacı ve Önemi

Çizelgelemede en çok önem verilen amaç bütün işlerin mümkün olan en kısa sürede bitirilmesidir (McNaughton, 1959, s. 1).

Büyük imalat işlemlerini çizelgelemenin ana amacı ürünün başlangıçtan bitişe kadar olan imalat süresini en küçük, makine ve işgücü kapasite kullanımını ise en büyük yapmaktır (Todd ve Sen, 1997, s. 234).

Younger (1930), iyi organize edilmiş ve dikkatli çalışan iş rotalama, çizelgeleme ve dağıtımın, istenilen miktarda, istenilen kalitede, istenilen zamanda ve en makul maliyetle üretim yapmak için zorunlu olduğunu söylemiştir. Bunların ise en önemli amaçlar olması çizelgelemenin niçin yapıldığını gösteren en açık sebeplerden olduğu belirtilmektedir (Aytug vd, 2005, s. 88).

Toplam Kalite Yönetimi felsefesinde hedeflenen müşteri memnuniyetini artırmak için ürünün zamanında teslimini sağlamak üzere çizelgeleme kullanılması önem kazanmıştır (Lee vd, 1997, s. 1).

Üretim çizelgeleme işletmelerin dünya pazarlarında artan rekabet ortamında avantajlı konuma geçmesini sağlamıştır (Roadammer ve White, 1998, s. 841).

1.2. Üretim Çizelgelemenin Tanımı ve Sınıflandırılması

Bir karar verme süreci olan çizelgeleme işletmelerde planlama işlevinin bir parçasıdır. İşletmenin ürünlerinin tasarımı, bunların üretilmesinde kullanılacak teknolojinin seçimi ve üretim hacmi planlama işlevi sonucunda belirlenir. Yani,

planlama işletmenin üretim için kullanılacak kaynaklarını ve çizelgelenecek işlerini belirler (Baker ve Trietsch, 2009, s. 2).

Üretim çizelgelemede hangi makinelerin hangi işleri hangisi sıralama ile ne zamanda yapacağı belirlenir.

Kullanılan makine sayısı ve parça başına iş sayısına göre üretim çizelgeleme sistemi sınıflandırılabilir.

1.2.1. Üretim Çizelgelemenin Tanımı

Üretim çizelgeleme, eldeki üretim imkânlarının belirli bir zaman içindeki kullanımının bazı performans ölçütlerini karşılayacak şekilde düzenlenmesidir (Roadammer ve White, 1998, s. 842).

Üretim çizelgeleme, maliyet, kalite ve zaman etkili üretimi başarmak için üretim yönetimi prosesinin bütün planlama ve kontrol etkinliklerini kapsayan bir parçasıdır (Schimdt, 1996, s. 109).

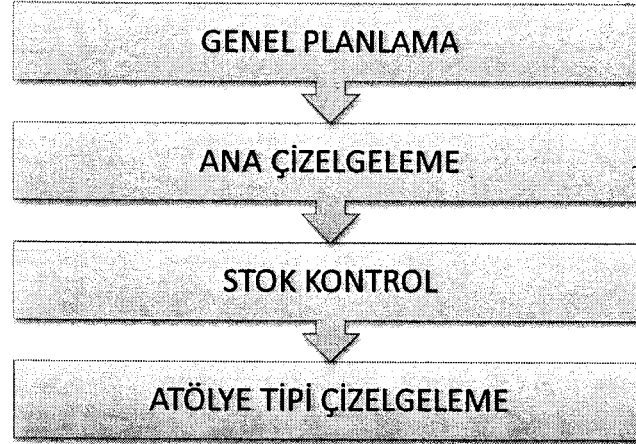
Çeşitli ürünleri müşteri siparişine göre üreten bir firma hikâyesi ile üretim çizelgelemeye daha genel bir bakış ortaya konmaktadır (Gupta J. , 2002, s. 106). Siparişi alan firma öncelikle bunu üretmenin kendisi için kârlı olup olmadığını bir mühendislik incelemesine tabi tutar. Eğer uygunsa, sipariş üretime iş emri olarak verilir ve müşteriye ulaştırılır. Problem; hangi siparişlerin kabul edileceği ve maliyetleri düşürmek için imalat işlemlerini hangi sıralama ile yapılacağıdır.

Bu problemin analizi, çizelgeleme probleminin bileşenlerini vermektedir:

- Hangi müşteri siparişlerinin üretilmek üzere kabul edileceğinin belirlenmesi (periyodik ürün, stok, araç-gereç ve kaynak ihtiyaçlarının genel planlaması)
- Belirli bir dönemde üretilecek (temin edilecek) ürün miktarının ve zamanın belirlenmesi
- Malzeme ihtiyaç planlaması yapılarak üretilecek veya satın alınacak malzeme miktarlarının ve zamanlamasının belirlenmesi
- Kısa dönemde işlemlere kaynak atanması, işlerin (siparişlerin) önceliğinin belirlenmesi ve sıralanması

Ritzman (1979), bu dört çizelgeleme bileşeni arasındaki ilişkiyi daha kolay bir şekilde yönetilebilmesi için üretimde karşılaşılan çizelgeleme problemi ile bileşenleri arasında bir hiyerarşi şeması önermiştir (Şekil 1.1). Her bir hiyerarşi seviyesi yukarıda verilen çizelgeleme problemi bileşenlerine sırasıyla denk gelmektedir.

Şekil 1.1 Çizelgeleme Problemi Hiyerarşisi

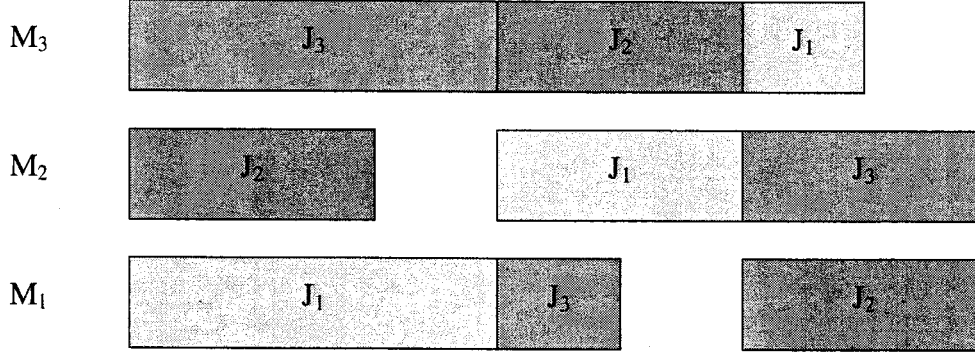


Kaynak: Gupta, Jatinder N.D. (2002); "An excursion in scheduling theory: an overview of scheduling research in the twentieth century", *Production Planning & Control*, Vol. 13, No.2, s. 106.

Bu noktadan olmak üzere Üretim Çizelgeleme adı altında yukarıda açıklanan üretimdeki çizelgeleme probleminin Atölye Tipi Çizelgeleme (veya detay çizelgeleme) bileşeni tanımlanmaktadır.

Bir işyerinde n adet farklı iş ve bunların işlem göreceği m adet farklı makine olduğunu kabul edelim. Her makinede bir anda en çok bir iş yapılabilmekte ve her iş bir anda en çok bir makinede işlem görebilmektedir. Üretim çizelgeleme, her bir işin bir makineye ya da birden fazla makineye farklı zamanlarda işlem görmek üzere atanmasıdır. Bu atamanın şematik gösteriminde Gantt şeması kullanılır. Şekil 1.2'de üç makinede üç işin çizelgenmesi görülmektedir. Bir işin bir makinedeki işlemi tamamlandıktan sonra diğer makinede işlem görebildiğine dikkat edilmelidir. (Brucker, 2007, s. 1)

Şekil 1.2 Gantt Şeması ile Üretim Çizelgeleme Gösterimi



Kaynak: Brucker, Peter. (2007); *Scheduling Algorithm*, Springer, Heidelberg, s.1.

1.2.2. Üretim Çizelgelemenin Sınıflandırılması

Üretim çizelgeleme yapılan işlem basamaklarının karışıklığına göre diğer bir ifade ile makine ve parça başına işlem sayısına göre şu şekilde sınıflandırılabilir (Graves, 1981, s. 648):

- Tek işlem, tek makine
- Tek işlem, paralel makineler
- Çok işlem, akış tipi üretim sistemi
- Çok işlem, atölye tipi üretim sistemi
- Çok işlem, açık tip üretim sistemi

Bu konuda yapılan çalışmalarda sıklıkla karşılaşıldığından bu sıralamaya “çok işlem, açık tip üretim sistemi” ilavesi yapılmıştır.

Üretim çizelgeleme, üretim çizelgeleme problemini tanımlayan parametrelerin değerlerinin belirlenmesine göre şu şekilde sınıflanır:

- Belirli üretim çizelgeleme
- Olasılıklı üretim çizelgeleme

Belirli üretim çizelgelemede problemi tanımlayan parametre değerleri sabit değerlerdir. Eğer bu parametrelerin bir olasılık dâhilinde çeşitli değerler alabiliyorsa ama sabit değilse buna olasılıklı üretim çizelgeleme adı verilmektedir. Örneğin bir makinenin işlem hızı hep aynı ise bu belirli üretim çizelgeleme değerini

oluşturur. Fakat işlem hızı usta veya çırağın çalışmasına göre fark ediyorsa makine hızı olasılıklı bir üretim çizelgeleme değeri oluşturur.

Gelecekte problemi tanımlayan parametrelerde değişiklik olmasına göre üretim çizelgeleme şu şekilde sınıflandırılır:

- Statik üretim çizelgeleme
- Dinamik üretim çizelgeleme

Üretim çizelgelemeye başlarken tanımlanan parametrelerde gelecekte herhangi bir değişiklik olmuyorsa bu statik üretim çizelgeleme, herhangi bir değişiklik oluyorsa örneğin yeni bir iş çizelgelemeye dâhil ediliyorsa bu dinamik üretim çizelgeleme olarak tanımlanır.

İş ortamında daha çok olasılıklı ve dinamik üretim çizelgeleme ile karşılaşılıyor olmasına karşın literatürde çalışmaların daha çok belirli ve statik üretim çizelgeleme üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu çizelgelemenin olasılıklı ve dinamik olması durumunda daha da karışık olmasından kaynaklanmaktadır. Takip eden konularda da belirli ve statik üretim çizelgelemeden bahsedilmiştir.

1.3. Çizelgeleme Probleminin Çözülebilirliği ve Karmaşıklık

Çizelgeleme problemi tabiatı gereği kombinasyonludur. Örneğin $n \times m$ probleminin (yani n adet işin m adet makinede yapılması) $(n!)^m$ adet farklı çizelgeleme şekli (çözümü) vardır. Küçük n ve m sayıları için problem gözükme de n ve m büyüdükçe hesaplama zorlaşmaktadır (Oluleye ve Oyentunji, 2007, s. 347).

Her çözüm kümesinin optimum olup olmadığını kabul edilebilir bir sürede kontrol ederek sonuçlandıracak etkin bir algoritma çoğu zaman yoktur (Akker, 1994, s. 7).

Çizelgeleme problemini çözmek için etkili algoritmalar üretmek gerekmektedir. Çünkü çözüm kümesi elemanlarının birebir denenerek üretilen en iyi çözüm oldukça zahmetlidir. Fakat çoğu zaman çözüm üretebilen algoritmalarla bile karşılaşamayabilir. Bu durum çizelgelemede karmaşıklığın ortaya çıkmasının gerekçesidir (Leung, 2004, s. 1-3).

Bir algoritmanın çalışma süresi algoritmanın adımları ile ölçülür. Bu ise $T(n)$ şeklinde bir fonksiyon ile ifade edilebilir. Oluşan fonksiyonun en hızlı büyüyen terimi algoritmanın işlem zamanını gösterir. Bu ise $T(n)=O(g(n))$ şeklinde gösterilir ki $g(n)$ fonksiyonun en hızlı büyüyen terimi $g(n)=n^{100}$ ise $O(n^{100})$ ile çalışma süresi gösterilen bu algoritmaya polinom zamanlı algoritma denir. $g(n)=2^n$ ise bu algoritmanın üssel-zamanlı algoritma olduğu söylenir. Üssel zamanlı algoritmalar polinom zamanlı algoritmalarından daha hızlı büyümektedir. Örneğin $T(n)=O(2^{100})$ olan algoritma saniyede 10^{12} adet işlem yapabilen bir bilgisayarda 30 trilyon yıl gibi bir sürede optimum çözüme ulaşabilmektedir.

Bir problemin polinom zamanlı algoritması yoksa bu probleme NP-Zor problem adı verilmektedir. O halde, $T(n)=O(2^{100})$ çalışma süresi olan algoritmaya sahip problemin de NP-Zor olduğu söylenebilir. Çünkü çözümü için üssel bir algoritmaya sahip olsa da polinom zamanlı bir algoritması olmadığı kabul edilmektedir.

Bir problemin polinom zamanlı algoritmasının şu an bilinmiyor olması, olamayacağı anlamına gelmez.

Karmaşıklığın sınıflanması için daha çok karar problemleri kullanılmaktadır. Karar problemleri çözümü evet/hayır seçeneklerinden oluşmaktadır. Optimizasyonda kullanılan herhangi bir amaç fonksiyonun maksimum ve minimum yapılması söz konusudur. Eğer bu fonksiyonu maksimum için $\geq K$ (minimum için $\leq B$) şeklinde K veya B sabit sayısı ile eşitsizliğe dönüştürsek optimizasyon problemi karar problemine dönüşmüş olur.

Karmaşıklığın temelde iki başlık altında sınıflandığı görülmektedir (Dastidar, 2003, s. 14,17).

P-Sınıfı: Bütün karar problemlerinde doğru olan evet/hayır cevabına polinom zamanda ulaşmayı mümkün kılan algoritmaları içeren kümeye P-sınıfı adı verilmekte ve kısaca "P" şeklinde gösterilmektedir.

NP-Sınıfı: Verilen uygun bir tahmin için tahminin doğru olduğu evet/hayır cevabını polinom zamanda araştırarak bir ispatı olan bütün karar

problemlerini içeren kümeye NP-sınıfı adı verilmekte ve “NP” şeklinde gösterilmektedir.

Eğer bir karar problemi NP-sınıfında yer alıyor ve NP-sınıfındaki tüm problemler bu probleme dönüştürülebiliyorsa bu problem “NP-tam” olarak tanımlanmaktadır.

Bir karar problemi NP-sınıfında olsun ya da olmasın, eğer NP-tam olan bir problem ona dönüştürülebiliyorsa bu probleme “NP-Zor” denmektedir.

$P=NP$ olmadıkça, eğer bir problem NP-tam veya NP-Zor ise, bu problemin polinom zamanlı çözümü yoktur.

1.4. Çözüm Yöntemleri

Cheung (1994), çoğu optimizasyon problemlerinin mümkün olan çözümleri için gerekli hesaplama sayısının problem boyutunun faktöriyel (n iş ve m makine için $(n!)^m$ adet küme elemanı) kadar olduğundan, optimum çözüm için tam sayma yapılmasının her zaman mümkün olmadığını belirtmiştir (Akyol, 2006, s. 11). Bu nedenle, genelde optimum garanti edilmeden optimum çözüme bir takım yaklaşımlar ortaya konmuştur. Bu yaklaşımların içinde tam çözüm yöntemleri ve sezgisel yöntemler vardır.

1.4.1. Tam Çözüm Yöntemleri

Bu yöntemler mümkün olan bütün çözüm kümesini araştırmak yerine kısıtları sağlamak şartıyla bunların bir kısmını araştırarak optimum çözümü bulmayı amaçlamaktadır. Fakat problemin boyutu büyüdükçe başarı şansı azalır. Bu yöntemler Dal-Sınır yöntemi ve dinamik programlamadır.

1.4.1.1. Dal-Sınır Yöntemi

Mümkün olan çözüm kümesi önce parçalara ayrılır, sonra her bir parça ayrı olarak incelenir. Sınır kelimesi çözüm kümesine ait en düşük sınırlar üretmeyi ifade etmektedir. Çözüm kümesinin herhangi bir parçasındaki en düşük sınır başka bir parçanın mevcut tamsayılı çözümünden daha büyükse düşük sınırın bulunduğu parça

muhtemel çözüm kümesinden çıkarılır (Pinedo, 2008, s. 564). Buna optimum çözüm bulunana kadar devam edilir.

1.4.1.2. Dinamik Programlama

Böl ve fethet yaklaşımı kullanılarak hesaplama sayısı azaltılmaya çalışılır. Bir grup alt problemin çözümlerini bularak orijinal problemin çözümünü bulmayı hedefleyen bir yaklaşımdır. Her alt problemin optimum çözümü bulunurken onun orijinal amaç fonksiyonuna katkısı da belirlenir. Her ardışık işlem basamağında, alt problem için optimum çözüm belirlenir ki bu daha önce çözülen alt problemlerin çözümünden daha da iyileştirilmiştir. Bütün alt problemler bittiğinde, orijinal probleme çözüm bulunmuş olur. Bu çözümde önceki bütün işlem basamaklarının bilgisi vardır (Pinedo, 2008, s. 571).

1.4.2. Sezgisel Yöntemler

Tam çözüm yöntemleri küçük boyutlu problemleri kısa sürede çözebilirler. Fakat çoğu çizelgeleme problemi NP-Zor olduğundan tam çözüm yöntemleri ile büyük boyutlu problemleri çözmek mümkün olmaz. Bundan dolayı, büyük boyutlu problemlere yaklaşık çözüm üretmek için çeşitli sezgisel yöntemler geliştirilmiştir (Yeşilyaprak, 2007, s. 15).

Dağıtım Kuralları (Dispatching Rules):

Tek amaç fonksiyonu olan problemler için oldukça iyi bir çizelge elde etmek için kullanılırdılar. Bu kuralların bir kısmı bazı çizelgeleme problemleri için optimum çözüm üretirlerken diğerleri içinde kabul edilebilir sezgisel yaklaşım olabilmektedir (Pinedo, 2008, s. 372). Aşağıda bunların popüler olanlarının bir kısmı verilirken, karmaşık üretim çizelgeleme problemleri için geliştirilen sezgisel yöntemlerden birkaçından Bölüm 2’de bahsedilecektir.

En Uzun İşlem Süresi (LPT)

İşler; işlem süresi artan sıralama ile sıralanır. Bir makine boşaldığı zaman işlem süresi en uzun olan ve henüz işlem görmemiş olan iş makineye yüklenir. Bu algoritma bir çizelgede maksimum tamamlanma zamanını en küçüklenmek için kullanılan bir yordamdır. Uzun işlem süresi olan işleri baştan makineye yükleyerek

sonunda uzun bir işten dolayı son işin tamamlanma zamanının olağanüstü bir şekilde artmasını engeller.

En Kısa İşlem Süresi (SPT)

İşler; işlem süresi azalan sıralama ile sıralanır. Bir makine boşaldığı zaman işlem süresi en kısa olan ve henüz işlem görmemiş olan iş makineye yüklenir. Bu algoritma toplam tamamlanma sürelerinin en küçüklenmesini gerçekleştiren optimum çözüm kümesi verir.

Öncelikli En Kısa İşlem Süresi (WSPT)

İşler; işlem süresinin öncelik katsayısına oranı (öncelikli işlem süresi) artan sıralama ile sıralanır. Bir makine boşaldığı zaman öncelikli işlem süresi en düşük olan ve henüz işlem görmemiş olan iş makineye yüklenir.

En Erken Teslim Tarihi (EDD)

İşler; teslim tarihi en erken olandan en geç olana doğru sıralanır. Yani teslim tarihine göre artan sıralama yapılır. Bir makine boşaldığında ise teslim tarihi en erken olan ve henüz işlem görmemiş olan iş makineye yüklenir.

1.4.3. Yerel Araştırmalar

Çözümü NP-Zor olan üretim çizelgeleme problemleri için iki şekilde sezgisel yöntem geliştirilmektedir. Ya sıfırdan yaklaşık bir çözüm üretilmesi ya da mevcut bir çözüm üzerinden daha iyi çözümlerin geliştirilmesi şeklinde olmaktadır. Yerel araştırmalar ikinci için önemli bir sınıf oluşturmaktadır. Optimum çözümü garanti etmez. Genellikle mevcut çözümün komşusu olan daha iyi bir çözüm bulmaya çalışır (Pinedo, 2008, s. 378). Bu başlık altında Tabu Arama, Benzetilmiş Tavlama ve Genetik Algoritma sezgisel yöntemleri açıklanmıştır.

1.4.3.1. Tabu Arama

Optimizasyon problemleri için optimuma yakın bir çözüm elde etmek üzere kullanılan bir yaklaşımdır. Komşu çözüm kümelerini mümkün olan bütün çözümlerin kümesi olan T içinde amaç fonksiyonu f 'yi en küçükleyen t^* 'ın ($t^* \in T$) araştırılmasını içeren bir metottur.

Komşu çözüm kümeleri $N(t)$ şeklinde tanımlanırken, her bir çözüm için tek tek hesaplama yapılır. Komşu çözüm kümelerinin bulunmasında ise t 'nin yani mevcut en iyi çözümün kısmi değişimi tanımlanır ki buna "hareket" adı verilir.

Mümkün olan başlangıç çözümü t^c 'nin komşu çözüm kümeleri $N(t^c)$ araştırılır. t' amaç fonksiyonunu en iyi yapan sonraki çözüm olarak seçilir ki;

$$f(t') \leq f(t'') \quad \forall t'' \in \{N(t^c)-t'\} \text{ ve } t' \in N(t^c)$$

Bu çözüm sonraki çözüm $f(t') > f(t^c)$ olduğu halde de yapılır. Çünkü bu durum yerel optimuma takılmayı önler. Fakat bu çözümde turlayıp aynı noktaya dönmeyi mümkün kılar. Turlamayı engellemek için, tabu listesi L adı verilen ℓ uzunluğunda olan ve en son ℓ işlem basamağına geri dönmeyi engelleyen bir yapı tanımlanır. İlaveten, tabu listesinin getirdiği iyi bir araştırma yapmayı engelleyen katı kurallarını esneten "nefes aldırma kriterleri" o zamana kadar bulunmuş en iyi çözümden daha iyisine ulaştırabilir.

Tabu arama işlemi amaç fonksiyonu f 'nin en iyi değeri biliniyorsa ona yeterince yakın bir çözüm elde edilince durur. Bilinmiyorsa, belirli bir işlem sayısı sonucunda elde edilmiş olan amaç fonksiyonu daha iyileştirilemez ise veya belirli bir zaman aşılmış ise işlem durur.

Tabu arama algoritması şu şekilde sıralanabilir:

Varsayımlar:

t^* : o zamana kadar bulunmuş en iyi çözüm kümesi

K : işlem sayısı

Adım 1: Başlangıç çözümünü seç $t \in T$; ve $t^* = t$ ve $K = 0$ olsun

Adım 2: $K = K + 1$ ve $N(t, K)$ 'nin komşu çözüm kümelerinden \tilde{N} kümesinin elemanları tabu listesinde yoktur veya olsa da esnetme kriterlerinden en az birini sağlıyordur.

Adım 3: \tilde{N} kümesinde amaç fonksiyonunu en iyi yapan çözüm (t) seçilir.

Adım 4: Eğer $f(t) \leq f(t^*)$ ise $t^*=t$ olsun.

Adım 5: Tabu listesi ve esnetme kriterleri yenilenir.

Adım 6: Eğer durma şartları sağlanmış ise durulur, değilse Adım 2'ye gidilir.

Bazı durma kriterleri şöyledir:

- $N(t, K+1) = \emptyset$
- K sayısı izin verilen en çok işlem sayısından büyüktür
- Amaç fonksiyonundaki en son iyileştirme üzerinden belirli bir işlem sayısı geçmiştir.
- Optimum çözüm elde edilmiştir((Pezzella ve Merelli, 2000, s. 301-303).

1.4.3.2. Benzetilmiş Tavlama

Katı cisimlerin tavllanması (yüksek sıcaklığa ulaştırıldıktan sonra yavaş yavaş soğutulması) ile optimizasyon problemlerinin çözümünün benzeştirilmesi temeline dayanır. Bu nedenle benzetilmiş tavlama adını alır (Laarhoven ve Aarts, 1987, s. 7)

Tavlama İşlemi:

- Belirli malzemelerin sertliğini ve dayanımını artırmak için uygulanan ısıtma işlemidir.
- Malzeme çok yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılır ki atomların hareket oranı artırılır.
- Yavaşça soğutulurken, atomlar en düşük enerji seviyelerine geri dönerler.
- Eğer yeterince yavaş soğutulursa, atomlar enerji seviyesinin genel minimum olduğu tam kristal yapısında durağan hale gelir.
- Çok hızlı soğutulursa, atomlar, yerel minimum enerji seviyesinden kaçamayıp düzensiz kristal yapısına sebep olabilir (Leiden University: LIACS Natural Computing Group, s. 9).

Bu yöntem taklit edilerek optimizasyon probleminin çözümünde uygulanan benzetilmiş tavlama algoritması basamakları şöyledir:

Adım 1: Bir başlangıç çizelgesi oluşturulur. Sıcaklık (T) çok yüksek bir değere atanır.

Adım 2: Başlangıç çizelgesi daha önce belirlenmiş bir kurala göre değiştirilir, hareket ettirilir.

Adım 3: Değişiklikten kaynaklanan maliyet fonksiyonundaki değişme hesaplanır.

Adım 4: Maliyet fonksiyonundaki değişme sıfırdan küçükse veya $e^{-\Delta C/T}$ ihtimalle değişimi (hareket) kabul edilir. Aksi takdirde Adım 2'ye gidilir.

Adım 5: Sıcaklık (T) değeri azaltılır. "Donma (katılaşma) noktasına ulaşıncaya kadar Adım 2'ye gidilir (Premchand, s. 5).

Üstünlükleri:

- Yerel minimumdan kurtulma şansına sahiptir.
- Optimuma yakınsamayı oldukça fazla sayıdaki işlem tekrarı ile garanti eder.

Zayıflıkları:

- Her bir sıcaklık seviyesindeki yeterli işlem sayısının ne olacağını tespiti zordur.
- Başlangıç sıcaklığının belirlenmesi zordur. Çok yüksek sıcaklık seçimi gereksiz işlem yapılmasına sebep olurken, çok düşük seviye seçimi de araştırmanın başarısını etkiler.

1.4.3.3. Genetik Algoritma

Genetik Algoritma (GA) problem çözme stratejisi olarak biyolojik evrimi taklit eden bir programlama tekniğidir. Bir problemin çözümü için GA'ya gereken girdiler şunlardan oluşur:

- Bir problemin potansiyel çözüm kümesi
- Bu çözüm kümesinin çeşitli yollarla kodlanmış olması
- Bir ölçüm aracı olarak kullanılacak her aday çözümü gerektiği gibi değerlendirecek uygunluk fonksiyonu

Bahsedilen aday çözümler daha önce çalışılmış ve elde edilmiş olanlar olabilir. GA bunları daha da geliştirmeyi hedefler. Fakat aday çözümler daha çok rastgele üretilmiş olanlar olur. Her aday çözümü GA uygunluk fonksiyonuna göre değerlendirir. Rastgele üretilmiş aday çözümlerin büyük bir kısmı uygun olmadığından elenir. Şans eseri birkaç tanesi problem çözümü için ümit verebilir. Bu

ümit vadeden aday çözümler yeniden üretilmek üzere tutulurlar. Bunların çoklu kopyaları oluşturulur ki bunlar birebir kopya değildir. Kopyalama sırasında rastgele bazı değişiklikler yapılır. Bu dijital yavrular yeni nesli oluşturur. Bunlar uygunluk değerlendirmesi ikinci turuna tabi tutulacak olan yeni aday çözüm kümesini oluştururlar. Bunlardan daha iyi çözüm üretemeyenler yine aday çözümler arasından silinir. Yine sadece şans eseri olmak üzere bunlardan bir kısmı mevcut probleme daha iyi, daha etkili çözümler üretebilirler. Yine aynı şekilde, bu kazanan (daha iyi) çözümler seçilir ve bunlar rastgele değişikliklerle yeni nesillere kopya edilirler. Yukarıdaki işlemler tekrar edilir durur.

Beklenen, popülasyonun (çözüm kümesi) ortalama uygunluğunun her bir turda artacağı ve bunu yüzlerce ve hatta binlerce turlayarak probleme çok iyi çözümler üretebileceğidir. Şaşırtıcı olan odur ki, GA'nın problem çözmede oldukça iyi ve başarılı olduğu farklı alanlarda zor problemlere çözüm üretmede kullanılarak görülmüştür.

Üstünlükleri:

- Diğer algoritmaların çoğu seri çalışırken, yani problemin çözüm kümesini bir yönde geliştirirken, GA çözüm kümesini birçok yönde keşfetmeye çalışır. Diğerleri yerel optimuma ulaştığında daha önce yapılmış bütün işlemleri iptal edilir. GA'nın herhangi bir yönde gelişme şansı olmadığı ortaya çıksa da, diğer ümit vadeden yönlerde optimum çözümü bulmak için çalışmalar devam eder.
- Çok büyük hacimli çözüm kümesi mevcut olduğunda çok yönlü çalışma GA'nın daha hızlı çözüm elde etmesini sağlar.
- Yerel optimumların çok olduğu bir çözüm kümesinde optimumu bulmada daha iyi performans gösterir.
- GA birden çok parametre ile çözüm üretmede oldukça başarılıdır. GA'nın çok kriterli amaç fonksiyonlarında farklı kriterleri en iyi yapan farklı çözümler üretebilmektedir.
- Problemler hakkında daha önce oluşturulmuş bilgiyi kullanmaması, yani rastgele çözümler ortaya koyması GA'yı üstün kılan nedenlerden biridir.

Zayıflıkları:

- Problem tanımlama iyi yapılmadığında gerçekleşecek rastgele değişikliklere uyumda sıkıntı olabilir.
- Uyumluluk fonksiyonu belirlenirken dikkat edilemez ise, probleme daha iyi çözüm bulmak mümkün olmayabilir.
- Uygunluk fonksiyonun iyi seçilmesi yanında GA'nın diğer parametreleri: popülasyon hacmi, mutasyon hızı, çoğalma ve seçme yöntemi ve sağlamlığına dikkat edilmezse iyi çözüm bulmada başarısız olabilir.
- Uygunluk fonksiyonu doğru olmayan problemlerin, yanlış yönlendirmeler sonucu genel optimumunu bulmakta zorlanmaktadır.
- "Prematüre yakınsaması" denen üretilen aday çözümlerin genel optimum yerine yerel optimuma yönelmesi, küçük hacimli popülasyonlarda sıklıkla rastlanmaktadır.
- Analitik olarak çözülebilen problemlerde, geleneksel yöntemlere göre daha başarısızdır (Morczyk, 2004).

1.5. Literatür Taraması

Son yarım asırdır, üretim çizelgeleme konusundaki çalışmalar giderek artan önemde devam etmektedir. Geçmişten günümüze incelenen problemlerin karmaşıklık seviyesinin arttığı görülmektedir. Bunda, bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerin olumlu katkısı olduğu açıktır. Üretim çizelgeleme problemi sınıflandırması esas olmak üzere yeni çözüm yaklaşımlarını da içeren bir literatür taraması sıralanmıştır.

1.5.1. Tek Makine Problemleri Çalışmaları

Jackson (1955)'a göre maksimum gecikmeyi en küçükleyen üretim çizelgesi için işlerin teslim tarihlerine göre azalmayan (en küçükten en büyüğe doğru) bir sıralama ile makineye yüklenmesi gerekmektedir. (Graham vd, 1979, s. 292)

W.E.Smith (1956)'e göre, işlerin mümkün olan en kısa sürede bitirilebilmesi için işlerin işlem süresi en küçükten en büyüğe doğru sıralanması ve bu sıra ile işlem görmesi gerekmektedir (Conway vd, 1967, s. 27). İşlere yüklenen maliyetlerin en düşük yapılabilmesi için tek makine iş yüklemesinin nasıl olması gerektiğinin

araştırıldığı aynı çalışmada, öncelik katsayısının işlem süresine bölünmesi ile elde edilen oranın artmayan sıralaması öncelikli (ağırlıklı) tamamlanma zamanını en küçükleyen çizelge olarak bildirilmiştir (Lawler ve Sivazlian, 1978, s. 564).

Çizelgelemede en çok önem verilen amaç bütün işlerin mümkün olan en kısa sürede bitirilmesi olsa da, belirli bir teslim tarihinden önce işlerin bitirilmesinin de dikkate alındığı bildirilmiştir. Teslim tarihinden önce işlem görmedeki başarısızlığın bir maliyeti olduğu düşünüldüğünde; bu kaybın genel olarak doğrusal olmayan maliyet fonksiyonunun olduğunu kabul etmenin daha gerçekçi olacağı ifade edilmiştir. Tek işlemcili (makine) her çizelgeleme probleminin işleri oluşturan işlemlerin parçalara bölünmeden bir optimum çözümü olduğunu göstermiştir. Ayrıca bunun sadece tek işlemcili çizelgeleme problemleri için geçerli olduğunu diğer çizelgeleme problemleri için işlemlerin bölünmesi gerektiğini belirtmiştir (McNaughton, 1959, s. 1-7).

Tek makine probleminde gecikmiş işlerin sayısını en küçüklemenin yolu, yapılacak işler teslim tarihine göre azalmayan sırada sıralandıktan sonra, gecikmiş ilk işe kadar olan sıralamadaki işlerden işlem süresi en büyük olan işin listeden çıkarılması esasına dayanmaktadır (Moore, 1968, s. 102-104).

Üretim çizelgeleme problemlerinin karmaşıklığını inceledikleri yazılarında Lenstra vd. işlerin öncelikli gecikme sürelerinin toplamını ve öncelikli gecikmiş işlerin sayısının toplamını en küçükleyen amaç fonksiyonlu problemlerin çözümlerinin NP-tam olduğunu göstermişlerdir (Lenstra vd, 1977, s. 356-357).

Du ve Leung, uzun süredir polinom zamanda çözülebilir mi yoksa NP-Zor mu olduğu araştırılan toplam geç bitirmenin en küçüklenmesi probleminin çözümünün NP-Zor olduğunu ispatlamışlardır (Du ve Leung, 1990, s. 483).

1.5.2. Paralel Makine Problemleri Çalışmaları

Makine çizelgelemede işlerin yapılmasında iki yol takip edilir. Ya, işler bir makinede işlem görürken herhangi bir anda işlem durdurulur, daha sonra başka bir makinede işlem görmeye başlayabilir. Ya da bir makinede işlem görmeye başladıktan sonra işlemin durdurulmasına izin verilmez. Yani iş o makinede

tamamen işlenir. Birincisine “iş/işlem parçalara bölünebilir”, ikincisine “iş/işlem parçalara bölünemez” tabiri kullanılacaktır. İşlemin parçalara bölünebilir olması problem çözmede performansı genelde artırmaktadır. Fakat aksi etkisinin olduğu örneklerde mevcuttur. (Brucker vd, 2003, s. 129)

Tek işlem basamağından oluşan işlerin farklı paralel makinelere atanması ve sıralanmasındaki hesap zorluklarının ve boyutunun azaltılması yollarının araştırıldığı çalışmada Horn, makine başına düşen ortalama iş yükünün iş sayısı/makine sayısı olduğu polinom zamanlı bir çözüm geliştirmiştir (Horn, 1973, s. 847).

Lawler (1983), işlemin parçalara bölünebildiği ve birbirinin aynı paralel makinelerde gecikmiş işlerin sayısının toplamını en küçükleyen amaç fonksiyonlu problemin çözümü NP-Zor olduğunu göstermiştir. Aynı problem tek tip fakat farklı hızdaki paralel makineler için tanımlandığında polinom zamanlı bir çözümün olduğu bildirilmiştir (Lawler ve Martel, 1989, s. 314).

Bruno vd. (1974) işlerin önceliklerinin olduğu, işlemin parçalanamadığı ve birbirinin aynı iki paralel makineden oluşan bir sistemde öncelikli tamamlanma zamanlarının toplamının en küçüklenmesi konusunda çalışmışlardır. Problemin Sırt Çantası (Knapsack) problemine dönüşümünü gerçekleştirmişlerdir. Sırt Çantası probleminin çözümünün NP-Zor olduğundan, problemin çözümünün NP-Zor olduğunu ispatlamışlardır. Diğer yandan; paralel makinelerde işin parçalanamadığı durumda maksimum tamamlanma zamanını en küçükleyen problemin çözümünün de NP-Zor olduğunu ortaya koymuşlardır.

Conway vd. (1967)'ne göre, işlem sürelerinin azalmayan sıralaması birbirinin aynı paralel makinelerde tamamlanma sürelerinin toplamını en küçükleyen çizelgeleme yöntemidir. İş öncelikleri söz konusu olduğunda Garey vd. (1979)'ne göre yeni problemin yani öncelikli tamamlanma sürelerinin toplamını en küçükleyen amaç fonksiyonun çözümü NP-Zor'dur (Skutella ve Woeginger, 2000, s. 63).

Baptiste (2000), Labetoulle vd. (1979)'nin polinom zamanlı çözüm ürettiği birbirinin aynı ve farklı hızlardaki paralel makinelerde işlemin parçalanabildiği durumlarda maksimum gecikmeyi en küçükleyen algoritma geliştirdiğini bildirmiştir. Ayrıca aynı çalışmada eşit işlem sürelerine sahip işlerin belirli bir sayıdaki birbirinin

aynı olan paralel makinelerde öncelikli gecikmiş işlerin toplamını en küçükleyen polinom zamanlı bir çözüm olduğunu ortaya koymuştur.

Horn (1973), birbirinden bağımsız paralel makinelerde işlerin toplam tamamlanma zamanını en küçükleyen amaç fonksiyonun polinom zamanlı çözümünün olduğunu göstermiştir. Eğer işlere öncelik verilirse, problemin çözümü NP-Zor hale gelmektedir. (Schuurman, 2001, s. 88)

İster işlem parçalara bölünebilsin isterse bölünemesin, paralel makinelerde toplam öncelikli gecikmeyi en küçükleyen bir polinom zamanlı algoritma bilinmemektedir. Toplam öncelikli gecikme problemine getirilebilecek diğer bütün özel varyasyonlar bu durumu değiştirmemektedir (Cheng ve Sin, 1990, s. 286)

Lenstra vd. iki veya daha fazla paralel makinede işlemin parçalara bölünemediği durumda, maksimum gecikmeyi en küçükleyen amaç fonksiyonlu çizelgeleme problemi çözümünün NP-tam olduğunu göstermişlerdir (Lenstra vd, 1977, s. 349).

1.5.3. Akış Tipi Üretim Çizelgeleme Problemleri Çalışmaları

Johnson (1954), iki makineli akış tipi üretim çizelgelemede çizelge akışını en kısa yapan bir algoritma geliştirmiştir. Bu algoritma işlemin parçalanabildiği ve parçalanamadığı durumlar içinde geçerlidir (Cho ve Sahni, 1981, s. 512).

Makine sayısı 3 ve üzeri olan akış tipi üretim sistemlerinde en kısa uzunluktaki çizelgeyi bulmanın mümkün olmadığı yani çözümünün NP-tam olduğu ve en küçük ortalama akışı sağlayan çizelgeyi bulmanın da ikiden fazla makinenin bulunduğu akış tipi üretim çizelgeleme için mümkün olmadığı gösterilmiştir (Garey vd, 1976, s. 117).

İki makineli akış tipi üretim çizelgelemede maksimum gecikmeyi en küçük yapan çizelgeyi bulmanın mümkün olmadığı, çözümünün NP-tam olduğu ispatlanmıştır (Lenstra vd, 1977, s. 349).

Üç veya daha fazla makineli, işlemin parçalara bölünebildiği akış tipi üretim sistemlerinde maksimum tamamlanma zamanını en küçük yapan özellikler

incelenmiş ve bunu sağlayan bir çizelgeyi bulmanın mümkün olmadığı ispatlanmıştır (Gonzalez ve Sahni, 1978, s. 51)

Her aşamasında birbirinin aynı paralel makinelerin olduğu iki aşamalı akış tipi üretim çizelgeleme probleminin çözümünün NP-tam olduğu ispatlanmış ve yaklaşık bir çözüm bulmak üzere sezgisel bir yöntem geliştirilmiştir. İkinci aşamasında tek bir makinenin olduğu özel durum için tasarlanan bu yöntemin en küçük akış süresini bulmadaki başarısı deneysel olarak incelenmiş ve artan iş sayısı ile etkisinin arttığı belirlenmiştir (Gupta J. N., 1988, s. 359).

Bir çözüm elde etmek amacıyla ilk aşamasında tek makine olan esnek akış tipi üretim çizelgeleme problemi analiz edilmiştir (Gupta ve Tunc, 1991, s. 1501). İkinci aşamadaki makine sayısı işlerin sayısına eşit veya daha fazla ise LPT çizelgeleme kuralının optimum çözümü verdiği bulunmuştur. İkinci aşamadaki makine sayısının işlerin sayısından daha düşük olduğu durumda kullanılmak üzere iki adet sezgisel yöntem geliştirilmiş ve akış süresi minimum çizelgeyi bulmadaki performansı test edilmiştir. Hesaplama sonuçları, önerilen algoritmaların etkinliğinin artan toplam iş sayısı ile doğru orantılı olarak arttığını ortaya koymaktadır.

Herhangi bir aşamasında birden fazla makinenin paralel olarak işlem gördüğü esnek akış tipi üretim çizelgeleme problemi için maksimum tamamlanma zamanının en kısa tutulmasını sağlayan çizelgenin bulunması araştırılmıştır. İki aşamalı akış tipi üretim sisteminin birinci veya ikinci aşamasında iki paralel makine olduğu ve işlemin parçalara bölünebildiği durumda bile bunun NP-Zor olduğu belirtilmiştir. İşlemin parçalara bölünemediği paralel iki makine yüklemesinde akış uzunluğunun en kısa tutulması NP-Zor olduğuna göre, esnek akış tipi üretim sisteminde herhangi bir aşamada iki paralel makinenin bulunması problemin çözümünün NP-Zor olmasını garanti etmektedir (Hoogeveen vd, 1996, s. 172).

1.5.4. Atölye Tipi Üretim Çizelgeleme Problemleri Çalışmaları

Atölye tipi çizelgeleme probleminin çözümünün NP-Zor olması araştırmaları daha çok özel durumların incelenmesi ve genele yönelik sezgisel yöntemlerin geliştirilmesine yönelttiği görülmektedir.

Garey vd. atölye tipi üretim çizelgelemenin karmaşıklığını incelemiş ve iki makineli atölye tipi üretim çizelgelemede, toplam tamamlanma zamanını en düşük yapan çözümün NP-Zor olduğunu bildirmişlerdir (Garey vd, 1976, s. 117).

İşlemin parçalara bölünebildiği ve bölünemediği durumda, makine sayısı iki ve üzeri olan atölye tipi üretim çizelgelemede optimum akış süresinin bulunması probleminin çözümünün NP-tam olduğu ve makine sayısı iki iken bilinen polinom zamanlı bir çözümün olmadığı belirtilmiştir (Gonzalez ve Sahni, 1978, s. 51)

Mutt ve Thompson (1963)'in 10 makine ve 10 işten oluşan ve 20 yıldır çözülemeyen ünlü atölye tipi üretim çizelgeleme problemi, önerilen bir dal-sınır metodu ile çözülmüştür. Metot, tek makine çizelgeleme problemini esas almaktadır. Hızlı seçim yaparak araştırma alanın sınırlanması sonucu aldığı (veri yapısının iyi seçimi) bazı öncül konumlar yardımıyla daha etkili hale getirilmiştir (Carlier ve Pinson, 1989, s. 164).

Atölye çizelgelemesinde kullanılabilir pratik, güvenilir, düşük teknolojik donanımlara sahip atölye ortamına uygun maliyetli iki aşamadan oluşan bir sezgisel yöntem geliştirilmiştir. Birinci aşamasında her seferinde bir işe başlayıp bitirmek üzere her iş atölye içinde makineleri bir bir dolaşarak işlem basmaklarını tamamlamaktadır. Bu ise maksimum tamamlanma zamanını minimum yapmak amacıyla her makinede adım adım gerçekleştirilmeye çalışılmaktadır. İkinci aşamasında birinci aşamada oluşturulmuş çizelgeyi kritik yol (maksimum tamamlanma zamanını belirleyen işlerin üzerinde yer aldığı) üzerindeki işlerin daha önce sıralanması imkanı araştırılır. Yöntem daha önce geliştirilmiş başka sezgisel yöntemlerle Mutt ve Thompson (1963)'in örnek problemi üzerinde denenerek elde edilen sonuçlar optimum sonuçla kıyaslanmıştır. Diğerlerine göre performansının daha iyi olduğu bildirilmiştir (Vanceesworan ve Townsend, 1993, s. 318-324).

Maksimum tamamlanma zamanı ve tamamlanma sürelerinin toplamını en küçükleyen atölye çizelgeleme probleminin karmaşıklığını tespit etmek amacıyla iş sayısının 3 olduğu özel durum incelenmiştir. Sonuçta, ister işlemler parçalara bölünebilsin isterse bölünemesin her iki amaç içinde 3 makineli ve 3 işli atölye

çizelgeleme probleminin çözümünün NP-Zor olduğu ispatlanmıştır. (Sotskov ve Shakhlevich, 1995, s. 237)

Birbirinin aynı paralel makinelerdeki amaç fonksiyonlarını minimum yapmaya çalışan üretim çizelgeleme problemleri, birim-işlem süresine sahip atölye tipi çizelgeleme problemine indirgenerek, daha önce karmaşıklık seviyesi (polinom zamanlı veya NP-Zor olduğu) bilinmeyen pek çok problemin çözümünün NP-Zor olduğu ispatlanmıştır (Timkovsky, 1998, s. 149)

1.5.5. Açık Tip Üretim Çizelgeleme Problemleri Çalışmaları

Açık tip üretim çizelgeleme problemlerinde akış tipi ve atölye tipi üretim çizelgeleme problemine göre daha basit olduğu için diğerlerine kıyasla polinom zamanlı çözüm ile daha çok karşılaşılmaktadır.

İki makineli açık tip üretim çizelgeleme problemi için bitiş süresini minimum yapan doğrusal zamanlı bir algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritma hem işlemin parçalara bölünebildiği hem de bölünemediği her iki durum için de geçerlidir. Aynı problemin ikiden çok makineli ve işlemin parçalara bölünebildiği durumundaki çözümü için iki adet polinom zamanlı algoritma elde edilmiştir. Ayrıca ikiden çok makineli ve işlemin parçalara bölünebildiği açık tip üretim çizelgeleme probleminin bitiş süresini minimum yapan çözümün mümkün olmadığı yani NP-tam olduğu gösterilmiştir (Gonzalez ve Sahni, 1976, s. 666-675)

Achugbue ve Chin (1982), iki makineli toplam tamamlanma sürelerini minimum yapan çözümün NP-tam olduğunu ortaya koymuşlardır. Du ve Leung (1993), aynı problemin çözümünün işlemin parçalara bölünebildiği durumda da NP-Zor olduğunu göstermişlerdir (Gonzalez T. , 2004)

İşlem ister parçalara bölünebilsin isterse bölünemesin, ortalama akış süresini (toplam tamamlanma zamanını) en küçük yapan açık tip üretim çizelgeleme probleminin basit bir versiyonu olan işlerin işlem süresinin (sıfırdan farklı olanlar için) aynı olduğu (birim işlem süresi) durumda bile çözümü NP-Zor'dur (Gonzalez T. , 1982, s. 57)

İşin hazır olma zamanının olduğu, işin parçalara bölünebildiği maksimum gecikmeyi minimum yapan açık tip üretim sistemi problemi doğrusal programlama problemi olarak düzenlenmiş ve doğrusal zamanlı bir çözüm elde edilmiştir (Cho ve Sahni, 1981, s. 517-518)

Maksimum gecikmenin minimum yapılması için iki makineli açık tip üretim çizelgeleme problemi incelenmiştir. İşin parçalara bölünebildiği durum için doğrusal bir algoritma sunulmaktadır. İşlemin parçalara bölünemediği durumda problemin çözümünün NP-Zor olduğu ortaya konulmaktadır. Gecikmiş işlerin sayısını en küçükleyen problemin işlemin parçalara bölünebildiği durumda çözümünün NP-Zor olduğu da belirtilmektedir (Lawler vd, 1981, s. 153).

Toplam gecikme süresini en küçükleyen açık tip üretim çizelgeleme probleminin çözümü NP-Zor olduğundan (tek makinede NP-Zor olduğundan yola çıkarak), makine ve iş sayısı çok olan problemleri çözebilecek etkili bir algoritma geliştirilmiştir. İki makineli açık tip üretim sistemlerinde denen yöntemin optimum değerden %2'den daha az sapma ile yaklaşık sonuç verdiği bildirilmektedir (Liaw, 2005, s. 173)

1.5.6. Yerel Araştırma Çalışmaları

Optimuma yakın daha iyi çözümler üretmek üzere geliştirilmiş yerel araştırmaya dayalı teknikler daha çok literatürde en iyi çözüm bulmanın mümkün olmadığı problemler üzerinde yoğunlaşmaktadırlar.

Tabu arama tekniği, atölye tipi üretim sisteminde genelleştirilen tek makine, paralel makineler, iş grupları, hazırlık süreleri, işin hazır olma zamanı ve teslim tarihlerinin oluşturduğu karmaşık makine çizelgeleme problemine uygulanmıştır (Valls vd, 1988, s. 277). Eğer problemin çözümünü bulmak mümkünse iş akış uzunluğunu minimum yapan çözümü bulmak, değilse en iyi yaklaşık sonuç amaçlanmaktadır. Tabu arama algoritması, uygulanabilir çözümlerin bulunduğu, bunların optimum olup olmadığının kontrol edildiği ve daha önce ulaşılmamış çözüm kümelerine ulaşmayı teşvik eden üç prosedürden oluşmaktadır. Algoritma rastgele üretilmiş 190'dan fazla problem üzerinde test edilmiştir. Optimum çözümü bilinen problemlerde algoritma %95 başarı ile optimum çözümlere ulaşmaktadır. Optimum

çözümü bilinmeyen zor diyebileceğimiz problemlerde ise başlangıç çözümüne göre oldukça iyi çözümler ürettiği ve kısa hesaplama sürelerinin olduğu bildirilmektedir.

Diğer bir araştırmada, permütasyon akış tipi üretim çizelgeleme problemini çözmek üzere tabu arama yaklaşımı önerilmektedir. Bu yaklaşımın verilen sıralamadan (çizelge) komşu çözümler üretmede daha basit bir teknik ve daha önce kullanılmamış birleşik bir yoğunlaşma ve sapma planı uyguladığı bildirilmektedir. Bu yeni özellikler sayesinde daha önceki tabu araması uygulamalarından daha gelişmiş bir uygulama elde edilmektedir. Ayrıca literatürde yer alan benzetilmiş tavlama algoritmalarından daha iyi sonuçlar bulunduğu ifade edilmektedir (Ben-Daya ve Al-Fawzan, 1998, s. 88).

Açık tip üretim çizelgelemede akış süresi toplamı veya ortalama akış süresini minimum yapmak üzere üretim çizelgeleme problemi incelenmiştir. Problemin çözümü NP-Zor olduğundan benzetilmiş tavlama ve genetik algoritma yaklaşımlarını kullanan iki algoritma verilmektedir. Benzetilmiş tavlama algoritması için birkaç komşu çözüm önerilmekte ve algoritmanın kontrol parametreleri ile test edilmektedirler. Genetik algoritma için iş ve makine işlem sırasını tanımlayan matriste bazı değişiklikler yaparak yeni nesil çözüm kümeleri üretilmektedir (Andersen vd, 2008, s. 1279).

Maksimum tamamlanma zamanını en küçükleyen birbirinin aynı paralel makinelerin çizelgeleme problemi oldukça önemli olmasına rağmen çok sayıda makine ve işlerden oluşan paralel makinelerin çözümünde pek çok zorluk vardır. Genetik algoritmaların oldukça etkili ve pratik çalışmalara uygunluğundan dolayı, optimizasyon problemlerinin çözümünde üstün olduğu görülmektedir. Birbirinin aynı paralel makinelerde maksimum tamamlanma zamanını minimum yapan bir tür genetik algoritma sunulmuştur. Birkaç farklı makine ve iş düzeneklerinin olduğu örneklere üzerinde yapılan uygulamalar önerilen genetik algoritmanın makine ve iş sayısı çok olan örneklere uygun ve etkili olduğu belirtilmektedir (Min ve Cheng, 1999).

2. ÜRETİM ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ

Üretim süreçlerinde karşılaşılan üretim çizelgeleme parametreleri işletmelere göre farklılıklar içerir. Çünkü işletmelerin kaynakları ve işleri birbirinin aynı değildir. Bu durum en düşük maliyetle mevcut makineleri en verimli şekilde kullanarak müşteri taleplerini karşılayacak üretimin yapılmasını herkes için karmaşık hale getirmektedir. Artan ürün çeşitliliği, üretim miktarı ve üretim kaynaklarının miktarı ve çeşitliliği üretim çizelgelemeyi daha da zor hale getirmiştir. İşletmeler tarafından ortaya konan üretim çizelgeleme probleminin çözümü ihtiyacı bu konuda çok sayıda araştırma yapılmasına neden olmuştur. Bu ise, üretim çizelgeleme probleminin çeşitli parametrelerle tanımlanmasını ve aynı şekilde tanımlanan probleme çözüm üretilmesini sağlamıştır.

2.1. Notasyon

Herhangi bir üretim çizelgeleme probleminin tanımlamada $\alpha | \beta | \gamma$ şeklinde bir gösterim kullanılmaktadır. “ α ” o probleme ait makine parametresini, “ β ” iş parametresini ve “ γ ” ise bu problemde hangi amaç fonksiyonun en iyi yapılmaya çalışıldığını göstermektedir (Graham vd, 1979, s. 288). Üretim çizelgelemede kullanılan bazı tanımlar ve üçlü gösterimin varyantları açıklanmıştır.

2.1.1. Tanımlar

İş ($J_j; j=1, \dots, n$): Bir iş birden fazla işlemden oluşabilir. Bir işi bir ürünün yapılması olarak düşünebiliriz. Her işlem ürünün oluşmasına katkıda bulunan bir aktivite olabilir. Örneğin boyama işlemi tencere üretim işinin bir işlemi olabilir. Tabii ki ürün tencere olacaktır. Genelde her iş bir işlemden oluşur. Fakat istisna olmak üzere akış tipi ve atölye tipi üretim sistemlerinde iş; farklı siparişlerin işlemlerinin farklı çizelgeleme oluşturması sebebiyle işlemlere bölünür (Hochbaum, 1999).

Makine ($M_i; i=1, \dots, m$): Makine işleri ve işlemleri yerine getirir. Farklı makine düzenekleri mevcut olup bunlar makine parametreleri başlığında detaylandırılmıştır.

İşlem süresi (p_{ij}): J işinin i makinesinde işlem görmesi için harcanan zamandır. Eğer işlem süresi makineden bağımsız ise veya tek makine mevcut ise işlem süresi p_j ile gösterilir.

Hazır olma zamanı (r_j): J işinin işlem görmek üzere hazır olduğu veya sisteme giriş yaptığı en erken zamandır.

Tamamlanma zamanı (C_j): J işinin bütün işlemleri yerine getirildikten sonra sistemden çıktığı zamandır. En son makinede işlem görerek işlemlerin tamamlandığı süredir. Her makine için işlem tamamlanma zamanı C_{ij} şeklinde gösterilir. J işinin i makinesinde işlem görmesinin bittiği anı ifade eder.

Teslim tarihi (d_j): J işini tamamlamak için idealde tanınan en son zamandır. Müşteriye işin teslimi için söz verilen teslim tarihidir. Teslim tarihinden sonra işi teslim etmek mümkün fakat istenmeyen bir durumdur.

Teslim tarihinden sapma (gecikme süresi) ($L_j=C_j-d_j$): J işinin tamamlanma zamanının teslim tarihinden sapması (farkı) dır. Tamamlanma zamanı teslim tarihinden büyükse pozitif, değilse negatif değer alır.

Geç bitme (tehir) süresi ($T_j=Max(0,L_j)$): J işinin teslim tarihinden sapmasının pozitif değeridir. Değer negatifse gecikme süresi sifıra eşittir.

İşin öncelik değeri (w_j): J işinin diğer işlere göre önemini gösteren öncelik değeridir. Örneğin, bir işi sistemde tutmanın gerçek maliyetini gösterir. Bu maliyet stok bulundurma maliyeti olabilir. Değerin yüksekliği bir an önce işlem görmesi ve sistemi terk etmesi gerektiği anlamına gelir.

Gecikmişlik göstergesi (U_j): J işinin gecikip gecikmediğini gösterir. J işinin gecikme süresi sıfırdan büyükse yani gecikme mevcut ise göstergenin değeri 1 değilse yani gecikme süresi sıfırdan küçükse göstergenin değeri sıfırdır.

2.1.2. Makina Parametreleri (α)

Tek Makine ($\alpha=1$)

İşleri yapmak üzere tek bir makine mevcuttur. Her işinde bir işlemi vardır. Her iş aynı makinede işlem görür.

Paralel Makineler ($\alpha=Pm$)

İşleri yapmak üzere m adet birbirinin aynı makine mevcuttur. Bu makineler paralel olarak sıralanmıştır. Her işin yine bir işlemi vardır. Fakat bu makinelerden herhangi birinde sadece bir kez işlem görür. P2 ifadesi sistemde iki adet birbirinin aynı paralel sıralanmış makine olduğunu ifade eder.

Akış Tipi Üretim Sistemi ($\alpha=Fm$)

Sistemde işleri yapmak üzere seri halde sıralanmış m adet makine mevcuttur. Her iş m adet makinenin her birinde işlem görmek zorundadır. Bütün işler aynı rotayı takip etmek zorundadır. Yani her iş örneğin önce 1 no'lu makinede sonra 2 no'lu makinede ve daha sonra diğer makineler olmak üzere aynı sırayı takip ederek işlemlerini sonlandırmalıdır. Her bir işin aynı makinedeki işlem süresi birbirinden farklı olabilir. Bir işin bir sonraki makinedeki işleminin yapılabilmesi için belirlenen rotadaki daha önceki makinedeki işleminin yapılmış olması gerekmektedir. F3 terimi sistemde üç adet seri olarak sıralanmış farklı makine olduğunu ifade eder.

Atölye Tipi Üretim Sistemi ($\alpha=Jm$)

M adet makinenin mevcut olduğu bu düzenekte her işin kendisi için özel bir rotası vardır. Bu rota hangi makineleri hangi sıra ile dolaşacağını göstermektedir. Her makineye iş yüklemesi yapılırken işin kendi özel rotasındaki önceki makinede işlemini tamamlamış olması gerekmektedir. Ayrıca işlerin aynı makinede tekraren iş görmesinin mümkün olmadığı veya olduğu da ayrıştırılmalıdır. Bu ise iş parametreleri başlığında yapılmıştır. J4 ifadesi sistemde dört adet farklı makine olduğunu göstermektedir.

Açık Tip Üretim Sistemi ($\alpha=Om$)

n adet işin, m adet makinede ki işlemlerinin herhangi bir sıralama şartı olmaksızın yerine getirilmesidir. Her iş aynı anda en fazla bir makinede işlem görebilirken, her makine aynı anda en fazla bir işlem yapabilmektedir. O5 gösterimi sistemde beş adet farklı makine olduğunu ifade etmektedir.

2.1.3. İş Parametreleri (β)

Hazır olma zamanı (r_j): J işi hazır olma zamanından önce işlem göremez. Eğer β parametresinde r_j olmaz ise j işi herhangi bir zamanda işlem görmeye başlayabilir.

Bir işi bitirmeden başka işe başlama ($prmp$): J işi parçalı olarak işlem görebilir. Yani, bir iş bir makinede işlem görmeye başladıktan sonra bitene kadar kalmak zorunda değildir. Herhangi bir anda işlem durdurulabilir. Daha sonra aynı iş aynı makinede tekrar işlem göreceksen kaldığı yerden işlem devam eder. Yani parçalı işlem görme işlem süresi kaybına yol açmaz. Eğer β parametresinde “ $prmp$ ” ibaresi olmaz ise iş parçalı olarak yapılamaz.

Öncelik kısıdı ($prec$): Tek veya paralel makine sisteminde görülebilir. Bir veya daha çok iş tamamlandıktan sonra bir diğer iş işlem görmeye başlayabilmektedir. Yine “ $prec$ ” ifadesi β parametresinde yoksa işler öncelik kısıdına tabii değildir.

Sıra ($prmu$): Akış tipi üretim sistemlerinde her makine önünde bekleyen işler “İlk giren ilk çıkar” (FIFO) prensibine göre işlem görürler. Bu ise ilk makinedeki rotanın son makinede işlem bitene kadar korunacağını göstermektedir.

Yeniden işlem görme ($rcrc$): Atölye tipi ve akış tipi üretim sistemlerinde olabilecek bu uygulama ile bir iş bir makineye birden fazla defa işlem görmek üzere uğrayabilmektedir.

2.1.4. Amaç Fonksiyonu Parametreleri(γ)

Maksimum Tamamlanma Zamanı (C_{max})

$C_{max} = \text{Max}(C_1, C_2, \dots, C_n)$ sistemden çıkan en son işin tamamlanma zamanını gösterir. Bunun (C_{max}) en küçüklenmesi makine kullanım oranlarının en yüksek olması ve teslim tarihlerinde işlerin bitirilmesini mümkün kılar.

Toplam (Öncelikli) Tamamlanma Zamanı ($\sum w_j C_j$)

Bütün işlerin tamamlanma sürelerinin toplamını ifade eder. Bu toplam “akış süresi” olarak ta adlandırılır. Eğer öncelik söz konusu ise öncelikli tamamlanma zamanlarının toplamıdır. Bunun en küçüklenmesi çizelgelemenin oluşturduğu toplam stok maliyetinin en düşük olmasını sağlar.

Maksimum Gecikme (L_{max})

$L_{max} = \text{Max}(L_1, L_2, \dots, L_n)$ bitişin teslim tarihinden sapmalarının bütün işler içinde en büyük olanını gösterir. Bunun en küçüklenmesi müşterinin teslimatın gecikmesinden kaynaklanan şikâyetlerinin ve aynı zamanda stok taşıma maliyetlerinin en düşük olmasını sağlar.

Toplam (Öncelikli) Geç Bitme Süresi ($\sum w_j T_j$)

Tamamlanma zamanı teslim tarihinden sonra gerçekleşen ($L_j \geq 0$) işlerin sapma sürelerinin (T_j) toplamını ifade eder. Yine öncelik söz konusu ise öncelikli sapma sürelerinin toplamıdır. Bunun en küçüklenmesi müşterinin teslimatın gecikmesinden kaynaklanan şikâyetlerini ve stok taşıma maliyetlerini azaltmaya yardımcı olur.

Toplam (Öncelikli) Gecikmiş İşlerin Sayısı ($\sum w_j U_j$)

Tamamlanma zamanı teslim tarihinden sonra gerçekleşen ($L_j \geq 0$) işlerin sayısının (U_j) toplamıdır. Eğer öncelik söz konusu ise bu tür ($L_j \geq 0$) işlerin öncelikli sayısının toplamıdır. Bunun en küçüklenmesi yine toplam geç bitme süresinde adı geçen maliyet fonksiyonlarının değerini düşürür (Pinedo, 2008, s. 14-18).

2.1.5. Temel Varsayımlar

Üretim çizelgeleme yapılırken bütün problemler için geçerli olan şu iki varsayım geçerlidir.

- Bir iş bir anda sadece bir makinede işlem görebilir.
- Bir makine bir anda sadece bir işlem görebilir.

2.2. Tek Makine Problemleri

Çizelgelemede uygulanan farklı amaç fonksiyonlarına göre elde edilen farklı çözümler olacaktır. İşlerin makineye hangi sıra ile yükleneceğini gösteren bu çözümlerdeki farklılıklar amaçların farklılığından kaynaklanmaktadır. Aşağıda farklı amaçlara göre tanımlanmış örnek tek makine problemleri bulunmaktadır.

2.2.1. Toplam Tamamlanma Zamanının En Küçüklenmesi ($1||\sum C_j$)

Bu problemin optimum çözümü bulunmaktadır. SPT kuralı uygulanarak optimum çözüm elde edilmektedir. Bu kurala göre işlerin makineye yüklenmesinde işlem sürelerinin azalmayan sıralaması kullanılır (French, 1982, s. 37).

2.2.2. Toplam Öncelikli Tamamlanma Zamanının En Küçüklenmesi ($1||\sum w_j C_j$)

Problemin çözümünde WSPT kuralı uygulanmakta olup optimum çözümü bulunmaktadır. İşlerin makineye yüklenmesinde p_j/w_j oranlarının azalmayan sıralaması esas alınır. İşlerin öncelikleri sıfırdan büyük olmalıdır (Brucker, 2007, s. 78).

2.2.3. Maksimum Gecikmenin En Küçüklenmesi ($1||L_{\max}$)

EDD kuralı bu problemin çözümünde kullanılır. Bu kurala göre işlerin makineye yüklenmesinde teslim tarihi en erken olan işten en geç olana doğru işlerin sıralanması gerekmektedir. Bu sıralama optimum çözümü vermektedir. (Eren ve Güner, 2007, s. 5)

2.2.4. Toplam Gecikmiş İşlerin Sayısının En Küçüklenmesi ($1||\sum U_j$)

İleri yönlü bir algoritma (Moore algoritması) problemin çözümünde kullanılmaktadır. Şu şekilde çalışır. E erken işlerin kümesi, L ise gecikmiş işlerin kümesi olsun. Başlangıçta bütün işler E kümesindedir ve L kümesi boştur.

Adım 1: E kümesindeki bütün işleri EDD kuralına göre sırala.

Adım 2: Eğer E kümesindeki hiçbir iş gecikmemiş ise, işlemi durdur. E kümesi optimum çizelgeyi verir. Değilse, E kümesindeki ilk gecikmiş işi bul.

Adım 3: Bu ilk gecikmiş işe kadar olan sıralamadaki en uzun işlem süreli işi bul. Bu işi E kümesinden çıkar. L kümesine aktar. Adım 2'ye geri dön (Pinedo, 2008, s. 42).

2.2.5. Toplam Öncelikli Gecikmiş İşlerin Sayısının En Küçüklenmesi ($1||\sum w_j U_j$)

Çözümü NP-Zor olan problemin dinamik programlamaya dayalı polinom zamanlı çözümü mevcuttur (Lawler ve Moore, 1969, s. 77-80)

2.2.6. Toplam Geç Bitmenin En Küçüklenmesi ($1||\sum T_j$)

SPT kuralına göre yapılan sıralamada eğer bütün işler gecikmiş ise SPT kuralı optimum çözümü vermektedir. EDD kuralına göre yapılan sıralama eğer en fazla bir tane gecikmiş iş oluşturuyorsa EDD kuralı optimum çözümü vermektedir (Emmons, 1969, s. 702). Bu bir NP-Zor problemidir (Du ve Leung, 1990, s. 483). Tam çözüm yöntemleri kullanılarak elde edilmiş çözümleri vardır (Tian vd, 2005, s. 844).

2.2.7. Toplam Öncelikli Geç Bitmenin En Küçüklenmesi ($1||\sum w_j T_j$)

Bu belirgin bir NP-Zor problemidir (Graham vd, 1979, s. 293). Dinamik programlama ve dal-sınır yöntemleri kullanılarak çözümler elde edilmiştir (Potts ve Wassenhove, 1985, s. 363).

2.3. Paralel Makine Problemleri

Paralel makineler, aynı, tek tip (farklı hızda) veya farklı olabilirler. Birbirinin aynı olan makinelerde işlem süresi p_{ij} , p_j olarak gösterilir. İşlem süresi sadece işe bağlıdır. Tek tip (farklı hızda) makinelerde işlem süresi işin yanında makinenin hızına bağlı olduğu için $p_{ij}=p_j/s_i$ şeklinde ifade edilebilir. s_i ise i makinesinin hızını gösterir. Farklı makinelerde ise işlem süresi hem makineye hem de işe bağlı olduğu için $p_{ij}=p_j/s_{ij}$ şeklinde gösterilebilir. Burada s_{ij} i makinesinin j işini yapmadaki hızını ifade eder (Shmoys vd, 1991, s. 131).

Makine parametrelerini tanımlamada;

Bir birinin aynı paralel makineler ($\alpha=P_m$)

Tek tip(farklı hızda) paralel makineler ($\alpha=Q_m$)

Farklı paralel makineler ($\alpha=R_m$)

gösterimi kullanılmaktadır (Chen ve Powell, 1999, s. 78).

Paralel makine türlerinin uygulanmasına örnek olarak hizmet sektöründen bankalar örnek olarak verilebilir. Bankalar müşterilerine sundukları hizmetleri; para yatırma, para çekme ve kambiyo gibi adlarla adlandırmaktadırlar. Bir bankada para yatırma, para çekme ve kambiyo işlemleri farklı masa gruplarında gerçekleştiriliyor olabilir. Gelen müşteri hangi hizmeti talep ediyorsa o grubun masalarına yönlendirilir. Örneğin, para yatırma hizmetini almak isteyen müşteri bu hizmetin verildiği masalara yönlendirilir. Para yatırma masaları, birbirinin aynı paralel makinelere örnek olarak verilebilir. Eğer para yatırma masalarının bir kısmında stajyer öğrenci kullanılırsa bu farklı hızdaki paralel makinelere örnek olarak gösterilebilir. Ayrıca herhangi bir zamandaki iş yoğunluğundan dolayı para çekme masaları para yatırma hizmeti verebilir. Bu durumda masaların hem standart yapılan işleri farklı olabildiğinden hem de öğrenci stajyer olabileceğinden aynı işi yapış hızları farklı olabilecektir. Bu ise farklı paralel makinelere örnek olabilir (Wang ve Xing, 2006, s. 107)

Problemlerin karmaşıklığının artan makine sayısı ve çeşidi ile artmasından dolayı birbirinin aynı olan paralel makineler (P_m) üzerinde durulacaktır. İşlemin parçalara bölünebilmesine göre bir ayrıştırma yapılacaktır.

Paralel makinelerde çizelgelemede en çok kullanılan amaç fonksiyonları ise;

Maksimum Tamamlanma Zamanı (C_{max})

Toplam (Öncelikli) Tamamlanma zamanı ($\sum w_j C_j$)

Bitişin teslim zamanından sapmalarının en fazla olanı (L_{max})

şeklinde sıralanabilir (Pinedo, 2008, s. 111).

2.3.1. Maksimum Tamamlanma Zamanının En Küçüklenmesi ($P||C_{max}$)

Tek makinede pek fazla anlam ifade etmeyen bir iş bitmeden diğerine başlanabilme özelliği paralel makinelerde önem arz etmektedir. Paralel makinelerde aynı anda birden fazla makineye iş yüklemesi yapılabilmektedir. İşin bir an önce bitirilmesi işlemin parçalara bölünerek bu parçaların farklı zamanlarda farklı makinelerde yapılması üretim akış süresini özellikle C_{max} değerini düşürecektir.

- i. ***İşlem parçalara bölünemez:*** $P_m||C_{max}$ şeklinde genelleyebileceğimiz çizelgeleme problemi makine yüklerinin eşit dağıtılmasını hedeflediği için

önem arz etmektedir. Bu problemin en basit şekli olan $P2||C_{max}$ 'ın bile NP-Zor bir çizelgeleme problemi olması araştırmacıların bu konuda oldukça fazla sayıda çözüm yaklaşımları (sezgisel yöntem) üretmesini sağlamıştır. Bunlardan bir tanesi LPT kuralının uygulandığı bir sezgisel yöntemdir. Bu yöntemin ilk adımında m adet makineye m adet en uzun işlem süresine sahip iş $t=0$ zamanında yüklenir. Daha sonra işlemi sona eren ilk makineye beklemekte olan en uzun iş yüklenir. Böylece bütün işlemler sona erdirilir. En sonda kalan işlerin kısa işlem sürelerine sahip olması makine yüklerinin dengelenerek C_{max} süresinin en kısa tutulmasına yardımcı olur (Pinedo, 2008, s. 112).

- ii. **İşlem parçalara bölünebilir:** $Pm|prmp|C_{max}$ şeklinde gösterilebilen bu tür problemlerin (işlemin parçalara bölünebildiği) çözümü diğerine (işlemin parçalara bölünemediği) göre daha kolaydır. Bundan dolayı polinom zamanlı çözümler bulunabilmektedir.

Çözüm yöntemlerinden biri doğrusal programlamadır.

Bir diğeri ise aşağıda adımları verilen bir algoritmadır.

Adım 1: n adet işi bir biri arkasına gelecek şekilde bir makineye sıralayınız. Toplam tamamlanma zamanı bütün işlerin işlem süreleri toplamına eşittir. C_{max}^* toplam tamamlanma zamanı/toplam makine sayısı(m) bölümüne eşit veya ona en yakın büyük değerdir.

Adım 2: Tek makinede yapılan çizelgemeyi her bir parçanın uzunluğu C_{max}^* olacak şekilde m adet parçaya böl. Birinci parça $[0, C_{max}^*]$, ikinci parça $[C_{max}^*, 2C_{max}^*]$, üçüncü parça $[2C_{max}^*, 3C_{max}^*]$ ve sonrası benzer şekilde olmak üzere böl.

Adım 3: İlk dilimi $[0, C_{max}^*]$ birinci makinenin çizelgelemesi, ikinci dilimi $[C_{max}^*, 2C_{max}^*]$ ikinci makinenin çizelgelemesi ve sonrasını da benzer şekilde kabul et.

Sonuçta elde edilen çizelgeleme uygun bir çizelgedir. Bazı işlerin ilk parçası i makinesinde yapılırken ikinci parçası $i+1$ makinesinde yani bir sonraki makinede yapılmaktadır. İşlemin parçalara bölünebilmesine izin

verildiği için ve hiçbir işin işlem süresi C_{\max}^* 'tan büyük olmadığından uygun bir çizelgedir. Her makinenin tamamlanma zamanı $C_{\max}=C_{\max}^*$ olduğundan zaten optimum çözümdür. (Pinedo, 2008, s. 124).

2.3.2. Toplam (Öncelikli) Tamamlanma Zamanının En Küçükleme (P|| $\sum w_j C_j$)

Paralel makinelerde bu amaç fonksiyonu için işlemin parçalara bölünebilmesi toplam tamamlanma zamanında bir azalma oluşturmayacaktır.

- i. ***İşlem parçalara bölünemez:*** $Pm||\sum C_j$ şeklinde gösterebileceğimiz paralel makinelerde toplam tamamlanma zamanının en küçükleme probleminde de tek makinede olduğu gibi SPT kuralı optimum çözümü bulmada kullanılır. Bu kurala göre oluşturulan en kısa işlem süresine sahip işten en uzun işlem süresine sahip işe doğru yapılan küçükten büyüğe sıralama optimum çizelgedir (Afrati vd, 1999, s. 33). $Pm||\sum w_j C_j$ şeklinde gösterebileceğimiz toplam öncelikli tamamlanma zamanının en küçükleme problemi ise NP-Zor bir problemdir (Garey ve Johnson, 1979, s. 240). Bu problemin polinom zamanda çözümüne yönelik birtakım yaklaşımlar vardır (Skutella ve Woeginger, 2000, s. 64).
- ii. ***İşlem parçalara bölünebilir:*** SPT kuralı $Pm|prmp|\sum C_j$ şeklinde gösterilen işlemin parçalara bölünebildiği toplam tamamlanma zamanının en küçükleme problemi içinde optimum çözümü verir. Toplam öncelikli tamamlanma zamanının en küçükleme probleminde olduğu gibi işlem parçalara bölünebiliyor olsa da $Pm|prmp|\sum w_j C_j$ problemi hala çözümü NP-Zor olan bir problemdir (Graham vd, 1979, s. 308).

2.3.3. Maksimum Gecikmenin En Küçükleme (P|| L_{\max})

İşlemin parçalara bölünmesinin maksimum tamamlanma zamanı probleminin çözümüne olan olumlu etkisi maksimum gecikmenin en küçükleme de yansıtacaktır.

- i. ***İşlem parçalara bölünemez:*** $Pm||C_{\max}$ 'ın NP-Zor bir problem olduğundan yukarıda bahsedilmiştir. L_{\max} ifadesinde d_j değerlerinin yani teslim

tariflerinin sıfır olduğu kabul edilirse $L_{\max}=C_{\max}-d_j=C_{\max}-0=C_{\max}$ olur. Bu durumda $Pm||L_{\max}$ probleminin çözümünün de NP-Zor olduğu görülür. (Pinedo, 2008, s. 137)

- ii. **İşlem parçalara bölünebilir:** $Pm|prmp|L_{\max}$ probleminin polinom zamanlı optimum çözümü için çeşitli algoritmalar araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir. Hesaplama süresinin kısa olması dikkate alındığında L_{\max} değeri bir formül yardımı ile hesaplandıktan sonra, aşağıda verilen algoritma yardımı ile optimum çizelgenin tespiti önerilmektedir. (Baptiste, 2000, s. 11)

Adım 1: İşlerin mevcut teslim tarihlerine bulunan en küçük L_{\max} değeri eklendikten sonra işler teslim tarihleri küçükten büyüğe olacak şekilde sıralanır.

Adım 2: Her makinenin iş yapabileceği işlem süresi sıradaki ilk işin teslim tarihi olarak tespit edilir.

Adım 3: Şu ana kadar her makineye yüklenmiş işlerin toplam süresi sıradaki işin teslim tarihinden çıkarılarak makinenin iş yapabilme süresi tespit edilir.

Adım 4: Sıradaki işin işlem süresi bütün makinelerin iş yapabilme süresinden daha kısa ise iş; iş yapabilme süresi en küçük olan makineye atanır ve iş bitmiş olur.

Adım 5: İş 4.adımda işlem görememişse işin işlem süresinin makinelerin işlem yapabilme süresinden küçük olduğu ve büyük olduğu makineler mevcut olabilir. Büyük olduğu makinelerden en büyük işlem yapabilme süresine sahip olan makineye, işin toplam işlem süresinin makinenin işlem yapabilme süresi kadarı yüklenir. Kalanı ise küçük olduğu makinelerden en küçük işlem yapabilme süresine sahip olana yüklenir ve işlem tamamlanır.

Adım 6: Sonraki işe geçilir. Adım 3'ten olmak üzere bütün işler yüklenene kadar yukarıdaki adımlar tekraren yapılır (Sahni, 1979, s. 928).

2.4. Akış Tipi Üretim Çizelgeleme Problemleri

Akış tipi üretim çizelgeleme (FS), bütün işlerin birden çok üretim işlem basamağının olduğu ve bütün işlerin bu basamaklardan aynı sırada geçmek zorunda olduğu bir üretim sistemi için geçerlidir. Diğer bir ifadeyle 1,...,n kadar işin 1,...,m kadar makinede aynı sırada işlem görmesidir. i işinin j makinesindeki işlem süresi p_{ij} ile gösterilir. İşlem süresi sabit, pozitif veya sıfır olabilir, yani o makinede işlem görmeyebilir.

Mevcut varsayımlar şu şekilde sıralanabilir:

- Bir iş herhangi bir anda en fazla bir makinede işlem görebilir.
- İşlem parçalara bölünemez
- Bütün işler, çizelgelemeye başlamadan önce iş görmeye hazırdır.
- Hazırlık zamanı (kullanılacaksa) sıralamadan bağımsızdır.
- Her iş örneğin önce 1.makine, sonra 3.makine, sonra 4.makine olmak üzere sıralı olarak son makineye kadar sabit bir makine sırasını takip eder (Stützle, 1998, s. 1560).

FS Problemi; bütün makinelerde uygulanacak olan n adet işin sıralaması olduğundan maksimum tamamlanma zamanı (C_{max}) amaç fonksiyonu ile tanımlanmakta ve bununla sınırlandırılmaktadır. İşlem süresi bütün makineler için farklı ve birbirinden farklı olduğu durumda diğer amaç fonksiyonları ile tanımlanacak bütün problemlerin çözümü zaten NP-Zordur (Brucker, 2007, s. 174).

2.4.1. Permütasyon Akış Tipi Üretim Çizelgeleme

Her bir aşamada işlerin aynı sıralamayı takip ederek bir anda bir makinede işlem gördüğü ve sonra diğer makinede işlem gördüğü klasik akış tipi üretim çizelgeleme; Permütasyon Akış Tipi Üretim Çizelgeleme (PFS) olarak da adlandırılır. İki makineli PFS problemi için polinom zamanlı optimum çözüm vardır. Problem tanımında ikiden fazla sayıda makine varsa çözüm NP-Zordur.

- i. $F2||C_{max}$: Polinom zamanlı çözümü olan tek akış tipi üretim sistemi problemidir. Johnson(1954) tarafından geliştirilen ve aşağıda verilen algoritma optimum çözümü verir.

Adım 1: Bütün işler ($j=1, \dots, n$) işlem süresi p_{1j} , p_{2j} sütun bilgisi olmak üzere n adet sıra halinde sıralanır.

Adım 2: İşlem sürelerinin en küçüğü bulunur. Eğer bu süre 1.makineye aitse yani p_{1j} 'de ise bu iş sol çizelgede birinci sıraya yerleştirilir. Değilse yani 2.makineye aitse yani p_{2j} 'de ise bu iş sağ çizelgede en son sıraya yerleştirilir. Bu iş Adım 1'de oluşturulan listeden çıkarılır.

Adım 3: Kalan listenin işlem sürelerinin en küçüğü bulunur. Eğer bu süre 1.makineye aitse yani p_{1j} 'de ise bu iş sol çizelgede önceki işlerin en sağına sıraya yerleştirilir. Değilse yani 2.makineye aitse yani p_{2j} 'de ise bu iş sağ çizelgede önceki işlerin en soluna sıraya yerleştirilir. Bu iş Adım 1'de oluşturulan listeden çıkarılır.

Adım 4: Bütün işler bitene kadar Adım 3 tekrarlanır.

Adım 5: Sol ve sağ çizelgelerin konumlarını koruyarak birleştirilmesi ile optimum çizelge oluşturulur (Brucker, 2007, s. 175-178).

- ii. **$Fm||C_{max}$:** Bu problemin çözümü NP-Zor olduğundan optimum çözüme yakın çok sayıda sezgisel yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan uzun süredir en iyilerden kabul edilen ve polinom zamanlı çözüm üreten Nawaz vd. (1983)'den adını alan NEH sezgisel yönteminin algoritması şu şekilde sıralanabilir:

Adım 1: İşler bütün makinelerdeki işlem sürelerinin toplamı dikkate alınarak azalan bir sıralamaya tabi tutulur.

Adım 2: İlk iki iş alınır. Sanki diğer işler yokmuş gibi maksimum tamamlanma zamanı en az olacak şekilde sadece bu ikisi bütün makinelere atanır.

Adım 3: 3. işten sonuncu işe (n) kadar Adım 4 tekrar edilir.

Adım 4: Sıradaki işi daha önce atanmış olan işlerin arasına öyle yerleştirilir ki o ana kadarki yapılmış sıralamanın C_{max} değeri en küçük olsun (Taillard, 1990, s. 70).

2.4.2. Esnek Akış Tipi Üretim Çizelgeleme

Klasik akış tipinde her bir işlem aşamasında tek makine yerine birbirinin aynı olan makineler paralel olarak yerleştirilir ve çalıştırılırsa bu yapılan PFS'in bir genelmesi olup "çokişlemcili", "hibrid" veya "esnek" akış tipi çizelgeleme (FMS) adını alır.

İki aşamalı paralel makineli akış tipi çizelgelemenin maksimum tamamlanma zamanının (C_{max}) en küçüklenmesi probleminin çözüm kümesi NP-Zor'dur (Gupta vd, 1997, s. 173). Bundan olmak üzere, ikiden fazla aşamadan oluşan çok sayıda işten oluşan daha karmaşık esnek akış tipi üretim sistemlerinin çözümünün de NP-Zor olduğu söylenebilir.

Optimizasyon teknikleri kullanılarak oluşturulan çözümlerin çok aşırı bilgisayar hafızası ve hesaplama zamanı gerektirmesinden dolayı bu konuda oldukça fazla sayıda sezgisel yöntem geliştirme çalışmaları yapılmıştır. Kesin çözüm sunan optimizasyon teknikleri daha çok küçük boyutlu akış sistemleri için kullanılmıştır (Shaukat ve Loo, 1999, s. 114).

Bahsedilen problemlerin çözümlerinin NP-tam olması bunlar için iyi bir algoritma bulmayı zorlaştırmaktadır. Basit problemler için oluşturulan optimum çözümlerin, NP-tam olan problemlerin çözümü için iyi bir sezgisel yöntem olduğu tespit edilmiştir. Daha doğru bir çözüm elde etmek istenildiğinde Dal-Sınır Algoritması gibi daha sofistike bir teknik kullanılmıştır. Dal-Sınır Algoritması esnek üretim sistemlerinde optimum çözümü bulabilmek için yaygın olarak kullanılmıştır (Linn ve Zhang, 1999, s. 60).

Üç ve daha fazla aşamalı esnek akış tipi üretim sistemi problemi için kullanılan Dal-Sınır Algoritması $n=6$ iş ve $m=5$ kademedan oluşan ve her kademedede ortalama 2 makine bulunan bir problemin çözümü için 12 saatlik bir çözüm zamanı almaktadır (Brach ve Hunsucker, 1991, s. 98).

Zamanın para değerinin öneminin gittikçe artması araştırmacıları problemleri hızla çözecek sezgisel yöntemler üretmeye zorlarken bu yöntemlerin kıyaslanmasında da optimum çözüme yakın sonuç elde edilmesinin yanında çözüm için beklenen sürenin kısa olması da önemli bir parametre oluşturmaktadır.

Bu sebeple, her ne kadar PFS problemlerinin çözümü için tasarlanmış olmakla beraber FMS problemleri için verimliliği test edilen Dannenbring Algoritması büyük çaplı problemlerde çözüm süresinin kısa olmasından dolayı (test problemleri için ortalama değerler 0-2 sn arasında) optimum çözümden ortalama %15 sapmasına rağmen kullanılabilir (Santos vd, 1996, s. 691).

Dannenbring Algoritması: Johnson Algoritması üzerine kurulmuştur. Yani m aşamadan oluşan akış tipi üretim çizelgesi iki aşamaya a(i) ve b(i) şeklinde indirgenmekte ve buna Johnson Algoritması uygulanmaktadır (Tablo 2.1).

$$\begin{array}{l} \text{Adım 1: } a(i) = \sum_{j=1}^m (m - j + 1) * p(i, j) \\ \text{Adım 2: } b(i) = \sum_{j=1}^m j * p(i, j) \end{array} \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} i=1, \dots, n \text{ her iş için} \\ j=1, \dots, m \text{ (kademe)} \end{array}$$

Adım 3: Johnson algoritması uygulanarak iki aşamalı işin optimum çizelgesi bulunur.

Tablo 2.1 Dannenbring Algoritması'nın Johnson Algoritması'na Dönüşümü

İş	a(i)	b(i)
1	a(1)	b(1)
2	a(2)	b(2)
:	:	:
:	:	:
N	a(n)	b(n)

Kaynak: Santos, Daryl Lee., Hunsucker, John ve Deal, D.E. (1996); "An Evaluation of Sequencing Heuristics in Flow Shops with Multiple Processors", *Computers Industrial Engineering*, s. 686.

Adım 4: Bulunan çizelge FMS problemi için optimum çizelge yerine kullanılır (Santos vd, 1996, s. 686).

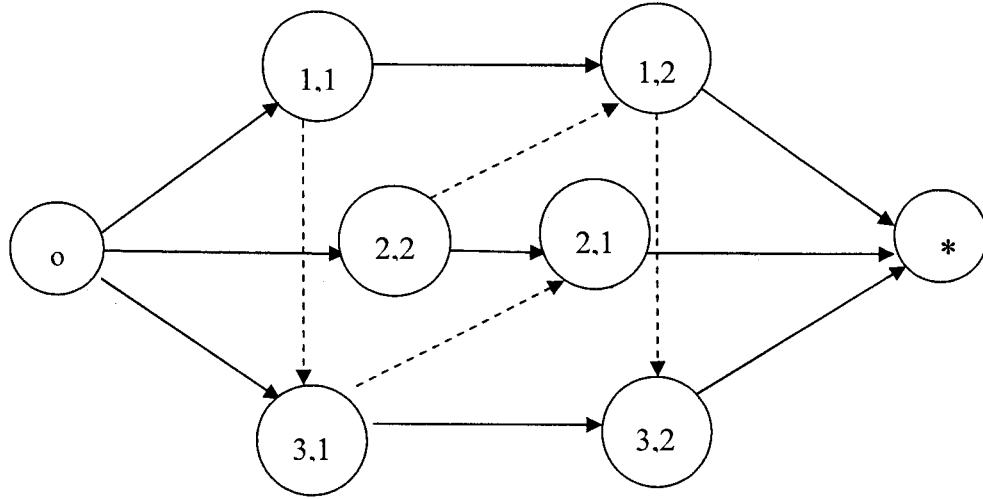
2.5. Atölye Tipi Üretim Çizelgeleme Problemleri

Atölye tipi üretim çizelgeleme (JSS) probleminde J_1, J_2, \dots, J_n 'den oluşan işlerin M_1, M_2, \dots, M_m 'den oluşan makinelerde işlem görmesi gerekmektedir. Her J_j işinin, $O_{j1}, O_{j2}, \dots, O_{jm}$ şeklinde işlem görme sırası mevcut olup, çizelgelerde bu sıralama

korunmalıdır. İşlemler farklı makinelerde yapılamaz. Yani O_{32} işlemini 3 nolu işin 2 nolu makinede iş görmesi zorunluluğunu gösterir. Bu işin yapılması için gerekli olan işlem süresi p_{32} şeklinde gösterilir. Ayrıca iş parçalanamaz ve makineler bir arada en fazla bir iş yapabilirler. Akış tipi çizelgelemede olduğu gibi işin bir an önce bitirilmesi önem arz ettiğinden; en son işin bitirilme süresi olan C_{max} değerinin en küçüklenmesi atölye tipi üretim çizelgelemenin amaç fonksiyonu olarak hedeflenir.

JSS probleminin modellenmesinde şebeke gösterimi kullanılmaktadır (Şekil 2.1). Burada daireler işlemleri (O_{jm}) gösterirken düz çizgili okla birbirine bağlanmış daireler ise işlemlerin sırasını göstermektedir. Kesikli çizgiler ise aynı makinede yapılan işlerin bağlanması için kullanılmıştır. Çizelgelemenin başlangıcını “o” ve bitişini “*” işaretli iki boş işlem temsil etmektedir (Carlier vd, 2004, s. 3-4).

Şekil 2.1 Atölye Tipi Üretim Çizelgeleme Probleminin Şebeke (Ağ) Gösterimi



Kaynak: Carlier, J., Peridy, L., Pinson, E., & Rivreau, D., (2004); “Elimination Rules for Job-Shop Scheduling Problem: Overview and Extensions”.In: J. Y.-T. Leung(eds), *Handbook of scheduling: algorithms, models, and performance analysis* (s. 1-21), Chapman & Hall/CRC, Londra, s.4.

Şebeke $\varphi=(G, D)$ gösterilirken $G(X, U)$ 'den oluşmaktadır. Bunlar ise;

- X : işlemleri
- U : işlem bağlantılarını $[j, m] \rightarrow [j, m+1]$
- D : makine bağlantılarını $[j, m] \rightarrow [j+1, m]$

ifade etmektedir.

t_{jm} : j işinin m makinesinde işleme başlama süresi kabul edildiğinde;

işlem sıralama kısıdı; $t_{jk} - t_{jm} \geq p_{jm}$ her $(j,m) \rightarrow (j,k) \in U$

makinede işlem görme kısıdı; $t_{jm} - t_{rm} \geq p_{rm}$ veya $t_{rm} - t_{jm} \geq p_{jm}$ her (j,m) ve $(r,m) \in D$ şeklinde tanımlanabilir.

JSS problemi karışık tamsayılı programlama olarak şu şekilde ifade edilebilir.

Min C_{max}

$t_{jm} \geq 0$ her $(j,m) \in X$

$t_{jk} + p_{jm} \leq C_{max}$ her $(j,m) \in X$

$t_{jm} + p_{jm} \leq t_{jk}$ her $(j,m) \rightarrow (j,k) \in U$

$t_{rm} + p_{rm} - M(1-X_{rj}) \leq t_{jm}$ } her (r,m) ve $(j,m) \in D$

$t_{jm} + p_{jm} - M(1-X_{rj}) \leq t_{rm}$ }

$X_{rj} \in \{0,1\}$ r işini j işi takip ediyorsa 1 değerini değilse 0 değerini alır.

M çok büyük bir tamsayı

Birkaç özel durum hariç, 2 ve 3 makine için dahi n sayıdaki iş için tanımlanan problemlerin çözümünün NP-tam olduğu bilinmektedir (Lenstra vd, 1977, s. 349). Dal-Sınır metodu JSS problemi için kesin çözüm vermektedir. Fakat makine ve iş sayısı arttıkça çözüm imkânsız hale gelmektedir. Bu nedenle bu konuda yapılan araştırmalarda çok sayıda sezgisel yöntem geliştirilmiştir. En popüler olanlardan “Darboğazı Öteleme Metodu” (Shifting Bottleneck Procedure) ele alınmıştır.

Darboğazı Öteleme Metodu (Shifting Bottleneck Procedure-SB): Doğrusal olmayan denklemlerde kullanılan klasik düşünce; bir değişkeni sabit tutarken diğerlerini onun üzerinden iyilemeye çalışmaktır. Sonra diğerini sabit tutarken, kalanların en iyilenmesi ve böylece devam eden düşünce burada uygulanmıştır. Dahası, eğer bu sabitlenen değişkenin optimizasyonunu azalan önem sırasında yapılabilirse, yerel optimum bulma ümidi daha yüksektir. Hatta genel optimum veya ona yakın bir değer olabilir. Burada değişkenin sabit tutulmasından kastedilen bir makinede işlem görecektir işlerin sırasının sabitlenmesidir.

Adım 1: Başlangıç şartlarının oluşturulması

- M: makine kümesi M_0 : çizelgelenmiş makine kümesi
- G: ağ (gösterimde sadece düz çizgili oklar kullanılır ki işlem yapılış sırasını gösterir)
- $C_{\max}(\emptyset)$: G şebeke gösteriminde en uzun yol

Adım 2: Seçilecek makinenin analizi

- Çizelgelemesi yapılacak her makine için $1|r_j|L_{\max}$ problemi çözülür (Tablo 2.2). Problem tanımlanırken bütün işler için hazır olma zamanı ve teslim tarihi kullanılır.

Tablo 2.2 $1|r_j|L_{\max}$ Problemi Çözüm Tablosu

Makine #:

<p>İş 1, 2, , n</p> <p>p_{ij} işlem süreleri $j=1, \dots, n$</p> <p>r_{ij} hazır olma zamanı; "o" düğümünden sonra i, j düğümüne olan süre</p> <p>d_{ij} teslim tarihleri; çizelgelenmiş makinelerin C_{\max} değerinden i, j düğümünden "*" düğümüne olan en uzun yol çıkarılarak bulunur</p>

Kaynak: Petrovic, S.; "Automated Scheduling". Erişim
<http://www.cs.nott.ac.uk/~sxp/Scheduling/JobShop.pdf> (03.04.2011)

Adım 3: Darboğaz seçimi

- En yüksek maliyetli makine darboğazı göstermektedir.
- Kesikli çizgili arkları ağda göster.
- Darboğaz olan makineyi M_0 kümesine ekle.
Gecikmiş işlerin en büyüğü değeri k makinesi için en büyükse k makinesi darboğazdır.

$$L_{\max}(k) = \max \{L_{\max}(i)\} \quad i \in (M - M_0)$$

Tek makine probleminde (Adım 2) L_{\max} değerini minimum eden sıralamayı k makinesinin çizelgelemesi olarak kabul et. Ağdaki ilgili kesikli çizgili arkları yerleştir. k makinesini M_0 kümesine dahil et.

$$C_{\max}(M_0 \cup k) \geq C_{\max}(M_0) + L_{\max}(k)$$

Adım 4: Daha önce çizelgelenmiş işlerin yeniden çizelgelenmesi

- Maliyeti düşüren sıralamayı bul ve ilgili kesikli çizgiyi ağa ekle.
 $\ell \in \{M_0-k\} \quad \forall \ell$ için ℓ makinesi ile ilişkili bütün kesikli arklar silinir. Makine ℓ için tek makine problemi formüle edilir. $L_{\max}(\square)$ değerini minimum eden sıralama yapılır. İlgili kesik çizgili arklar yerleştirilir.

Adım 5: Durum şartları

- Eğer bütün makineler çizelgelendi ise $M=M_0$. Değilse Adım 2'ye git.
(Petrovic)

2.6. Açık Tip Üretim Çizelgeleme Problemleri

Açık tip üretim çizelgeleme (OSS) problemi, M_1, M_2, \dots, M_m ile tanımlanan m adet makinenin, J_1, J_2, \dots, J_n ile tanımlanan n adet işi herhangi bir sıralama şartı olmaksızın O_{ij} şeklinde ($i=1, \dots, n, j=1, \dots, m$) ifade edilen işlemlerini $p_{ij} \geq 0$ olan işlem sürelerinde yerine getirmesidir. Burada şu sınırlamanın mevcut olduğunu hatırlatmakta fayda olabilir. Her iş en fazla bir makinede işlem görebilirken, her makine aynı anda en fazla bir işlem yapabilmektedir.

Akış tipi üretim sistemi ile açık tip üretim sistemi arasındaki en önemli fark birincisinde işler belirli bir sıra dâhilinde bütün makineleri ziyaret etmek zorunda iken, açık tip üretim sisteminde işlerin sıralanması önemsizdir. Atölye tipi üretim sisteminde her iş belirli sayıda makinede işlem görebilirken, akış tipi ve açık tip üretim sistemlerinde olduğu gibi bütün makinelerde işlem görmesi gerekmez. Fakat atölye tipi ve akış tipi üretim sistemlerinde işlemler belirli bir sıra dâhilinde yapılmalıdır. Açık tip üretim sistemini, işlerin aynı sırayı takip etmek zorunda olmadığı akış tipi üretim sistemi olarak tanımlayabiliriz.

Açık tip üretim sisteminde her J_i işinin toplam işlem görme süresi, bütün makinelerdeki işlem sürelerinin toplamı $p_i = \sum_{j=1}^m p_{ij}$ 'dir. Her M_j makinesinin toplam işlem görme süresi yaptığı (bütün) işlemlerin süresi toplamı $m_j = \sum_{i=1}^n p_{ij}$ olduğuna göre işlerin tamamlanma zamanı en az $\max(p_i, m_j)$ olacaktır (Gonzalez T. , 2004, s. 1).

$O2||C_{\max}$ ve $O2|prmp|C_{\max}$ şeklinde tanımlanan iki makineli açık tip üretim çizelgeleme problemleri için geliştirilmiş doğrusal zamanlı çözüm sağlayan algoritma vardır. Fakat üç ve daha fazla makineli problemlerin ($Om||C_{\max}$) çözümünün NP-tam olduğu gösterilmiştir. $Om|prmp|C_{\max}$ problemi içinde polinom zamanlı çözüm algoritması oluşturulmuştur (Gonzalez ve Sahni, 1976, s. 665).

2.6.1. Maksimum Tamamlanma Zamanının En Küçüklenmesi ($O||C_{\max}$)

İşlemin parçalara bölünebilmesi probleme getirilen kısıtın bir tanesini ortadan kaldırdığı için çözümü NP-tam olan probleme polinom zamanlı bir çözüm elde etme imkânı vermiştir.

- i. **İşlem parçalara bölünemez:** İki makineden fazla açık tip üretim sistemleri için maksimum tamamlanma zamanı ($Om||C_{\max}$) probleminin çözümü NP-tam'dır. Özel bir durumu olan $O2||C_{\max}$ problemi için geliştirilen algoritma doğrusal zamanlı çözüm vermektedir. Algoritma şu adımlardan oluşmaktadır (Gonzalez T. , 2004, s. 3-5).

Adım 1: J_i $i=1, \dots, n$ işleri

birinci makinede işlem süresi ikinci makineden büyük yada eşit olanları

$\{A_1(1), A_1(2)\} \in A = A_1, A_2, \dots, A_R$ $A_1(1) > A_1(2)$ ve $A_R(1)$ 'nin işlem süresi en büyük

birinci makinede işlem süresi ikinci makineden küçük olanları

$\{B_1(1), B_1(2)\} \in B = B_1, B_2, \dots, B_L$ $B_1(1) \leq B_1(2)$ ve $B_L(2)$ 'nin işlem süresi en büyük olanı gösterebilir.

A_R , B_L hariç diğer küme elemanları rastgele sıralanmıştır. Fakat hangi makineye önce yüklendi ise o makinede işlem tamamlandıktan sonra diğer makinede işlem görebilir.

Adım 2: İşleri şu şekilde sırala

1.makine $B \setminus \{B_L\}$ - A - B_L

2.makine B_L - $B \setminus \{B_L\}$ - A

Adım 3: İşleri şu şekilde sırala

- 1.makine B_L - $B \setminus \{B_L\}$ - A
 2.makine $A_R - B_L$ - $B \setminus \{B_L\}$ - $A \setminus \{A_R\}$

Adım 4: $B_L > A_R$ ise Adım 2'deki sıralama optimum çizelgeyi değilse Adım 3'teki sıralama optimum çizelgeyi verir.

$$C_{\max} = \max \left\{ \sum_{i=1}^n A_i(1) + \sum_{j=1}^m B_j(1), \sum_{i=1}^n A_i(2) + \sum_{j=1}^m B_j(2), \right. \\ \left. B_L(1) + B_L(2), A_R(1) + A_R(2) \right\}$$

- ii. **İşlem parçalara bölünebilir:** $O2|prmp| C_{\max}$ problemi için en son bahsedilen algoritma kullanılabilir. Zaten iş parçalara bölündüğünde problem basitleştiği için diğerine kullanılan çözüm bu problemin çözümünü de sağlar (Graham vd, 1979, s. 313).

$O_m|prmp| C_{\max}$ probleminin de bahsedilen basitleştirmeden dolayı polinom zamanlı çözümü vardır. Bu probleme ağ akış ve maksimum akış teoremleri kullanılarak üretilen çözüm algoritması şu şekildedir.

$$T_j = \sum_{i=1}^n p_{ij} \quad T_j : \text{makine } M_j \text{ 'nin çalışması gereken süre}$$

$$L_i = \sum_{j=1}^m p_{ij} \quad L_i : \text{iş } J_i \text{ 'nin toplam işlem görmesi gereken süre olsun.}$$

$$T = \max \{ \max L_i, \max T_j \} \quad i=1, \dots, n \quad j=1, \dots, m$$

T değeri C_{\max} için bir alt sınır oluşturur. Bu değeri gerçekleştiren bir çizelgenin optimum olması gerekir.

Bu çizelge adım adım oluşturulacaktır.

İlk önce n adet işimize bir m (makine sayısı) kadar boş (göstermelik) iş eklerken, m adet işimize de bir n kadar boş makine ekleyelim (Şekil 2.2).

Böylece;

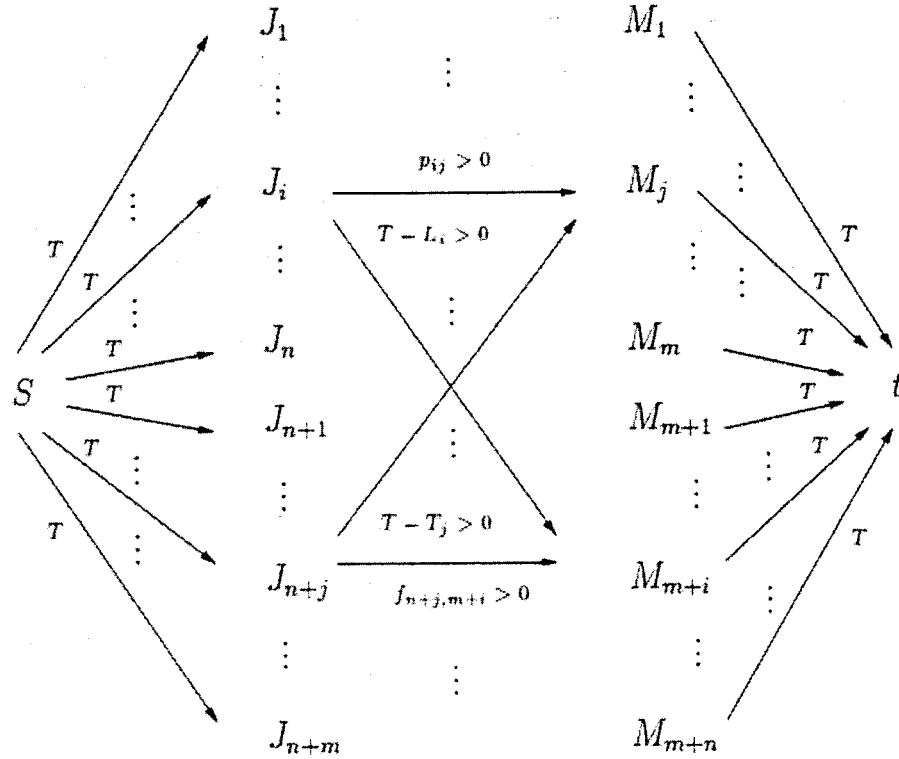
- J_i adet ($i=1, \dots, n+m$) iş düğümü
- M_j adet ($j=1, \dots, n+m$) makine düğümü
- Başlangıç düğümü "s" ve bitişi "t" düğümü

olan N ağının arkları

- $(s, J_i) \quad \forall J_i \quad (i=1, \dots, n+m)$ için ve T kapasiteli
- $(M_j, t) \quad \forall M_j \quad (j=1, \dots, n+m)$ için ve T kapasiteli
- $(J_i, M_j) \quad \forall J_i \quad (i=1, \dots, n), M_j \quad (j=1, \dots, m)$ için ve p_{ij} kapasiteli $p_{ij} > 0$

- $(J_i, M_{m+i}) \quad \forall J_i \quad (i=1, \dots, n)$ için ve $T-L_i$ kapasiteli $T-L_i > 0$
(J_i işini boş makine M_{m+i} 'ye bağlayan)
- $(M_j, J_{n+j}) \quad \forall M_j \quad (j=1, \dots, m)$ için ve $T-T_j$ kapasiteli $T-T_j > 0$
(boş iş J_{n+j} 'yi M_j makinesine bağlayan)

Şekil 2.2 Ağ Akış ve Maksimum Akış Şeması



Kaynak: Brucker, Peter. (2007); *Scheduling Algorithms*, Springer, Heidelberg, s.17.

Şu ana kadar tanımlanan arkların kapasitesine eşit bir akış gerçekleşse her düğüme giren toplam akış miktarı (T) düğümden çıkan akış miktarı (T) eşit olacaktır. Bu durum boş işlerin boş makinelere bağlandığı arklar için geçerli değildir. Arklarda dengeyi korumak üzere

$$\sum_{j=1}^m T_j = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} = \sum_{i=1}^n L_i$$

miktarında bir akış (f_{ij}) boş işlerden boş makinelere sağlanabilir. Yeni ark

- (J_{n+j}, M_{m+i}) her $(i=1, \dots, n), (j=1, \dots, m)$ için ve $f_{n+j, m+i}$ kapasiteli $f_{n+j, m+i} > 0$

ile N ağı tamamlandı.

$\Delta_1 = \min \{X_{ij} \mid (J_i, M_j)\}$ X_{ij} : i düğümünden j düğümüne olan akış miktarı olsun.

Aşağıdaki kurallara göre parçalı çizelgeler oluşturulabilir.

- J_i işini $[0, \Delta_1]$ aralığında M_j makinesinde çizelgele eğer $X_{ij} \in (J_i, M_j)$ ise
- J_i işini $[0, \Delta_1]$ aralığında çizelgeleme eğer $X_{ij} \in (J_i, M_{m+i})$ ise
- M_j makinesine $[0, \Delta_1]$ aralığında iş yükleme (boş bırak) eğer $X_{ij} \in (J_{n+j}, M_j)$ ise

Daha sonra, T 'yi $T - \Delta_1$ ile yenilerken, eşlemesi yapılan (i, j) arklarının kapasitesi Δ_1 kadar eksiltilir. Kapasitesi sıfır olanlar ise artık dikkate alınmaz.

Çizelgeleme zamanı $s=0$ 'dan $s=\Delta_1$ 'e artırılır. Yukarıdaki işlem basamakları (Δ_1 ile başlayan) sonraki aralık $[s, s+\Delta_2]$ için ve sonraki aralıklar için tekrar edilir. Ta ki $T=0$ olana kadar. O zaman zaten T uzunluğunda bir optimum çizelge bulunmuş olur. (Brucker, 2007, s. 15-18)

2.6.2. Maksimum Gecikmenin En Küçüklenmesi ($O(\|L_{\max})$)

İşlemin parçalara bölünebilmesinin getirdiği esneklik iki makineli açık tip üretim çizelgelemede L_{\max} için doğrusal zamanlı bir algoritma ile optimum çözüm sağlamaktadır.

- İşlem parçalara bölünemez:** ($O(\|L_{\max})$) probleminin iki makine için tanımlanan açık tip üretim sistemleri için maksimum tamamlanma zamanının en küçüklenmesini amaçlayan $O(2\|L_{\max})$ problemi için polinom zamanlı bir çözümün olmadığı yani NP-Zor olduğu gösterilmiştir (Lawler vd, 1981, s. 157-158). Daha fazla sayıda makineli problemler içinde aynı sonuca varılabilir.

- ii. **İşlem parçalara bölünebilir:** İki makineli açık tip üretim sisteminde L_{\max} değerinin en küçüklenmesi için sıralanan algoritmada yapılan bazı tanımlamalar şöyledir.

Birinci makine M_1 ve ikinci makine M_2 ile gösterilirken J_j işi için bunlarda yapılan işlem süreleri de a_j ve b_j şeklinde sıralı olarak tanımlanmaktadır.

$$A_j = \sum_{k=1}^j a_k \quad B_j = \sum_{k=1}^j b_k \quad d_1 \leq d_2 \leq \dots \leq d_n \text{ (azalmayan teslim tarihleri)}$$

x_j : M_1 boş M_2 meşgul iken d_j 'ye kadar kalan süre;

y_j : M_2 boş M_1 meşgul iken d_j 'ye kadar kalan süre;

z_j : M_1 boş ve M_2 boş iken d_j 'ye kadar kalan süre;

$$x_j + z_j = d_j - A_{j-1}$$

$$y_j + z_j = d_j - B_{j-1}$$

Adım 1: J_j işinin minimum işlem süresi M_1 için $\max\{0, a_j - x_j\}$, M_2 için $\max\{0, b_j - y_j\}$ 'dir.

Ancak, $\max\{0, a_j - x_j\} + \max\{0, b_j - y_j\} \leq z_j$ ise J_j işi başarılı bir şekilde çizelgelenebilir.

Yukarıdaki eşitlikler ve eşitsizlikte bazı düzenlemeler yapılırsa;

$$A_j \leq d_j$$

$$B_j \leq d_j$$

$$A_j + B_j \leq 2d_j - z_j$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada z_j değeri en küçüklenirse yani sıfırlanırsa geçerli bir çizelge elde edilmiş olur.

$$z_j = d_j - d_{j-1} + \max\{0, z_{j-1} - a_{j-1} - b_{j-1}\} \quad z_1 = d_1 \text{ ve } j=2, \dots, n$$

Geçerli bir çizelgenin varlığı için yukarıdaki dört denklemin çözülmesi gereklidir. Bunları sağlayan bir çizelge geçerli bir çizelgedir.

Adım 2: En büyük gecikmenin en küçüklenmesi için gecikme miktarını ifade eden L parametresini teslim tarihlerine ilave edersek; yukarıdaki denklemler şöyle olur:

$$A_j \leq d_j + L$$

$$B_j \leq d_j + L$$

$$a_j + b_j \leq d_j + L$$

$$A_j + B_j \leq 2(d_j + L) - z'_j$$

$$z'_j = d_j - d_{j-1} + \max\{0, z'_{j-1} - a_{j-1} - b_{j-1}\} \quad z'_1 = -\infty \text{ ve } j=2, \dots, n$$

Buradan da;

$$L^* = \max_j \left\{ \max \left\{ (A_j, B_j, a_j + b_j, \frac{1}{2}(A_j + B_j + z'_j)) \right\} - d_j \right\}$$

bulunur ki bu minimum L_{\max} değerini verir. Bu değer bulunması için n adımlık işlem basamağının yapılması gerekmektedir.

Eğer $d_j = 0 \quad j=1, \dots, n$ olursa $L^* = \max\{A_n, B_n, \max_j\{a_j + b_j\}\}$ 'ye dönüşür ki bu ise C_{\max} 'ın en küçük değerini verir.

Adım 3: En küçük L_{\max} değerini bulduktan sonra

$$a_j + b_j < z_j \text{ ise;}$$

Önce boş kalan makinede işi yükle daha sonra diğerinde yükle. J_j işi $d_j + L^*$ zamanından önce her iki makinede de işlemini tamamlar.

$$a_j + b_j \geq z_j \text{ ise;}$$

$d_j + L^* - z_j$ ile $d_j + L^*$ aralığında (z_j), J_j işini mümkün olduğunca M_1 makinesine yükle. Bu aralıkta yapılabilecek en büyük iş miktarı $a'_j = \min\{a_j, z_j, z_j - (b_j - y_j)\}$ ile elde edilir.

- a_j en küçükse iki makinenin de boş olduğu zamanda J_j işi önce M_2 makinesinde b_j süresi ile işlem görür sonra a_j süresinde M_1 makinesinde işlem görür.

- z_j en küçükse J_j işi $a_j - z_j$ süresinde M_1 makinesi boş M_2 dolu iken M_1 'de işlem görür. M_2 makinesinde b_j kadar işlem gördükten sonra z_j kadar işlemi M_1 makinesinde görür.
- $z_j - (b_j - y_j)$ en küçükse $(b_j - y_j) > 0$ 'dır. Çünkü aksi durumda burası hiçbir zaman en küçük olamaz. J_j işini M_1 makinesi boş M_2 dolu olduğu zamanlarda $a_j - z_j - (b_j - y_j)$ kısmını her ikisi de boş olduğunda $z_j - (b_j - y_j)$ kadar olan son kısmını M_1 makinesinde tamamla. M_2 makinesi boş M_1 dolu olduğu zamanlarda y_j kısmını her ikisi de boş olduğunda $(b_j - y_j)$ kadar olan son kısmını M_2 makinesinde tamamla.

z_j bölgesinde son giren ilk çıkar (LİFO) kuralı uygulanarak parçalama yapılmıyor. Başlayan iş o bölgeye denk geldiğinde işlemi tamamlanıyor. Ancak sonrasında diğer makinede iş görerek orada da işlemi sona eriyor.

Burada bahsedilen iş parçalama sayısının en çok $2n-3$ (n : iş sayısı) gibi bir rakam olduğu düşünülürse, $O_2|prmp|L_{max}$ probleminin yukarıdaki hesaplamalarda olduğu gibi doğrusal zamanda çözüldüğü görülmektedir (Lawler vd, 1981, s. 154-157).

$O_m|prmp|L_{max}$ problemi içinde $O_m|prmp|C_{max}$ probleminde olduğu gibi ağ akış ve maksimum akış teoremleri kullanılarak polinom zamanlı çözüm üretilebilir (Cho ve Sahni, 1981, s. 518).

3. ÜRETİM ÇİZELGELEME PROGRAMI VE UYGULAMASI

Buraya kadar açıklananlardan, oldukça farklı türde çizelgeleme problemlerinin mevcut olduğu anlaşılmaktadır. Herhangi gerçek bir üretim sisteminin doğrudan bir üretim çizelgeleme problemi ile eşleştirilmesi mümkün olmayabilir. Diğer yandan bütün çizelgeleme problemlerinin de bir bilgisayar programındaki tanımlamalar ile örtüşmesi mümkün veya ekonomik olmayabilir. Bundan dolayı değişik ve belirli sayıdaki çizelgeleme problemleri için tasarlanmış ve geliştirilmiş bilgisayar programları mevcuttur (Pinedo, 2008, s. 507).

İşletmelerde üretim planlama sorumluları kendi üretim çizelgeleme problemlerini belirledikten sonra bunun hangi tür bir üretim çizelgeleme problemi olarak tanımlanabileceğine karar vermelidir. Daha sonra tanımlanan üretim çizelgeleme problemine çözüm üreten bilgisayar programını kullanmalıdır. Eğer böyle bir program mevcut değilse imkânlar ölçüsünde böyle bir bilgisayar programının geliştirilmesi yoluna gidilebilir.

3.1. Üretim Çizelgeleme Programı (Lekin)

Lekin, New York Üniversitesi'nde akademik amaçla geliştirilmiş olan bir üretim çizelgeleme programıdır. Belirli sayıdaki çizelgeleme algoritmalarını ve sezgisel yöntemleri içermektedir. Bununla birlikte, Lekin kullanıcıya kendi sezgisel yöntemlerini programa ekleme ve performansını programda mevcut olan algoritmalar ve sezgisel yöntemlerle karşılaştırmaya imkân verecek şekilde tasarlanmıştır (Pinedo, 2008, s. 537). Programın menüleri ve menü başlıklarının hangi amaçla kullanıldıkları aşağıda açıklanmıştır.

3.1.1. Ana Menü ve Temel İşlev Menüleri

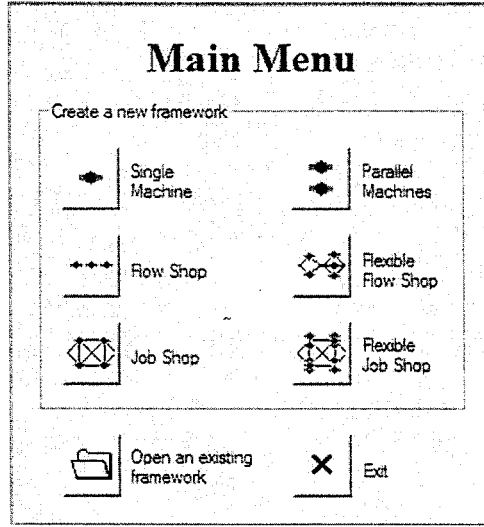
Programın ana menüsü:

- Tek makine
- Paralel makineler
- Akış tipi üretim
- Esnek akış tipi üretim

- Atölye tipi üretim
- Esnek atölye tipi üretim

alt menülerinden oluşmaktadır. Bunlar program ile çözüm üretilebilecek üretim sistem türlerini ifade etmektedir(Şekil 3.1).

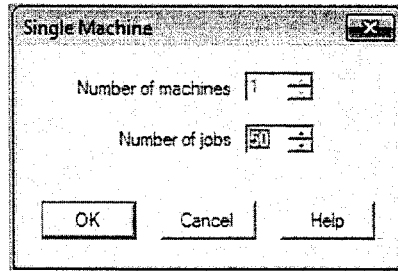
Şekil 3.1 Program Ana Menüsü



Makine ve iş sayısı tanımlama ekranı:

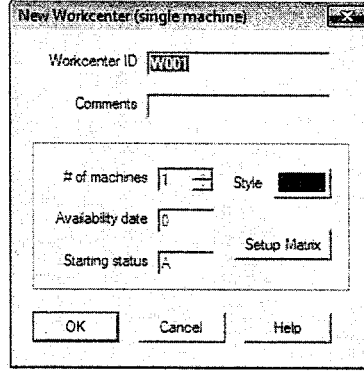
Bütün üretim sistemi seçenekleri alt menüleri makine sayısı ve iş sayısının belirtildiği bir ekran ile açılmaktadır. İş sayısı en çok 50 ile sınırlandırılmış olmak üzere istenildiği kadar seçilebilmektedir (Şekil 3.2).

Şekil 3.2 Makine ve İş Sayısı Tanımlama Ekranı



Tek makine için makine sayısı 1 ile sabitlenirken; paralel makineler için en çok 100, diğer üretim sistemleri için en çok 20 adet iş istasyonu ile sınırlandırılmıştır. Tek makine ve paralel makineler için makine tanımlama ekranı mevcut değildir. Fakat diğer alt menüler için iş istasyonu (workcenter) adına makine özellikleri tanımlanabilmektedir (Şekil 3.3).

Şekil 3.3 İş İstasyonu Tanımlama Ekranı



Akış tipi ve Atölye tipi üretim sistemlerinde her iş istasyonu sadece bir makineden ve toplamda 20 makineden oluşurken bunların esnek tipi olanlarında toplamda 100 makine sınırlaması ile en çok 20 adet iş istasyonuna bölünebilmektedir.

Makine ve iş sayısı seçimi yapılan ekrana onay verildikten sonra işe ait parametrelerin girişinin yapıldığı menü ekrana gelmektedir (Şekil 3.4). Parametre girişleri şu başlıkları içerir.

- İş etiketi
- Yorumlar
- Tanımlanan işin tekrar sayısı
- Hazır olma zamanı
- Teslim zamanı
- Öncelik değeri
- İşlem süresi
- Durumu

Şekil 3.4 İş Tanımlama Ekranı

Job ID: 0001
Comments:
of jobs to add: 1 Style:
Release date: Processing Time: 1
Due date: Status: A
Weight: 1
OK Cancel Help

Bu ekrana girilen değerler için onay verildiğinde sonraki iş parametre girişi yapılmak üzere aynı ekran tekrar gelmektedir. Ta ki en son iş de tanımlansın. İşlerin tanımlamasından sonra aşağıdaki ekran görüntüsü ile buraya kadar yapılan tanımlamaların (tek makinede makine tanımlaması yapılmıyor) şematik gösterimi yapılmaktadır (Şekil 3.5). Bu ekranın sol tarafında makine parkı sağ tarafında ise iş havuzu görülmektedir. Yukarıda tanımlanan parametreler satır bilgisi olarak verilmektedir.

Şekil 3.5 Makine Parkı ve İş Havuzu Ekranı

ID	MCo	Serial	Status
100		1	A

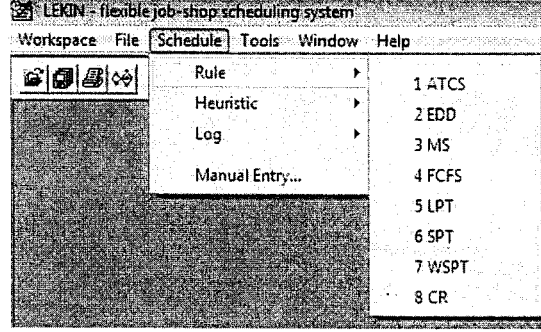
ID	Wgt	Prt	Due	Prnt	Stat
100	1	0	0	1	A
100	1	0	0	1	A
100	1	0	0	1	A

Bundan sonraki adımda çizelgeleme kuralı tercih edilerek çizelge çıktısının Gantt şemasında gösterimi gerçekleştirilir.

3.1.1.1. Çizelge Menüsü

Çizelgeleme kuralı tercih edilirken programda çalıştırılmış olur (Şekil 3.6). Çizelgelemede tercihler; kurallar (Rule), sezgisel yöntemler (Heuristics) ve kullanıcı tarafından tanımlanan (Manual) olmak üzere üç farklı şekilde yapılabilmektedir.

Şekil 3.6 Çizelgeme Kuralları Seçme Ekranı



Çizelgeleme Kuralları:

Tanımlanan işlerin tanımlanan makinelere atanmasında nasıl bir yol takip edileceğini belirleyen dağıtım kuralları değişik amaç fonksiyonları için optimum çözüm verebilmektedir. Bu kurallar şu şekilde adlandırılabilir.

- En Küçük Serbest Zaman (MS)
 - MS çizelgeleme kuralı teslim tarihinin işlem süresinden farkı en düşük olanı yani bitirilmesi en acil olan işi makineye önce yükler. Tek makinede maksimum gecikmenin en küçüklenmesi problemi için uygulanan bir sezgisel yöntemdir (Pinedo, 2008, s. 65).
- Hazırlık Süreli Görünen Gecikme Maliyeti (ATCS)

Tek makinede toplam öncelikli geç bitirme süresi probleminin hazırlık zamanlı özel durumunu içeren $1|s_{jk}|\sum w_j T_j$ probleminin çözümünde kullanılır. WSPT, MS ve “En Kısa Hazırlık Süresi Önce” (SST) kurallarını birleştiren bir yöntemdir (Pinedo, 2008, s. 375-376).
- En Erken Bitiş Süresi (EDD)
- İlk Gelen İlk İşlem Görür (FCFS)
- En Uzun İşlem Süresi Önce (LPT)
- En Kısa İşlem Zamanı (SPT)
- Ağırlıklı En Kısa İşlem Zamanı (WSPT)
- Kritik Oran (CR)

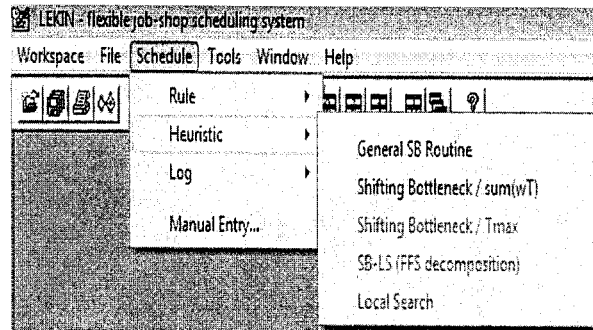
Teslim tarihine kalan zamanın kalan işlem süresine bölünmesi ile elde edilen orana göre (en küçük olan önce) işler makineye yüklenir. EDD ve LPT kurallarının bileşkesinden oluşur (Beddoe, s. 6).

Sezgisel Yöntemler:

- Genel darboğaz öteleme (SB) yöntemi
Değişik makine ortamlarında her amaç fonksiyonu için kullanılabilir (Pinedo, 2008, s. 541).
- SB/toplam ağırlıklı gecikme
Toplam öncelikli geç bitirme süresinin en küçüklenmesi için kullanılır.
- SB/En büyük gecikme
Maksimum geç bitirme ve maksimum tamamlanma zamanının en küçüklenmesi için kullanılır. (Beddoe, s. 7)
- SB-LS
Esnek akış tipi üretim çizelgelemede toplam öncelikli geç bitirme amaç fonksiyonunu hedefleyen bir yöntemdir. Darboğazı öteleme metodu ve yerel araştırma sezgisel yöntemlerinin karışımından oluşur.
- Yerel Araştırma
Akış tipi ve atölye tipi üretim çizelgeleme problemlerinde kullanılır. Maksimum gecikme ve maksimum tamamlanma zamanının en küçüklenmesi amaç fonksiyonları tanımlıdır. Amaç fonksiyonu seçildikten sonra programın kaç saniye çalıştırılacağı kullanıcı tarafından bilgisayara girilmesi gerekmektedir (Pinedo, 2008, s. 542).

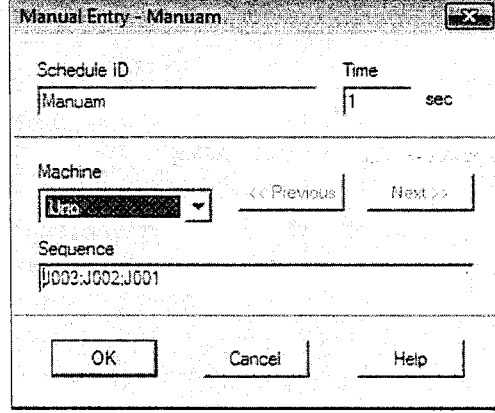
Kullanıcı isterse başka yöntemleri çalıştıran programları bilgisayara tanıtabilmektedir (Şekil 3.7).

Şekil 3.7 Sezgisel Yöntemler Seçme Ekranı



Çizelge menüsünde “Manual Entry” alt başlığı ile açılan ekrandan işlerin makineye yüklenme sıralaması kullanıcı tarafından tanımlanabilmektedir (Şekil 3.8).

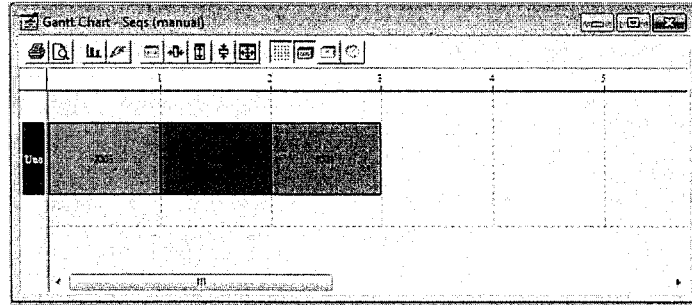
Şekil 3.8 Manüel Sıralama Giriş Ekranı



The screenshot shows a dialog box titled "Manual Entry - Manuam". It has four main sections: "Schedule ID" with the text "Manuam", "Time" with the value "1" and the unit "sec", "Machine" with a dropdown menu showing "Urb" and navigation buttons "<< Previous" and "Next >>", and "Sequence" with the text "J002.J002.J001". At the bottom, there are three buttons: "OK", "Cancel", and "Help".

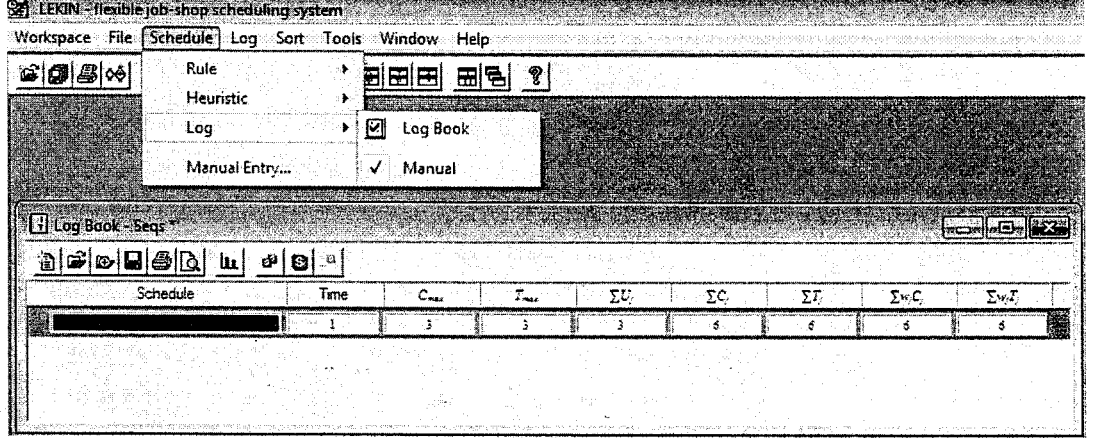
Üç farklı seçeneğin (rule, heuristic ve manual) herhangi birisinin tercihi sonucunda bir çizelge elde edilir (Şekil 3.9).

Şekil 3.9 Seçilen Kurala Göre Elde Edilen Çizelgenin Gantt Şeması



Son olarak; çizelge menüsünde bulunan “Log” alt başlığı ile uygulanan çizelgeleme kuralının değişik amaç fonksiyonları için elde ettiği sonuçları (Log Book) veri kütüğünde bulabilirsiniz (Şekil 3.10).

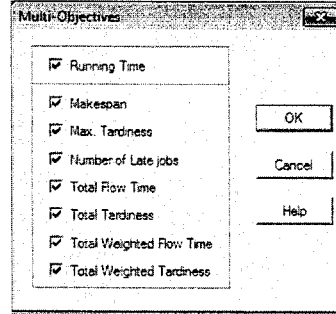
Şekil 3.10 Çizelgeleme Performans Göstergeleri Ekranı (Veri Kütüğü)



3.1.1.2. Araçlar (Tools) Menüsü

Araçlar (Tools) menüsünde “objectives” başlığında amaç fonksiyonlarının (performans göstergesi) hangisi için hesaplama yapılması gerektiği tanımlanabilmektedir (Şekil 3.11).

Şekil 3.11 Çizelgeleme Performans Göstergeleri Onay Ekranı



Seçilen çizelge kuralına göre oluşturulan çizelge kullanılarak hesaplaması yapılan amaç fonksiyonlarının sayısal değerleri ise “performance” başlığında sayısal değer olarak görülebilir (Şekil 3.12)

Şekil 3.12 Çizelgeleme Performans Göstergeleri Ekranı

The screenshot shows a dialog box titled 'Shop Performance' with a 'manual' button in the top left corner. The dialog contains a list of performance indicators with their corresponding values in a text input field:

Running Time	11
Makespan	3
Max. Tardiness	3
Number of Late jobs	3
Total Flow Time	6
Total Tardiness	6
Total Weighted Flow Time	6
Total Weighted Tardiness	6

At the bottom of the dialog, there are two buttons: 'Close' and 'Help'.

Daha önce seçilmiş farklı çizelgeleme kuralları için elde edilen bu değerler veri kütüğünde “log book” depolanmaktadır.

3.1.2. Yardımcı Menüler ve Görsel Destekler

İş ortamı parametrelerinin (Makine Parkı, İş Havuzu, Çizelge Sıralaması, Gantt Şeması, Amaç Fonksiyonları, Veri Kütüğü) bilgisayara kaydedilmesi, daha önce kaydedilenlerin tekraren yüklenmesi ve düzenlenmesi, yazıcı ve ekran çıktısının alınmasına imkân veren program menülerini içerir.

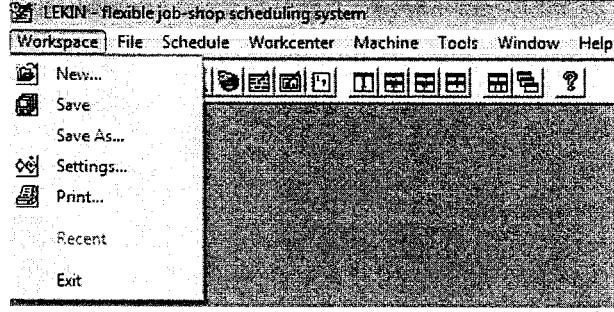
3.1.2.1. Çalışma Ortamı Menüsü

Bu menü yapılabilecekler alt başlık sırasıyla verilecek olursa (Şekil 3.13);

- “New”:
Yeni bir iş ortamı oluşturmak için Ana menü başlığında tanımlanan işlemler tekrarlanır.
- “Save”:
O ana kadar yapılmış bütün tanımlamalar (makine parkı, iş havuzu) ve çizelgeleme uygulama sonuçlarını gösteren Gantt Şemaları saklanır.
- “Save As”:
Bir önceki kayıt işlemi farklı bir ad ile saklanır.
- “Settings”:
Ana menüdeki iş ortamı alternatiflerinden (Tek makine, Paralel makineler, Akış tipi üretim, Esnek akış tipi üretim, Atölye tipi üretim, Esnek atölye tipi üretim) farklı biri seçilmek üzere kullanılır.
- “Print”:
Düzenlenmiş iş ortamı parametrelerinin bir kısmı veya tamamı yazdırılabilir, yazdırılmak istenilen yazıcı ve kâğıt ayarları yapılır.

“Recent”:
En son düzenlemiş ve kaydedilmiş iş ortamı bilgilerine doğrudan ulaşmamızı sağlar.

Şekil 3.13 Çalışma Ortamı Menüsü

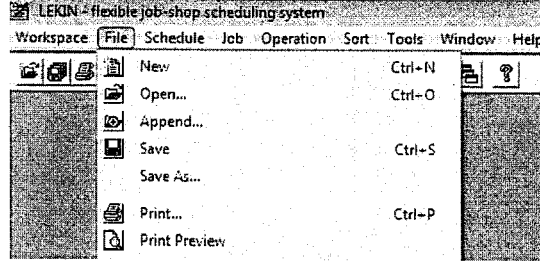


3.1.2.2. Dosya Menüsü

Dosya menüsü alt başlıkları (Şekil 3.14) şu amaçlar için kullanılabilir:

- “New”:
İş ortamını tanımlayan her bir parametrenin (Makine Parkı, İş Havuzu, Çizelge Sıralaması) tanımlanmamış (boş) olarak açılması için kullanılır.
- “Open”:
İş ortamını tanımlayan her bir parametrenin daha önce kaydedilmiş olanlarının(Makine Parkı, İş Havuzu, Çizelge Sıralaması) tekrar yüklenmesi için kullanılır.
- “Append”:
Boş veya daha önce tanımlanmış Makine Parkı ve İş Havuzu’na daha önce oluşturulmuş İş Havuzu ilave etmek için kullanılır.
- “Save”:
Makine Parkı, İş Havuzu ve Çizelge Sıralaması verilerinin kaydedilmesinde kullanılır.
- “Save As”:
Daha önce kaydedilmiş Makine Parkı, İş Havuzu ve Çizelge Sıralaması verilerinin başka bir adla kaydedilmesini sağlar.
- “Print”:
Makine Parkı, İş Havuzu, Çizelge Sıralaması, Gantt Şeması, Amaç Fonksiyonları Şeması ve Veri Kütüğü bilgilerinin ayrı ayrı yazdırılmasını mümkün kılar.
- “Print Preview”:
Yukarıdaki yazdırma işinden önce çıktığı görmek üzere kullanılır.

Şekil 3.14 Dosya Menüsü



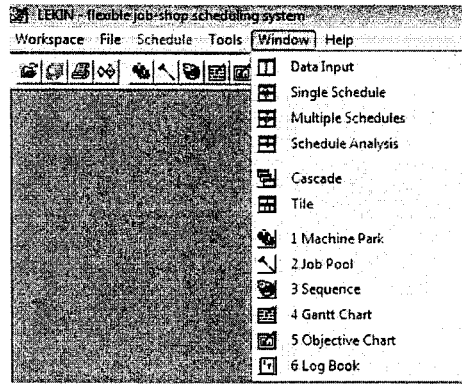
3.1.2.3. Pencere (Windows) Menüsü

İş ortamını tanımlayan parametrelerin ve çizelgelerin ayrı ayrı ve bir kısmının birlikte veya hepsinin tek ekranda gösterilmesinde kullanılır. Menü alt başlıkları şu pencerelerin görünmesini sağlar (Şekil 3.15):

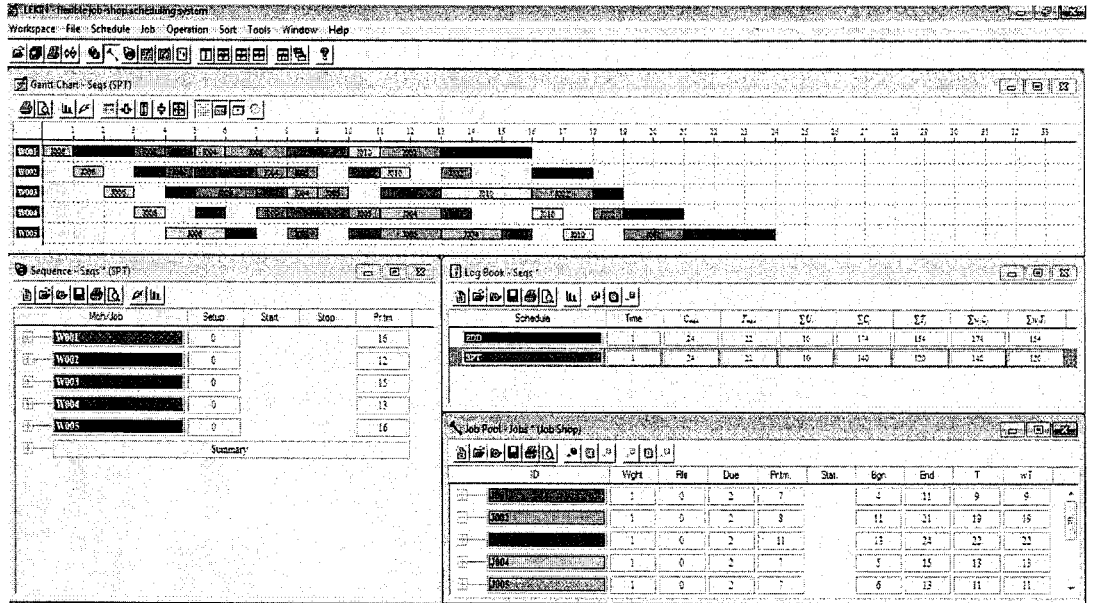
- “Data Input”: Makine Parkı ve İş Havuzu’nu birlikte gösterir.
- “Single Schedule”: İş Havuzu ve en son çizelgelemenin Çizelgeleme Sıralaması ve Gantt Şemasını gösterir.
- “Multiple Schedule”: Öncekilere ilaveten Veri Kütüğü penceresini tek ekranda gösterir (Şekil 3.16)
- “Schedule Analysis”: Seçilen amaç fonksiyonlarının şematik gösterilmesini ve farklı çizelgelerin performans göstergelerini tek ekranda gösterir (Şekil 3.17).
- “Cascade”: Mevcut pencerelerin üst üste kaydırılmış olarak sıralanmasını sağlar.
- “Tile”: Mevcut pencereler ekranın tamamını doldurur ve aynı anda görülebilirler.
- “Machine Park”: Makine Parkı’nın gösterilmesini ve seçilmesini sağlar.
- “Job Tool”: İş Havuzu’nun gösterilmesini ve seçilmesini sağlar.
- “Sequence”: Çizelgeleme Sıralamasının (makine bazında iş yüklemesini gösteren) gösterilmesini ve seçilmesini sağlar.

- “Gantt Chart”: En son çalıştırılan çizelgeleme kuralının çizelgesinin Gantt Şemasını gösterir veya seçer.
- “Objective Chart”: Seçilen amaç fonksiyonlarının şematik gösterilmesini sağlar.
- “Log Book”: Farklı çizelgeleme kurallarının oluşturduğu çizelgelerin performans göstergelerini aynı pencerede satır bilgisi olarak sıralar.

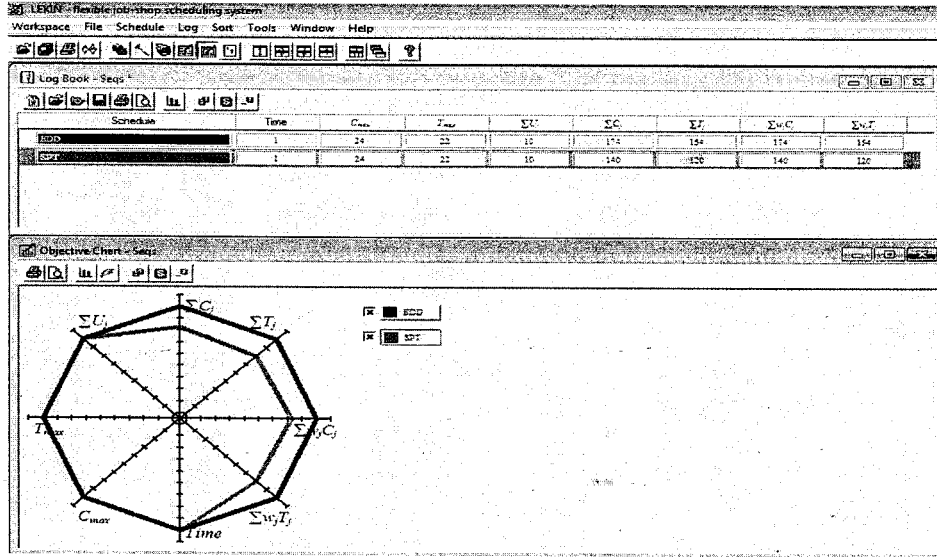
Şekil 3.15 Pencere Menüsü



Şekil 3.16 Çoklu Çizelgeleme “Multiple Schedule” Ekranı



Şekil 3.17 Amaç Fonksiyonları Performans Göstergeleri Şeması



3.2. Üretim Çizelgeleme Uygulaması

Üretim çizelgelemenin üretim hattında nasıl uygulandığını göstermek üzere mobilya imalatı yapan Gülben Mobilya Ltd.Şti örnek olarak alınmıştır. Mobilya imalatında makine yoğun üretimin yapıldığı panel mobilya imalatının yapıyor olması bu işletmenin seçiminde etkili olmuştur. Ayrıca, mobilya imalatında kesikli üretim sisteminin uygulanıyor olması da üretim çizelgeleme problemlerinin incelenmesini ve anlaşılmasını kolaylaştırmaktadır.

3.2.1. Gülben Mobilya Ltd.Şti'nin Tanıtımı

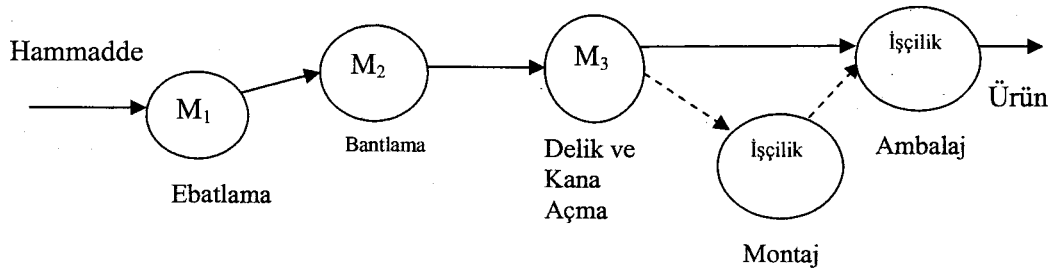
2000 yılında Ankara'da faaliyete başlayan Gülben Mobilya Ltd.Şti., 2.500 m² kapalı alanda büro mobilyası üretimi yapmaktadır. Üretiminde %80 oranla suntalam hammaddesini temel girdi olarak kullanılmaktadır. Farklı türlerde olmak üzere takım halindeki büro mobilyası çoğunlukla demonte olmak üzere müşteriye sunulmaktadır. Mevcut kurulu kapasitesi ortalama 5.000 takım/yıl veya hammadde cinsinden 150.000 m²/yıl'dır. Halen 30 personeli ile üretim yapmakta ve hizmet sunmaktadır.

3.2.1.1. İş Akışı

Mobilya üretiminin temel hammaddelerinden biri suntalamdır. Sunta üzerine kağıt kaplama yapılarak üretilmiş bir malzemedir. Gülben Mobilya Ltd.Şti.'nde üretimde suntalam kullanılmaktadır. 210 cm X 280 cm ebatlarındaki plakalar önce

istenilen net ölçülere göre kesilmektedir. Sonra, elde edilen parçalara kenar bandı yapıştırılmaktadır. Daha sonra kullanılacağı yere göre bazılarında delik delinmekte ve bazılarında da kanal açılmaktadır. Montaj yapılacak parçalar montajı yapılmak üzere bir araya getirilmekte ve montajından sonra diğer parçalarla beraber ambalajlanması yapılmakta ve nihai ürün stokunda sevke hazır tutulmaktadır (Şekil 3.18).

Şekil 3.18 İş akış şeması



3.2.1.2. Makine Parkı

Gülben Mobilya Ltd.Şti.'nde üretimde farklı işlemleri gerçekleştirmek üzere farklı makineler kullanılmaktadır. Bunlar işlevlerine göre Tablo 3.1'de sıralanmıştır. Fabrika yerleşimi planı Ek 1'de verilmiştir.

Tablo 3.1 Makine Parkı

MAKİNE ADI	İŞLEVİ	KAPASİTESİ
Holzma	Ebatlama	120 plaka suntalam/gün
Brant	Kenar Bantlama	4 m/dakika
Weeke (CNC)	Delik Delme ve Kanal Açma	1 m ² /dakika

3.2.2. Üretim Süreçleri

Üretim sistemleri sürekli üretim ve kesikli üretim sistemleri olmak üzere başlık altında incelenebilir. Panel mobilya imalatı üretim sürecinin kesikli üretim sistemleri türlerinden olan parti üretime örnek oluşturduğu söylenebilir.

Parti üretimi, bir mamulün özel bir siparişi veya sürekli bir talebi karşılamak amacı ile belirli miktarlardan oluşan partiler halinde üretilmesidir. Parti üretiminde iki temel problem vardır. Bunlardan biri en uygun parti büyüklüğünün saptanması,

diğeri minimum kapasite kaybına yol açan üretim programlarının hazırlanmasıdır (Kobu, 2003, s. 44-45).

İş akış şemasında (Şekil 3.18) gösterilen panel mobilya imalatı üretim süreci işlem basamakları detaylı olarak açıklanmıştır.

3.2.2.1. Ebatlama

İşletmede kullanılan temel hammadde 18 mm kalınlığında veya 8 mm kalınlığında 210 cm X 280 cm ebadında toplam 2 farklı suntalamın farklı yüzey renklerinden tasarıma göre değişik miktarlarda kullanılmaktadır.

İşletmede gerçekleştirilen ilk işlem olan ebatlama (hammaddeyi ürünlerde kullanılacak boyutlarda parçalara bölme) fire oranını en aza indirmek üzere ebatlama makinesinin kesim programı kullanılarak yapılmaktadır. Bu program suntalam plakalarının ölçülerine kesilecek parçaları en az miktarda fire oluşacak şekilde yerleştirir. Fire oranını düşürmede farklı ebatlarda parça çeşidinin ve adedinin fazla olması gereklidir. Üst üste sıralanan 5 plakayı kesebilen makineyi aynı kesim şablonundan en çok kesim yapmak, birim zaman ihtiyacını (standart zaman) her parça için en düşük yapmaktadır. Aynı durum diğer makineler içinde geçerlidir. Hangi ürün çeşidi üretilirse üretilsin belirli bir seviyenin üzerinde üretim partisi büyüklüğü ayarlamak, hazırlık sürelerini parça başına en aza indirdiğinden birim standart zamanların düşük olmasını mümkün kılmaktadır.

Diğer yandan işletmede makineler arasında malzeme taşımada kullanılan taşıyıcı paletlerin istifleme yüksekliğinin belirli bir seviyeyi geçmemesi zorunlu tutulmaktadır. İstif yüksekliği 18 mm kalınlığındaki 100 adet parça için suntalam için 180 cm'i aşmaktadır. Bunun yarısını yani 50 parçanın emniyetli taşıma açısından tercih edilebilecek maksimum istif yüksekliği olduğu söylenebilir.

Ayrıca işletme daha çok siparişe üretim yapmaktadır. Satışlarının tamamını yurt dışına sattığında gelen siparişlerin miktar ve türleri üretim hattına ne kadar takım üretileceğini ve hangi ofis takımlarının üretileceğini belirlemektedir. Bu durum teslim tarihinin önemi özellikle bütün parti siparişin belirli bir tarihten önce bitirilmesini gerektirmektedir. Bunun yanında üretimin düşük maliyetli olabilmesi için ebatlama makinesinde büyük miktarlarda kesim yapılması gerekmektedir.

Bütün bu zorunluluklar ve tercihler üretim programının takım bazında ve belirli bir parti büyüklüğünde yapılmasını gerektirmektedir.

Üretim programının detayının çizelgelendiği makinelerden ebatlama makinesinde yukarıda sıralanan gerekçelerden olmak üzere üretim çizelgelemesi takım bazında yapılacaktır. Bu amaçla üretilen ürünlerin ebatlama makinesinde işlem görme sürelerinin parti büyüklüğü için bilinmesi gerekmektedir.

3.2.2.2. Bantlama ve Delik-Kanal Açma

Ebatlama işlemi sonucunda suntalam plakalar farklı ebatlarda çok sayıda parçalara bölünmüştür. Bunlar taşıma arabaları üzerine 50'şer adet olarak istiflenir. Bu aşamada ilk işlem basamağı bantlamadır. Kesilen parçaların ağaç malzeme listelerinde verilene göre dörtkenarının tamamına veya bir kısmına PVC bant yapıştırılır. Bu işlem bantlama makinesinde gerçekleştirilir. Makinede bantlama işlemi için ilk defa üretime başlarken kullanılacak tutkalı ısıtmak üzere veya yeni tutkal konmasında hazırlık süresine ihtiyaç vardır. Parça değişikliklerinde bant cinsi değişmedikçe buna ihtiyaç yoktur.

Bantlama işlemi yapılan parçalar yine taşıyıcı paletler üzerine istiflenerek daha sonraki işlem basamağı olan delik ve kanal açma işlemine tabi tutulmak üzere CNC makinesine taşınır. Bu makinede aynı anda hem delik hem de kanal açma işlemi yapılabilmektedir. Fakat farklı parçalara geçişte makinenin yeni delik konumu ve kanal için ayarlanması gerekmektedir. Parçaların çoğunluğunda delik işlemi yapılırken kanal açma işlemi bunların bir kısmında yapılmaktadır. Bu ise kanal açma işlemi daha uzun sürdüğünden işlem süresinin hazırlık süresinden gelenle beraber daha da artmasına sebep olmaktadır. Mevcut makinenin programlanabilir olması belirli bir sayıya kadar delik ve kanal açma işleminin hafızaya atılmasına izin verdiğinden hazırlık süresinin etkisini bir nebze olsun azaltmaktadır.

Delik ve/veya kanal açma işlemi gören parçalar sonraki işlem basamaklarına göre montajları yapılacaksa montaj iş istasyonuna, doğrudan paketlenenlerse ambalajlama iş istasyonuna sevk edilirler.

3.2.2.3. Montaj ve Ambalajlama

İşletme ürünlerinin sevkiyatını demonte olarak yapmaktadır. Bir ofis mobilyası takımını oluşturan alt parçalar belirli sayıda paket halinde müşterinin adresine sevk edildikten sonra montajı orada yapılmaktadır. Takımın modüller (takımı oluşturan her bir ana birim) halinde stoka ve oradan da müşteriye sevki mümkündür.

Montaj işlemi müşterinin adresinde yapılması mümkün olmayan veya paket halinde nakliyesinin bir avantaj sağlamadığı takım parçaları için gerçekleştirilir. Örneğin, etajer, ofis takımları içinde montaj ve ambalajının işletmede yapılması daha avantajlı olan bir parçadır. Bu tür parçalar delik ve kanal açma makinesinden sonra montaj iş istasyonuna gelir. Montajı yapıldıktan sonra ambalajlama iş istasyonuna sevk edilir.

Ambalajlama iş istasyonuna parçalar ya delik-kanal açma işleminden sonra veya montaj işleminden sonra gelir. Burada parçalar bir modülün paketlerini oluşturmak üzere önce karton paketlere yerleştirilir sonra “shrink” naylonu ile sarılarak ambalajlanır. Böylece modül olarak sevke hazır hale gelir.

3.2.3. Üretim Çizelgeleme

Müşteri siparişlerine göre ana çizelgelemede üretim miktar ve zamanlarına karar verilir. Ürünlerin malzeme ihtiyaç planlaması yapıldıktan sonra, hangi ürünün hangi parçalarının hangi makinelerde hangi sıra ile ve ne zaman yapılacağı (üretim çizelgeleme) kararlaştırılır. Birden çok amaç fonksiyonu geçerli iken, üretim sürecini oluşturan işlem basamaklarının hepsi için geçerli tek bir üretim çizelgeleme kuralının uygulanması mümkün olmayabilir. Bu durumda her bir işlem basamağını ayrı ayrı veya gruplar halinde incelemek gerekir.

3.2.3.1. Mevcut Durum

İşletme ana çizelgelemede hangi ürün çeşitlerinden ne kadar ve hangi sıra ile üretim yapılacağı belirlenmektedir. Buna etki eden faktörler ise; müşteri siparişleri miktarı ve teslim tarihi ile stokların durumudur. Standart ürünlerin belirli miktarlarının stokta bulunması için üretim yapılırken, müşterilerden gelen değişik siparişlerde karşılanmaya çalışılmaktadır.

Üretim programı yazılı olarak düzenlenmese de haftalık olmak üzere sözlü olarak hangi takımdan ne kadar üretileceğine karar verilmektedir. Bu kararlar verilirken iki kritere özellikle dikkat edilmektedir. Bunlar ebatlama makinesindeki fire oranları ve işin önceliğidir. Ebatlama makinesine fire oranını en düşük yapabilmek adına aynı takımdan mümkün olduğunca büyük miktarda veya aynı suntalam rengini kullanan takımlardan her biri az miktarda olsa da karıştırarak çok miktarda üretim yapılması hedeflenir. Müşterinin veya işin önceliği, bu fire oranlarından ödün vererek teslim tarihinde ürünü yetiştirmek üzere üretim programının nasıl olacağını belirlemektedir.

Parti büyüklüğünde sabit bir değer uygulanmamaktadır. Üretim programında belirtilen üretim miktarının tamamı ebatlama makinesinde işlem gördükten sonra taşıyıcı paletler üzerine en çok 1,5 m yükseklikte olacak şekilde yerleştirilerek ara stok taşınması böylece yapılmaktadır.

Buradan olmak üzere, ebatlama makinesinde üretim çizelgeleme kuralı olarak birinci kritere göre LPT kuralı ve ikinci kritere göre ise EDD kuralının uygulandığını söylenebilir.

Bantlama makinesine paletler üzerindeki hangi parçanın gireceğini belirlemede o parçaların montaj aşamasındaki uzun süreli işçilik uygulaması olup olmadığı ve delik-kanal açma makinesinde kanal işlemleri uygulanıp uygulanmadığına bakılmaktadır. Montajda işlem görecektir parçalara ve kanal açılacak parçalara öncelik verilmektedir. Özellikle çekmece parçaları her iki işlemi de gördüğünden en büyük önceliğe sahiptir. Bunun dışında diğer parçalar içinde benzer bir uygulama yani işlem süresi uzun olanlar önce kısa olanlar sonraya bırakılmaktadır.

Bu bilgiler ışığında bantlama işleminden ambalajlama işlemine kadar olan işlem süresinin yani delik-kanal açma ve montaj işlemi toplamı işlem süresi en büyük olanlar ve montaj işlemi olanlar öncelikle işlem gördüğünden “kalan işlem süresi büyük olan” kuralı ve grup işlem uygulandığı şeklinde ifade edilebilir.

Bu çerçevede, montaj işlemi için ilgili bütün parçalar beklenmekte ve montajları yapılmakta ve sonra ambalaja gönderilmektedir. Aynı anda farklı modüllerin montaj işlemleri yapılabilmektedir.

Ayrıca montaj işleminde herhangi bir sıralama söz konusu olmadığından delik ve kanal açmadaki tamamlanma sürelerine toplam montaj süresi ilave edilerek yeni tamamlanma süreleri bulunur.

Aynı kurallar ve uygulamalar ambalajlama işlemi içinde geçerlidir. Gelen modül parçalarının tamamı teslim alındıktan sonra ambalajlama işlemi yapıldığından en son gelen modül parçasının teslim tarihine ambalajlama işlem süresi eklenerek her bir modülün nihai tamamlanma zamanı bulunmaktadır.

Ebatlama makinesi çizelgelemesinin tek makine problemi uygulaması olduğunu belirtmekle beraber değişen şartlara göre yüklemesi yapıldığı için yani birden fazla amaç fonksiyonu olduğundan problemin çözümü zordur.

Ebatlama makinesinden sonra parçaların bantlamada ve delik-kanal açma makinelerine yüklenmesine örnek olmak üzere işletmede üretilen Feza Ofis Takımı'nın bantlama ve delik-kanal açma makinesi detay üretim çizelgelemesinin nasıl yapıldığı gösterilecektir. Feza Ofis Takımı satış rakamlarına göre 20 takım parti büyüklüğünde ebatlama makinesinde işlem görmektedir. Toplam işlem süresi 160 dakikadır. Feza Ofis Takımı'nın alt modüller ve onların ağaç malzeme listesi (ürün ağacı) Ek 2'de verilmiştir. Ebatlamadan sonra bazı parçalar ya doğrudan montaja veya ambalaja gitmektedir. Bunların ilgili işlem süreleri modüller üzerinde görülmektedir. Bantlama ve Delik-kanal açma işlemi gören parçalar ve 20 takım için işlem süreleri dakika cinsinden Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2 Feza Ofis Tk. Modül Parçaları Bantlama ve Delik İşlem Süreleri

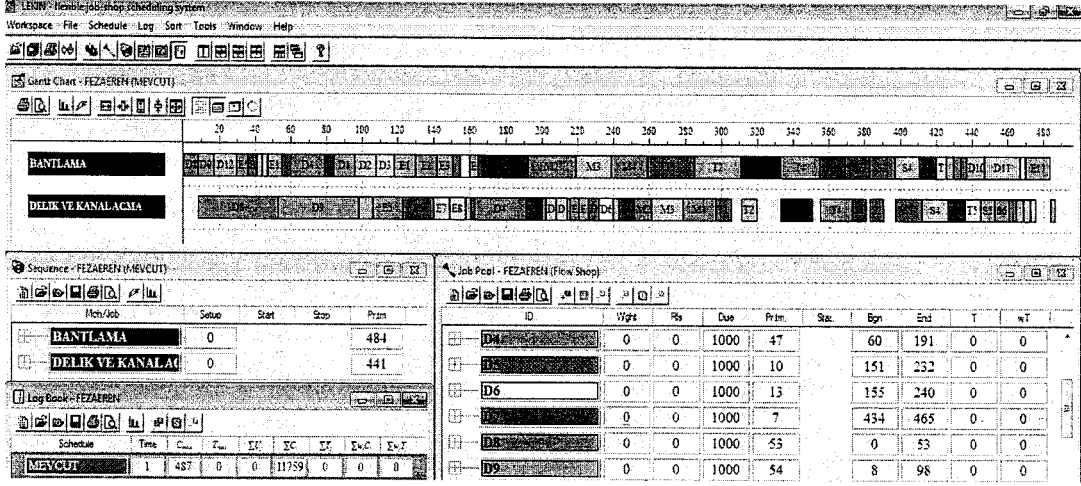
Parça Kodu	MASA MODÜLÜ					TOPLANTI MASASI MODÜLÜ					SEHPA MODÜLÜ					
	M1	M2	M3	M4	M5	T1	T2	T3	T4	T5	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Bantlama	27	27	20	20	9	26	26	22	22	6	14	14	14	14	4	4
Delik ve Kanal Açma	9	9	18	18	9	9	9	18	18	9	8	8	15	15	8	8
DOLAP MODÜLÜ																
Parça Kodu	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12				
Bantlama	12	12	10	19	4	5	3	8	9	10	20	13				
Delik ve Kanal Açma	2	6	6	28	6	8	4	45	45	4	4	8				
ETAJER MODÜLÜ																
Parça Kodu	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13			
Bantlama	12	12	9	5	6	5	3	3	5	3	14	8	5			
Delik ve Kanal Açma	2	5	5	9	17	17	9	9	3	3	3	3	2			

Bantlama ve sonrasında Delik-Kanal Açma makinesine işlem görmek için uygulanan çizelge aşağıda verilmiştir.

D8, D9, D12, E5, E6, E7, E8, E12, E13, D4, E4, D1, D2, D3, E1, E2, E3, D5, D6, E9, M1, M2, M3, M4, T1, T2, T3, T4, S1, S2, S3, S4, M5, T5, S5, S6, D7, D10, D11, E10, E11

İşlem süreleri Legin paket programına veri olarak iki makineli akış tipi üretim problemi olarak girilmiş ve çizelgeleme kuralları menüsünde “manual” seçeneğinde uygulanan çizelge girildikten sonra program çalıştırılmıştır. Elde edilen çizelgeleme ve performans kriterleri Şekil 3.19’da görülmektedir.

Şekil 3.19 Gantt Şeması ve Performans Kriterleri (Mevcut Durum)



Feza Ofis Takımı Modüllerinden “Dolap ve Etajer” montaj işlemi görünürken “Masa, Toplantı Masası ve Sehpa” doğrudan ambalajlama makinesinde işlem görmektedir. Her ikisinde de modül halinde işlem gördüklerinden delik ve kanal açma makinesinden modülü oluşturan parçaların maksimum tamamlanma zamanı modülün hazır olma süresini oluşturmaktadır. (Şekil 3.19) Montajın toplam işlem sürelerini dolabın ve etajerin en son parçanın tamamlanma zamanına ekleyerek ambalajlama işlemi için hazır olma zamanı tespit edilir. Böylece ambalajlama işlemi öncesi modüllerin hazır olma zamanları bulunur. İşlem süreleri ise zaten bilinmektedir (Tablo 3.3). Böylece her bir modülün tamamlanma zamanları tespit edilmiş olur.

Tablo 3.3 Feza Ofis Takımı Modül İş Akış Süreleri (Mevcut Durum)

Feza Ofis Takımı Modül Adı	En son parçanın tamamlanma zamanı	Montaj işlem süresi	Ambalajlama hazır olma süresi	Ambalajlama işlem süresi	Modülün tamamlanma zamanı
Masa	436	-	436	60	496
Toplantı Masası	445	-	445	60	505
Sehpa	461	-	461	40	501
Dolap	240*	400	640	200	840
Etajer	243	200	487**	160	647

* Bu ve sonraki tablolardaki sayılar dakika cinsindedir.

D7, D10, D11 parçaları montaja sonradan katılabildiğinden bunlardan önceki parçaların en son biteni dikkate alınmıştır.

** E11 parçasının bantlamadan çıkışı diğer montaj işlerinden sonra bittiğinden bu süre esas alınmıştır.

Buna göre bantlamada işlem görmeye başlayan suntalamaların Feza Ofis Takımı (20 adet) olarak stoka sevk edilebilmesi için 840 dakikalık süreyle üretim hattında işlem görmesi gerekmektedir.

3.2.3.2. Önerilen Çözümler

Ebatlama makinesinde fire oranlarının düşük olması için yüksek miktarlarda kesim yapılması tercihinin ara stok ve ürün stok maliyetlerinin hesaplanması ile bir dengelemeye gidilmesi önerilmektedir. Bununla beraber üç farklı amaç fonksiyonu parametresi olacağı belirtilebilir. Fire oranları ile stok maliyetlerinin dengelendiği durumda teslim tarihlerinin karşılanması esas alınabilir. Bu durum tek makine problemi olarak tanımlanabilir. Amaç fonksiyonu olarak maksimum gecikmeyi (L_{max}) en küçükleyen çizelgeleme probleminin optimum çözümü EDD kuralı uygulanarak bulunabilir.

Ebatlama makinesinde işlem gören hangi ürün olursa olsun bundan sonraki amaç her bir parçayı bir an önce ambalajlama işlemi için hazır hale getirmektir. Yani hangi işleme tabi tutulursa tutulsun amaç nihayetinde bütün takımın tamamlanma zamanını (C_{max}) ve toplam tamamlanma zamanını ($\sum C_j$) en küçük tutarak modüllerinde en kısa sürede işlemini tamamlamasını sağlamaktır.

Problemi ambalajlama işleminden başlayarak incelersek, toplam tamamlanma zamanını en küçük yapmak amaçlandığına göre mevcut tamamlanma zamanını daha düşük yapacak bir hedef tamamlanma zamanı dikkate alınarak geriye doğru işlem süreçleri analiz edilebilir. Buradan olmak üzere, bantlama ve delik-kanal açma makinesinden parçaların en son tamamlanma zamanının ne olması gerektiğini yani teslim tarihlerinin ne olacağı hesaplanabilir. Teslim tarihinden pozitif sapmayı en küçükleyen çözüm (mevcut durum en iyi çözüm değilse) mevcut durumdan daha iyi bir tamamlanma zamanı verecektir.

Tablo 3.4'te negatif sayılardan kaçınmak ve mevcut tamamlanma zamanını de iyileştirmek üzere 700 hedef tamamlanma zamanı olarak kabul edilmiştir. Ambalaj ve montaj işlemleri işçilik merkezlerinde yapıldığından her birinin ayrı bir işçi grubu tarafından yapılması mümkündür. İşçilik ihtiyacı duruma göre işçilik merkezleri ve modüller arasında kaydırılarak dengelenebileceğinden aynı anda bütün işçiliklerin yerine getirebilmesi mümkündür. Bu ise hedef tamamlanma zamanından ambalajlama ve montaj süreleri düşülerek bantlama ve kanal açma teslim sürelerin ne olması gerektiğini bilgisini verecektir (Tablo 3.4).

Tablo 3.4 Feza Ofis Takımı Bantlama-Delik Kanal Açma Teslim Süreleri

Feza Ofis Takımı Modül Adı	Hedef tamamlanma zamanı	Ambalajlama işlem süresi	Montaj işlem süresi	Delik ve kanal açma teslim süreleri
Masa	700	60	-	640
Toplantı Masası	700	60	-	640
Sehpa	700	40	-	660
Dolap	700	200	400	100
Etajer	700	160	200	340

Gelinen noktada Bantlama ve Delik-kanal açma makinesinde sıralı işlem göreceğ ve hedeflenen teslim tarihleri olan modüllerin parçalarının hangi sıra ile üretilmesinin en uygun olacağı tespit edilmelidir. Bu ise akış tipi üretim çizelgelemenin iki makineli (J2) ve işlerin teslim tarihlerinin (L_{max} veya T_{max}) olduğu bir özel durumu olan çizelgeleme problemi olarak tanımlanabilir. Amaç fonksiyonu maksimum geç bitirmeyi (T_{max}) en düşük yapmaya çalışmak olmalıdır. Bu aynı

zamanda mevcut C_{max} değerinden daha düşük bir hedef C_{max} değerinin tutturulmasını da sağlayacaktır.

Bundan sonra çözümü NP-Zor olan $J2||T_{max}$ problemine çözüm yaklaşımları üretmek için çeşitli algoritmaların bu problemi çözmedeki performansı Legin programı ile test edilecektir.

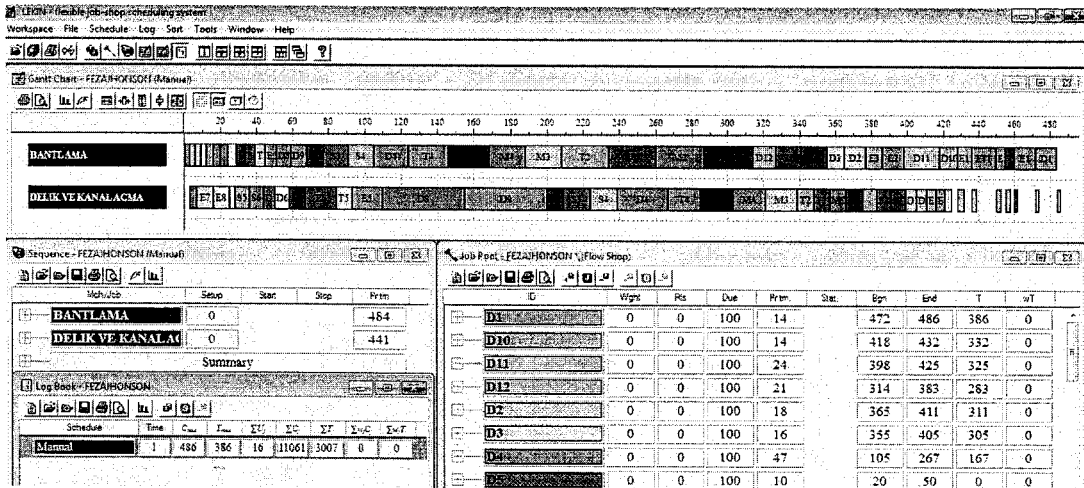
Johnson Algoritması:

Bantlama ve Delik-Kanal Açma makineleri iki makineli akış tipi üretim sistemini oluşturmaktadır. İki makineli akış tipi üretim çizelgeleme $J2||C_{max}$ probleminde Johnson algoritması optimum çözüm vermektedir. Tablo 3.2-2’de verilen işlem süreleri kullanılarak Johnson algoritmasına göre şu çizelge oluşturulmuştur.

D7, E7, E8, E10, S5, S6, D6, E4, E6, T5, E5, D8, D9, M5, S3, S4, D4, T4, T3, M4, M3, T2, T1, M2, M1, D12, S2, S1, D3, D2, E3, E2, D11, D10, E12, E11, E9, E13, E1, D1

Bu çizelge yine Legin programında “Manual” çizelgeleme kuralı olarak tanımlanmıştır. Tablo 3.4’teki teslim tarihleri girilerek program çalıştırılmıştır. Şekil 3.20’de sonuçlar görülmektedir. En son işin tamamlanma zamanı 486 ile olabilecek en küçük değerdir.

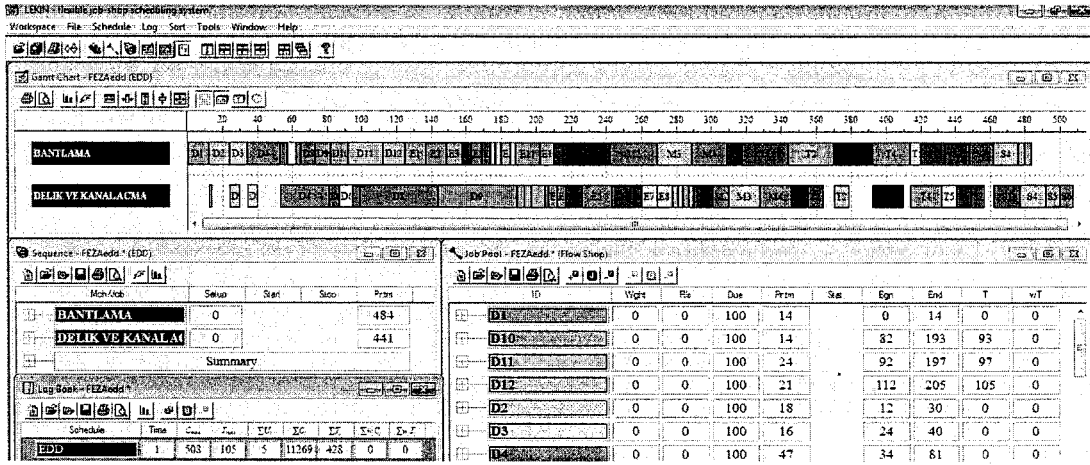
Şekil 3.20 Bantlama ve Delik Makinesi Gantt Şeması (Johnson Algoritması)



Teslim tarihi önce olanların önce (EDD) yüklenmesi:

EDD kuralında amaç teslim tarihi önce olanlar önce yüklenerek tamamlanma zamanının teslim tarihinden sapmasını (L_{max}) en aza indirmektir. EDD kuralı tek makinede bu amacın optimum çözümünü vermektedir. EDD kuralı Lakin çizelgeleme kuralları arasında mevcut olduğundan menüden seçilerek program çalıştırılmış ve Şekil 3.21'deki sonuçlar elde edilmiştir. C_{max} değerinin Johnson Algoritmasına göre yüksek olduğu görülmektedir.

Şekil 3.21 Bantlama ve Delik Makinesi Gantt şeması (EDD)



EDD- Johnson Algoritması:

Daha önce uygulanan her iki yöntemin performans değerleri incelendiğinde Johnson algoritmasının C_{max} değeri daha az EDD kuralının T_{max} değeri daha azdır. Bir başka ifade ile Johnson algoritması en son tamamlanma zamanını en küçük yapmaya çalışırken teslim tarihinden önce işlerin bitirilmesinde performansı düşük kalmaktadır. Aynı durum EDD kuralı için tersinden geçerlidir. Yani, EDD kuralı teslim tarihinden sonra bitmiş işlerin tamamlanma zamanını teslim tarihinden olan sapmasının en büyüğünü küçükmeye çalışmaktadır. Bu durumda dengeyi sağlayan bir çözüm geliştirilebilir. Yani her iki yöntemi de uygulayan ve her ikisinin üstünlüğünü kullanan bir yöntem geliştirilebilir.

Feza Ofis takımının modüllerden oluştuğunu ve her modülün kendi içinde tek teslim tarihi olduğu hatırlanırsa, modülün bir an önce tamamlanmasını hedefleyen ve

her modülünde teslim tarihinden önce bitirilmesini hedefleyen EDD-Johnson algoritması önerilmektedir.

Adım 1: Her modül EDD kuralına göre sıralanır.

Adım 2: Her modüle kendi içinde Johnson Algoritması uygulanır. Her modülün parçalarının işlem sırası belirlenir.

Adım 3: Modülün parçaları Adım 2’de elde edilen sırayı bozmadan Adım 1’deki genel sıralamaya yerleştirilir.

Bu algoritmayı Feza Ofis Takımı’na uyguladığında öncelikle modüllerin teslim tarihi önce olana göre sıralanması:

DOLAP, ETAJER, SEHPA, MASA, TOPLANTI MASASI
olarak elde edilir.

Daha sonra modül parçalarının sıralaması Johnson algoritmasına göre elde edilir. Bunlar modüllere göre şöyledir.

MASA: M5, M3, M4, M1, M2

TOPLANTI MASASI: T5, T3, T4, T1, T2

SEHPA: S5, S6, S3, S4, S1, S2

DOLAP: D7, D5, D6, D8, D9, D4, D12, D3, D2, D11, D10, D1

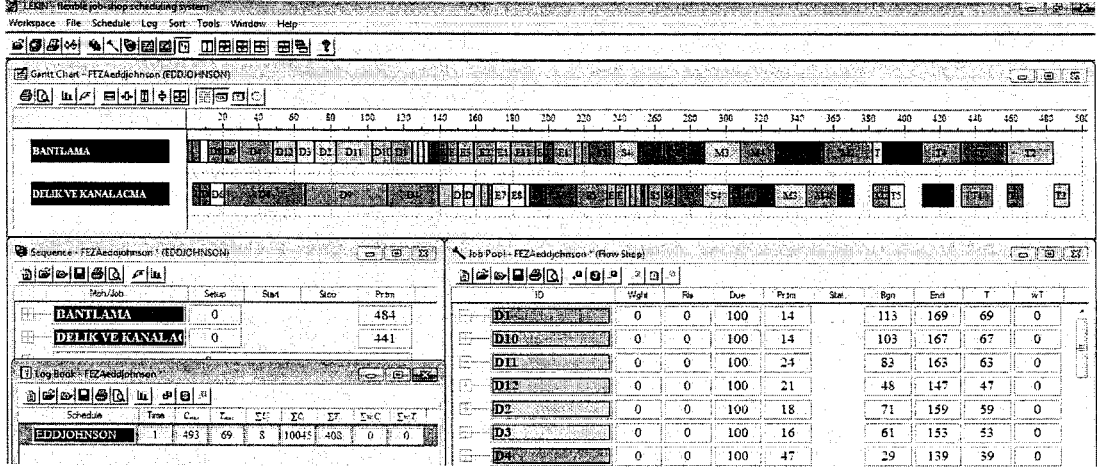
ETAJER: E7, E8, E10, E4, E6, E5, E3, E2, E12, E11, E9, E13, E1

EDD sıralamasına Johnson algoritması sıralaması sonucunda elde edilen parça sıralaması modül bazında yerleştirilirse şu çizelge elde edilir:

D7, D5, D6, D8, D9, D4, D12, D3, D2, D11, D10, D1, E7, E8, E10, E4, E6,
E5, E3, E2, E12, E11, E9, E13, E1, S5, S6, S3, S4, S1, S2, M5, M3, M4, M1, M2,
T5, T3, T4, T1, T2

Bu çizelgenin Lekin programında çizelgeleme menüsünde yine “Manual” başlığından veri girişi yapılır ve program çalıştırılır. Elde edilen sonuçları gösteren menü Şekil 3.22’de verilmiştir.

Şekil 3.22 Bantlama ve Delik Makinesi Gantt şeması (EDD-Johnson Alg.)



3.2.3.3. Önerilen Çözümlerin Performanslarının Karşılaştırılması

Lekin programı tarafından uygulanan üç yöntem için üretilmiş performans değerleri Tablo 3.5'te özetlenmiştir.

Tablo 3.5 Çizelgeleme Kurallarının Bantlama ve Delik Çizelgeleme Performansları

Performans Kriteri	C_{max}	T_{max}	$\sum U_j$	$\sum C_j$	$\sum T_j$
Johnson Algoritması	486	386	16	11061	3007
EDD	505	105	5	11269	428
EDD-Johnson Algoritması	493	69	8	10045	408

C_{max} ve $\sum U_j$ hariç bütün performans kriterlerinde EDD-Johnson algoritması bu örnek veriler üzerinde diğerlerine göre daha başarılıdır. C_{max} değeri Johnson algoritmasının değerinden daha büyüktür. Bu ise, Johnson algoritmasının teslim tarihini dikkate almadan verdiği optimum sonuç olduğundan zaten ulaşılması imkansız bir hedeftir. C_{max} değeri Johnson algoritması ile aynı ise teslim tarihleri C_{max} değerinden büyük yani teslim tarihini dikkate almak anlamsız hale gelmiş demektir. $\sum U_j$ değeri EDD kuralı için daha küçük olacaktır çünkü EDD-Johnson algoritması gruplar arasında teslim tarihini dikkate alsa da grup içinde tamamlanma zamanını en kısa tutmayı esas almaktadır. Yani grup içinde teslim tarihinden ödün vermektedir.

3.2.3.4. Önerilen Çizelge ile Mevcut Durumun Karşılaştırılması

Herhangi bir teslim tarihi olmadan EDD-Johnson algoritması bantlama ve delik-kanal açma makinesinde Feza Ofis Takımı işlem süreleri kullanılarak tekrarın çalıştırılır. Her modüle ait parçaların işlem tamamlanma zamanlarının en büyük değerine o modülün montaj işlem süresi ve ambalajlama işlem süresi eklenerek her modülün tamamlanma zamanları bulunur (Tablo 3.6).

Tablo 3.6 Önerilen Çizelge Ambalajlama Sonu Tamamlanma Zamanları

Feza Ofis Takımı Modül Adı	Delik-kanal açma hazır olma zamanı	Montaj işlem süresi	Ambalajlama hazır olma zamanı	Ambalajlama işlem süresi	Modülün tamamlanma zamanı
Masa	391	0	391	60	451
Toplantı Masası	493	0	493	60	553
Sehpa	318	0	318	40	358
Dolap	169	400	569	200	769
Etajer	256	200	456	160	616

Önerilen EDD-Johnson algoritması ile elde edilen çizelgeye göre bantlamada işlem görmeye başlayan suntalamaların Feza Ofis Takımı (20 adet) olarak stoka sevk edilebilmesi için üretim hattında 769 dakika işlem görmesi gerekmektedir

Tablo 3.7'de Lakin programında Ambalajlama işlemi sonrasında Feza Ofis takımının tamamlanması ile ilgili önerilen çizelge ve mevcut durumun performans kriteri C_{max} verilmiştir.

Tablo 3.7 Ambalajlama İşlemi Sonu Çizelgeleme Performansları

Feza Ofis Takımı Modül Adı	Modülün tamamlanma zamanı C_{max}		
	Mevcut durum	Önerilen	Fark(%)
Masa	496	451	-9,07
Toplantı Masası	505	553	9,50
Sehpa	501	358	-28,54
Dolap	840	769	-8,45
Etajer	647	616	-4,79

Modüllerin bir an önce tamamlanması ve takımın tamamının tamamlanması açısından önerilen çizelgenin daha başarılı olduğu görülmektedir. Ebatlamadan sonra Feza Ofis Takımı'ndan 20 takımın bantlama, delik, kanal açma, montaj ve ambalajlama işlemleri için toplam 769 dakika gerekmektedir. Bu ise mevcut durumda hesaplanan 840 dakikaya göre %8,45'lik bir iyileştirme anlamına gelmektedir.

SONUÇ

Çizelgeleme genel olarak işlerin eldeki kaynaklara atanması olarak tanımlanmaktadır. Üretim çizelgeleme ise bir ürünü oluşturan parçaların işlem göreceği makinelere atanmasıdır.

Üretim çizelgeleme, üretim sürecinin ne zaman biteceğini; uzun veya kısa sürmesini belirlediğinden müşteri taleplerinin zamanında karşılanması ve üretim sürelerinin düşürülmesi gibi birçok performans göstergesini etkilemektedir. Bu nedenle, üretim çizelgeleme işletmeler açısından gelişen ve küreselleşen dünyanın getirdiği artan rekabet ortamında daha da önemli hale gelmektedir.

Üretim çizelgelemede başarılı olmak için uygulanacak yöntemlerin yanında bunların uygulanması için şartların neler olduğunun da bilinmesi ayrıca değişen üretim ortamına ve pazara yönelik geliştirilen yeni imkânların ve tekniklerin araştırılması gerekmektedir.

Üretim çizelgeleme hakkında genel kabul görmüş bilginin sunulması yanında bu konudaki yeni ilgi alanları hakkında da bilgiler sunulmuştur.

Diğer yandan, ürün çeşidinin ve ürünü oluşturan parçaların fazlalığı, makine sayısı ve çeşidinin çokluğu, müşteri sayısını ve taleplerinin çeşitliliği üretim çizelgeleme için geliştirilmiş bir paket program kullanılmasını zorunlu kılmaktadır.

Lekin paket programı, veri girişinin kolaylığı, sonuç ekranlarını anlaşılabilir olması, farklı çizelgeleme kurallarının mevcut olması ve kullanıcı tarafından tanımlanmaya imkân vermesi ve gerekli performans kriterlerinin hesaplanıyor olması açısından olumlu özelliklere sahiptir. Hızlı ve kolay bir kullanımı vardır.

Gülben Mobilya Ltd.Şti.'nde her ne kadar belirli prensipler dâhilinde çizelgeleme yapılıyor olsa da, anlaşılması ve uygulanması kolay, standart çizelgeleme kurallarının olması, bunun üretim hattına hızlı ve doğru bir şekilde yansımalarını sağlayacaktır.

Bu amaçla Gülben Mobilya Ltd.Şti.'nde üretim süreçleri içerisinde işlem gören Feza Ofis Takımı'nın bantlama ve delik-kanal açma makineleri işlemi üzerinde odaklanılmıştır. Feza Ofis Takımı'nın mevcut durumda üretim süreçlerini (ebatlama

makinesi hariç) 840 dakikada tamamladığı hesaplanmıştır. Öncelikle, bu makinelerdeki gerçekleşen işlemlerin akış tipi üretim sistemi uygulaması olduğu tespit edilmiştir. Sonra, takımın toplam tamamlanma zamanını en küçük yapmak için mevcuttan daha iyi bir hedef tamamlanma zamanı belirlenmiş ve bundan olan pozitif sapmayı en küçük yapmak amaçlanmıştır. Bu en iyi çözümü olmayan bir amaç olsa da yaklaşık değerler için araştırma yapılmıştır. Önerilen algoritma ile Feza Ofis Takımı'nın üretim sürecini 769 dakikada tamamlayarak %8,45'lik bir iyileştirme elde edilmiştir. Modül olarak satış olması durumunda da işletme mevcut duruma göre (bir modül hariç) daha erken bitmiş modüller teslim almaktadır. Daha kısa sürede üretilen ürünler ise işletme için üretim maliyetlerinin düşmesine yol açacaktır.

Önerilen algoritma, iki makineli akış tipi üretim çizelgelemede bir ürünü oluşturan parçaların ürün teslim tarihinde bitirilmesi gerektiği yani ortak bir teslim tarihleri olduğunu esas almıştır. EDD kuralı modüller arasında ve Johnson Algoritması da her modülü oluşturan parçalara ayrı ayrı uygulanmaktadır. İkincisinde elde edilen modül bazındaki alt parça sıralamaları birincide modül (grup) bazında yerleştirildiğinde bütün parçaların sıralandığı nihai çizelge oluşmaktadır.

Yapılan çalışmada sadece mevcut uygulamaya kıyasla bir iyileştirme getiren çizelge önerilmemiş, aynı zamanda bütün ürünlerin çizelgelenmesinde kullanılabilecek, anlaşılması kolay ve zaman almayan bir algoritma geliştirilmiştir. Algoritmanın benzer uygulamalar için başka işletmelerde ve ortamlarda da kullanılması mümkündür.

Gelecek çalışmalarda, elde edilen maksimum tamamlanma zamanını daha da düşürecek yeni yaklaşımların (tabu arama, benzetilmiş tavlama ve genetik algoritma) kullanıldığı algoritmalar geliştirilebilir. Ayrıca üretim sürecinde ambalajlama makinesinin kullanıldığı işletmeler için bu çalışmadaki problem tekrar tanımlanarak çözüm önerilebilir.

KAYNAKÇA

Afrati, F., Bampis, E., Chekuri, C., Karger, D., Kenyon, C., Khanna, S., et al. (1999); "Approximation Schemes for Minimizing Average Weighted Completion Time with Release Dates", *40th Annual Symposium on Foundations of Computer Science*, pp.32-43.

Akker, M. (1994); "LP-Based solution methods for single-machine scheduling problems", *Yayınlanmamış Doktora Tezi*, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven.

Akyol, D. E. (2006) ; "Neural network based optimization in production scheduling", *Yayınlanmamış Doktora Tezi* , Dokuz Eylül Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, İzmir.

Andersen, M., Bräsel, H., Mörig, M., Tusch, J., Werner, F., & Willenius, P. (2008) ; "Simulated annealing and genetic algorithms for minimizing mean flow time in an open shop", *Mathematical and Computer Modelling* , Vol. 48, pp. 1279-1293.

Aytug, H., Lawley, M. A., McKay, K., Mohan, S., & Uzsoy, R. (2005) ; "Executing production schedules in the face of uncertainties: A review and some future directions", *European Journal of Operational Research* , Vol. 161, pp. 86-110.

Baker, K. R., & Trietsch, D. (2009); *Principles of Sequencing and Scheduling*, Wiley, New Jersey.

Baptiste, P. (2000); *Preemptive Scheduling of Identical Machines*, Universite de Technologie de Compiègne, France.

Beddoe, G.; "Introduction to Lekin", Erişim: http://www.stern.nyu.edu/om/faculty/pinedo/book2/downloads/Nottingham/21_demo%20of%20lekin-guest%20speaker.pdf (21.06.2011)

Ben-Daya, M., & Al-Fawzan, M. (1998); "A tabu search approach for the flow shop scheduling problem", *European Journal of Operational Research* , Vol.109, pp. 88-95.

Brach, S., & Hunsucker, J. L. (1991); "Branch and Bound Algorithm for flowshop with multi processors", *European Journal Of Operational Research* ,Vol. 51, pp. 88-99.

Brucker, P. (2007) ; *Scheduling Algorithms*, Springer, Heidelberg.

Brucker, P., Heitman, S., & Hurnick, J. (2003); "How useful are preemptive schedules?", *Operations Research Letters* , Vol. 31, pp. 129-136.

Bruno, J., E.G.Coffman, & R.Serti. (1974); "Scheduling independent tasks to reduce mean finishing time", *Communications of the ACM* ,Vol. 17, pp. 382-387.

- Carlier, J., & Pinson, E. (1989); "An Algorithm for Solving the Job-Shop Problem", *Management Science*, Vol. 35, No. 2 , pp. 164-176.
- Carlier, J., Peridy, L., Pinson, E., & Rivreau, D. (2004); "Elimination Rules for Job-Shop Scheduling Problem: Overview and Extensions". In: J. Y.-T. Leung (eds), *Handbook of scheduling: algorithms, models, and performance analysis* (pp. 1-21). Chapman & Hall/CRC, Londra.
- Chen, Z.-L., & Powell, W. (1999); " Solving Parallel Machine Scheduling Problems by Column Generation", *INFORMS Journal on Computing* , Vol. 11, pp. 78-94.
- Cheng, T., & Sin, C. (1990); "A state-of-the art review of paralel machine scheduling research", *European Journal of Operation Research* , Vol. 47, pp. 271-292.
- Cho, Y., & Sahni, S. (1981); "Preemptive Scheduling of Independent Jobs with Release and Due Times on Open, Flow and Job Shops", *Operations Research* ,Vol. 29, No. 3, pp. 511-522.
- Conway, R., Maxwell, M., & Miller, L. (1967); *Theory of Scheduling*, Addison-Wesley Publishing Company, Londra.
- Dastidar, S. G. (2003); "*Complexity Theory*", Erişim: <http://www.eng.buffalo.edu/~nagi/661/complexity.pdf> (12.05.2011)
- Du, J., & Leung, J. (1990); "Minimizing total tardiness on one machine is NP-hard", *Mathematics of Operations Research* , Vol. 15, No. 3, pp. 483-495.
- Emmons, H. (1969); "One-Machine Sequencing to Minimize Certain Functions of Job Tardiness", *Operations Research* , Vol. 17, No. 4, pp. 701-715.
- Eren, T., & Güner, E. (2007); "Hazırlık Zamanlarının Öğrenme Etkili Olduğu Çizelgeleme Problemleri", *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi* ,Cilt.12, Sayı.1, ss.1-7.
- Garey, M. R., Johnson, D. S., & Sethi, R. (1976); "The Complexity of Flowshop and Jobshop Scheduling", *Mathematics of Operations Research* , Vol. 1, No. 2, pp. 117-129.
- Garey, M., & Johnson, D. (1979); *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness*, W.H.Freeman and Company.
- Gonzalez, T. (2004); "Open Shop Scheduling". In: J. Y.-T. Leung (eds) , *Handbook of Scheduling Algorithms, Models and Performance Analysis*, Chapman & Hall/CRC, Londra.
- Gonzalez, T. (1982); "Unit Execution Time Shop Problems", *Mathematics of Operations Research*, Vol. 7, No. 1, pp. 57-66.

Gonzalez, T., & Sahni, Sartaj (1978); "Flowshop and Jobshop Schedules: Complexity and Approximation", *Operations Research*, Vol. 26, No. 1, pp. 36-52.

Gonzalez, T., & Sahni, Sartaj. (1976); "Open Shop Scheduling to minimize finish time", *Journal of the Association for Computing Machinery* , Vol. 23, No. 4, 665-679.

Graham, R., Lawler, E., Lenstra, J., & Kan, A. R. (1979); "Optimization and Approximation in Deterministic Sequencing and Sheduling: A Survey", *Annals of Discrete Matematics*, Vol. 5, pp. 287-326.

Graves, S. C. (1981); "A Review of Production Scheduling", *Operations Research* , Vol. 29, pp. 646-675.

Gupta, J. (2002); "An excursion in scheduling theory: an overview of scheduling research in the twentieth century", *Production Planning & Control* , Vol. 13, No. 2, pp. 105-116.

Gupta, J. N. (1988); "Two-Stage, Hybrid Flowshop Scheduling Problem", *Journal of the Operational Research Society* , Vol. 39, No. 4, pp. 359-364.

Gupta, J., & Tunc, E. (1991); "Schedules for a two stage hybrid flowshop with parallel machines at the second stage", *International Journal of Production Research* , Vol. 29, No. 7, pp. 1489-1502.

Gupta, J., Hariri, A., & Potts, C. (1997); "Scheduling a two-stage hybrid flow shop with parallel machines at the first stage", *Annals of Operations Research*, Vol. 69, pp. 171-191.

Hochbaum, P. D. (1999); "RIOT The Scheduling Problem:Definitions", Erişim: <http://128.32.192.95/riot/Applications/Scheduling/> (30.10.2010)

Hoogeveen, J., Lenstra, J., & Veltman, B. (1996); "Preemptive scheduling in a multiprocessor flow shop is NP-hard", *European Journal of Operations Research* , pp. 172-175.

Horn, W. (1973); "Minimizing average flow time with paralel machines", *Operations Research* ,Vol. 21, pp. 846-847.

Kobu, B. (2003); *Üretim Yönetimi*, Avcıol Basın Yayın, İstanbul.

Laarhoven, P. J., & Aarts, E. H. (1987); *Simulated Annealing:theory and applications*, Kluver academic publishers, Hollanda.

Lawler, E. L., & Moore, J. M. (1969); "A Functional Equation and Its Application to Resource Allocation and Sequencing Problems", *Management Science*, Vol. 16, No. 1, pp. 77-84.

- Lawler, E. L., & Sivazlian, B. D. (1978); "Minimization of Time-Varying Costs in Single-Machine Scheduling", *Operations Research*, Vol. 26, pp. 563-569.
- Lawler, E. L., Lenstra, J. K., & Kan, A. H. (1981); "Minimizing Maximum Lateness in a Two-Machine Open Shop", *Mathematics of Operations Research*, Vol. 6, No. 1, pp. 153-158.
- Lawler, E., & Martel, C. (1989); "Preemptive scheduling of two uniform machines to minimize the number late jobs", *Operations Research*, Vol. 37, No. 2, pp. 314-318.
- Lee, C.-Y., Lei, L., & Pinedo, M. (1997); "Current trends in deterministic scheduling", *Annals of Operations Research*, Vol. 70, pp. 1-41.
- Leiden University: LIACS Natural Computing Group; "Simulated Annealing", Erişim: <http://natcomp.liacs.nl/NC/slides/sa.pdf> (26.5.2011)
- Lenstra, J., Kan, A., & Brucker, P. (1977); "Complexity of machine scheduling problems", *Annals of Discrete Mathematics*, Vol. 1, pp. 343-362.
- Liaw, C.-F. (2005); "Scheduling preemptive open shops to minimize total tardiness", *European Journal of Operational Research*, Vol. 162, No. 1, pp. 173-183.
- Linn, R., & Zhang, W. (1999); "Hybrid flow shop scheduling: survey", *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 37, pp. 57-61.
- McNaughton, R. (1959); "Scheduling with deadlines and loss functions", *Management Science*, Vol. 6, pp. 1-12.
- Min, L., & Cheng, W. (1999); "A genetic algorithm for minimizing the makespan in the case of scheduling identical parallel machines", *Artificial Intelligence in Engineering*, Vol. 13, pp. 399-403.
- Moore, J. (1968); "An n Job, One Machine Sequencing Algorithm for Minimizing the Number of Late Jobs", *Management Science*, Vol. 15, No. 1, pp. 102-109.
- Morczyk, A. (2004); "Genetic Algorithms and Evolutionary Computation", Erişim: <http://www.talkorigins.org/faqs/genalg/genalg.html> (12.04.2011)
- Oluleye, A., & Oyentunji, O. (2007); "Heuristics for Minimizing Total Completion Time on Single Machine with Release Time", *Advanced Materials Research*, Vol. 18-19, pp. 347-352.
- Petrovic, S.; "Automated Scheduling", Erişim: <http://www.cs.nott.ac.uk/~sxp/Scheduling/JobShop.pdf> (03.04.2011)
- Pezzella, F., & Merelli, E. (2000); "A tabu search method guided by shifting bottleneck for the job shop scheduling problem", *European Journal of Operational Research*, Vol. 120, pp. 297-310.

- Pinedo, M. L. (2008); *Scheduling: Theory, Algorithms and Systems*, Springer, New York.
- Potts, C. N., & Wassenhove, L. N. (1985); "A Branch and Bound Algorithm for the Total Weighted Tardiness Problem", *Operations Research* , Vol. 33, No. 2, pp. 363-377.
- Premchand, A.; "Simulated Annealing", Erişim: <http://www.ecs.umass.edu/ece/labs/vlsicad/ece665/slides/SimulatedAnnealing.ppt> (11.05.2011)
- Roadammer, F. A., & White, K. (1998); "A Recent Survey of Production Scheduling", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* , Vol. 18, No. 6, pp. 841-851.
- S.French. (1982); *Sequencing and Scheduling: A n Introduction to the Mathematics of the Job Shop*, Wiley, New York.
- Sahni, Sartaj. (1979); "Preemptive Scheduling with Due Dates", *Operations Research* , Vol. 27, pp. 925-934.
- Santos, D., Hunsucker, J., & Deal, D. (1996); "An Evaluation of Sequencing Heuristics in Flow Shops with Multiple Processors", *Computers Industrial Engineering* , pp. 681-692.
- Schmidt, G nter (1996); "Modelling production scheduling systems", *international journal of production economics* , Vol. 46-47, pp. 109-118.
- Schuurman, P. (2001); "Approximation Schedules", *Yayınlanmamış Doktora Tezi*, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven.
- Shaukat, A. Brah, & Loo, L.Luan (1999); "Heuristics for scheduling in a flowshop with multi processors",. *European Journal of Operation Research* , Vol.113, pp. 113-122.
- Shmoys, D., Wein, J., & Williamson, D. (1991); "Scheduling Paralel Machines on Line", *32nd Annual Symposium of Foundations of Computer Science (FOCS 1991)* , pp. 131-140.
- Skutella, M., & Woeginer, G. J. (2000); "A ptas for minimizing the total weighted completion time on identical parallel machines", *Mathematics of Operations Research*, Vol. 25, No. 1, pp. 63-75.
- Sotskov, Y., & Shakhlevich, N. (1995); "NP-hardness of shop-scheduling problems with three jobs", *Discrete Applied Mathematics* , Vol. 59, pp. 237-266.
- St tztle, T. (1998); "An ant approach to the flow shop problem", *Proceedings of the Sixth European Congress on Intelligent Techniques & Soft Computing (EUFIT'98)*, 3, pp. 1560-1564. Verlag Mainz, Aachen, Germany,.

- Taillard, E. (1990); "Some efficient heuristic methods for the flow shop sequencing problem", *European Journal of Operational Research* , Vol. 47, pp. 65-74.
- Tian, Z., Ng, C., & Cheng, T. (2005); "On the single machine total tardiness problem", *European Journal of Operational Research* , Vol. 165, pp. 843-846.
- Timkovsky, V. G. (1998); "Is a unit-time job shop not easier than identical paralel machines?", *Discrete Applied Mathematics*, Vol. 85, No. 2, pp. 149-162.
- Todd, D., & Sen, P. (1997); "Multiple criteria scheduling using genetic algorithms in a shipyard environment", *Proc. Ninth Int. Conf. Computer Applications in Shipbuilding*, pp. 234-265.
- Valls, V., Perez, M., & Quintanilla, M. (1988); "A Tabu Search Approach to Machine Scheduling", *European Journal of Operational Research* , Vol. 106, pp. 277-300.
- Vancheeswaran, R., & Townsend, M. (1993); "Two-stage heuristic procedures for scheduling Jop Shops", *Journal of Manufacturing Systems* , Vol. 12, No. 4, pp. 315-325.
- Wang, Z., & Xing, W. (2006); "Parallel machine scheduling with special jobs", *Tsingua Science and Technology* , Vol. 11, No. 1, pp. 107-110.
- Yeşilyaprak, E. (2007); "Application of q-learning algorithm bicriteria production scheduling problem", *Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Y-T.Leung, J. (2004); "A tutorial on complexity". In: J. Y.-T. Leung (eds) , *Handbook of Scheduling Algorithms, Models and Performance Analysis*, Chapman & Hall/CRC, Londra.

Ek 2: FEZA OFİS TAKIMI AĞAÇ MALZEME LİSTELERİ

AKSESUAR LİSTESİ									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
NO	KOD NO	PARÇA ADI	ÇİMLİ	RENK	PARÇA ADI	ÜRETİLEN	BOY	EN	KAL.
1	1	ORT. ÜRT. TABLA	LUNTLAM	TEAK	1	1	760	600	18
2	2	ORT. ALT. TABLA	LUNTLAM	TEAK	1	1	760	600	18
3	3	AYAK TABLA	LUNTLAM	TEAK	1	2	430	440	18
4	4	AYAK TABLA	LUNTLAM	KREM	1	2	430	440	18
5	5	PERDE	LUNTLAM	TEAK	1	1	820	430	18
6	6	BAUT	LUNTLAM	TEAK	1	1	820	130	18
7	7				1	1	0	0	
8	8				1	1	0	0	
9	9				1	1	0	0	
10	10				1	1	0	0	
11	11				1	1	0	0	
12	12				1	1	0	0	
13	13				1	1	0	0	
14	14				1	1	0	0	
15	15				1	1	0	0	
16	16				1	1	0	0	

AKSESUAR LİSTESİ									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
NO	KOD NO	PARÇA ADI	ÇİMLİ	RENK	PARÇA ADI	ÜRETİLEN	BOY	EN	KAL.
1	1	MİDEKİ ZARFI	1	ADET	0,25 TL	2,50 TL			
2	2	KAYMAK	1	ADET	0,02 TL	0,24 TL			
3	3	ENNO AYAK	1	ADET	0,93 TL	1,20 TL			
4	4	18-11 YERİ	1	ADET	0,93 TL	0,92 TL			
5	5	FOK YARISI	0,1	GR	7,73 TL	0,27 TL			
6	6	TASARIMA GİVİRİ	80	ADET	0,0028 TL	0,20 TL			
7	7				0,00 TL	0,00 TL			
8	8				0,00 TL	0,00 TL			
9	9				0,00 TL	0,00 TL			
10	10				0,00 TL	0,00 TL			
11	11				0,00 TL	0,00 TL			
12	12				0,00 TL	0,00 TL			
13	13				0,00 TL	0,00 TL			
14	14				0,00 TL	0,00 TL			
15	15				0,00 TL	0,00 TL			
16	16				0,00 TL	0,00 TL			

AKSESUAR LİSTESİ									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
NO	KOD NO	PARÇA ADI	ÇİMLİ	RENK	PARÇA ADI	ÜRETİLEN	BOY	EN	KAL.
1	1	ORT. ÜRT. TABLA	LUNTLAM	TEAK	1	1	760	600	18
2	2	ORT. ALT. TABLA	LUNTLAM	TEAK	1	1	760	600	18
3	3	AYAK TABLA	LUNTLAM	TEAK	1	2	430	440	18
4	4	AYAK TABLA	LUNTLAM	KREM	1	2	430	440	18
5	5	PERDE	LUNTLAM	TEAK	1	1	820	430	18
6	6	BAUT	LUNTLAM	TEAK	1	1	820	130	18
7	7				1	1	0	0	
8	8				1	1	0	0	
9	9				1	1	0	0	
10	10				1	1	0	0	
11	11				1	1	0	0	
12	12				1	1	0	0	
13	13				1	1	0	0	
14	14				1	1	0	0	
15	15				1	1	0	0	
16	16				1	1	0	0	

AKSESUAR LİSTESİ									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
NO	KOD NO	PARÇA ADI	ÇİMLİ	RENK	PARÇA ADI	ÜRETİLEN	BOY	EN	KAL.
1	1	MİDEKİ ZARFI	1	ADET	0,25 TL	2,50 TL			
2	2	KAYMAK	1	ADET	0,02 TL	0,24 TL			
3	3	ENNO AYAK	1	ADET	0,93 TL	1,20 TL			
4	4	18-11 YERİ	1	ADET	0,93 TL	0,92 TL			
5	5	FOK YARISI	0,1	GR	7,73 TL	0,27 TL			
6	6	TASARIMA GİVİRİ	80	ADET	0,0028 TL	0,20 TL			
7	7				0,00 TL	0,00 TL			
8	8				0,00 TL	0,00 TL			
9	9				0,00 TL	0,00 TL			
10	10				0,00 TL	0,00 TL			
11	11				0,00 TL	0,00 TL			
12	12				0,00 TL	0,00 TL			
13	13				0,00 TL	0,00 TL			
14	14				0,00 TL	0,00 TL			
15	15				0,00 TL	0,00 TL			
16	16				0,00 TL	0,00 TL			

AKSESUAR LİSTESİ									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
NO	KOD NO	PARÇA ADI	ÇİMLİ	RENK	PARÇA ADI	ÜRETİLEN	BOY	EN	KAL.
1	1	MİDEKİ ZARFI	1	ADET	0,25 TL	2,50 TL			
2	2	KAYMAK	1	ADET	0,02 TL	0,24 TL			
3	3	ENNO AYAK	1	ADET	0,93 TL	1,20 TL			
4	4	18-11 YERİ	1	ADET	0,93 TL	0,92 TL			
5	5	FOK YARISI	0,1	GR	7,73 TL	0,27 TL			
6	6	TASARIMA GİVİRİ	80	ADET	0,0028 TL	0,20 TL			
7	7				0,00 TL	0,00 TL			
8	8				0,00 TL	0,00 TL			
9	9				0,00 TL	0,00 TL			
10	10				0,00 TL	0,00 TL			
11	11				0,00 TL	0,00 TL			
12	12				0,00 TL	0,00 TL			
13	13				0,00 TL	0,00 TL			
14	14				0,00 TL	0,00 TL			
15	15				0,00 TL	0,00 TL			
16	16				0,00 TL	0,00 TL			

AKSESUAR LİSTESİ									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
NO	KOD NO	PARÇA ADI	ÇİMLİ	RENK	PARÇA ADI	ÜRETİLEN	BOY	EN	KAL.
1	1	MİDEKİ ZARFI	1	ADET	0,25 TL	2,50 TL			
2	2	KAYMAK	1	ADET	0,02 TL	0,24 TL			
3	3	ENNO AYAK	1	ADET	0,93 TL	1,20 TL			
4	4	18-11 YERİ	1	ADET	0,93 TL	0,92 TL			
5	5	FOK YARISI	0,1	GR	7,73 TL	0,27 TL			
6	6	TASARIMA GİVİRİ	80	ADET	0,0028 TL	0,20 TL			
7	7				0,00 TL	0,00 TL			
8	8				0,00 TL	0,00 TL			
9	9				0,00 TL	0,00 TL			
10	10				0,00 TL	0,00 TL			
11	11				0,00 TL	0,00 TL			
12	12				0,00 TL	0,00 TL			
13	13				0,00 TL	0,00 TL			
14	14				0,00 TL	0,00 TL			
15	15				0,00 TL	0,00 TL			
16	16				0,00 TL	0,00 TL			

AKSESUAR LİSTESİ									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
NO	KOD NO	PARÇA ADI	ÇİMLİ	RENK	PARÇA ADI	ÜRETİLEN	BOY	EN	KAL.
1	1	MİDEKİ ZARFI	1	ADET	0,25 TL	2,50 TL			
2	2	KAYMAK	1	ADET	0,02 TL	0,24 TL			
3	3	ENNO AYAK	1	ADET	0,93 TL	1,20 TL			
4	4	18-11 YERİ	1	ADET	0,93 TL	0,92 TL			
5	5	FOK YARISI	0,1	GR	7,73 TL	0,27 TL			
6	6	TASARIMA GİVİRİ	80	ADET	0,0028 TL	0,20 TL			
7	7				0,00 TL	0,00 TL			
8	8				0,00 TL	0,00 TL			
9	9				0,00 TL	0,00 TL			
10	10				0,00 TL	0,00 TL			
11	11				0,00 TL	0,00 TL			
12	12				0,00 TL	0,00 TL			
13	13				0,00 TL	0,00 TL			
14	14				0,00 TL	0,00 TL			
15	15				0,00 TL	0,00 TL			
16	16				0,00 TL	0,00 TL			

AKSESUAR LİSTESİ									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
NO	KOD NO	PARÇA ADI	ÇİMLİ	RENK	PARÇA ADI	ÜRETİLEN	BOY	EN	KAL.
1	1	MİDEKİ ZARFI	1	ADET	0,25 TL	2,50 TL			
2	2	KAYMAK	1	ADET	0,02 TL	0,24 TL			
3	3	ENNO AYAK	1	ADET	0,93 TL	1,20 TL			
4	4	18-11 YERİ	1	ADET	0,93 TL	0,92 TL			
5	5	FOK YARISI	0,1	GR	7,73 TL	0,27 TL			
6	6	TASARIMA GİVİRİ	80	ADET	0,0028 TL	0,20 TL			
7	7				0,00 TL	0,00 TL			
8	8				0,00 TL	0,00 TL			
9	9				0,00 TL	0,00 TL			
10	10				0,00 TL	0,00 TL			
11	11				0,00 TL	0,00 TL			
12	12				0,00 TL	0,00 TL			
13	13				0,00 TL	0,00 TL			
14	14				0,00 TL	0,00 TL			
15	15				0,00 TL	0,00 TL			
16	16				0,00 TL	0,00 TL			

AKSESUAR LİSTESİ									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
NO	KOD NO	PARÇA ADI	ÇİMLİ	RENK	PARÇA ADI	ÜRETİLEN	BOY	EN	KAL.
1	1	MİDEKİ ZARFI	1	ADET	0,25 TL	2,50 TL			
2	2	KAYMAK	1	ADET	0,02 TL	0,24 TL			
3	3	ENNO AYAK	1	ADET	0,93 TL	1,20 TL			
4	4	18-11 YERİ	1	ADET					

AAÇ MALZEME LİSTESİ

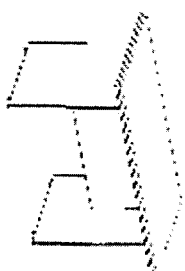
ÜRÜN KESİM LİSTESİ										BAĞLAMA TARBİ		TEBLİM TARBİ		HAZIRLAMA		KONTROL EDEN		ÜRÜN KODU		FEZA OFİS TAKIMI	
										KURUM ADI		ÜRÜN ADI		MODÜL ADI		TOPLANTI MASASI					
										GENEL AÇIKLAMALAR											
S. KOD NO	PATLA ADI	ÇİNELİ	RENK	PAZLA KODU	UĞR. BİR.	TOP.	BOY	EN	KAL.	KELEK BAKITLAMA	BAYT	BAYT	MİSA	UZUN	UZUN	TOPLAM	TOPLAM	AÇIKLAMALAR			
1	ÜRT. ÜRT. TABLA	HUNTALEM	TEAK	1	1	1	1600	1000	18	4 KELEK	TEAK	2	2	2	2	6,00	1,60				
2	ÜRT. ALT. TABLA	HUNTALEM	HEM	1	1	2	1600	1000	18	4 KELEK	TEAK	2	2	2	2	6,00	1,60				
3	AYAK. TABLA	HUNTALEM	TEAK	1	2	2	700	800	18	1 MİSA 2 UZUN	TEAK	1	1	1	1	4,18	0,87				
4	AYAK. TABLA	HUNTALEM	KREM	1	2	2	700	800	18	1 MİSA 2 UZUN	KREM	1	1	1	1	4,18	0,87				
5	PERDE	HUNTALEM	TEAK	1	1	1	1022	400	18	1 UZUN	TEAK	1	1	1	1	1,03	0,41				
6				1	1	1	0	0	0							0,00	0,00				
7				1	1	1	0	0	0							0,00	0,00				
8				1	1	1	0	0	0							0,00	0,00				
9				1	1	1	0	0	0							0,00	0,00				
10				1	1	1	0	0	0							0,00	0,00				
11				1	1	1	0	0	0							0,00	0,00				
12				1	1	1	0	0	0							0,00	0,00				
13				1	1	1	0	0	0							0,00	0,00				
14				1	1	1	0	0	0							0,00	0,00				
15				1	1	1	0	0	0							0,00	0,00				
16				1	1	1	0	0	0							0,00	0,00				
										19		5,34									

AKSESUAR LİSTESİ

S. NO	AKSESUAR ADI	MİKTAR	BİRİM	BİRİM FİYATI	TOPLAM TUTAR
1	MİPKE 3 TAKIM	2	ADET	0,25 TL	2,00 TL
2	KAVALA	2	ADET	0,92 TL	0,18 TL
3	BİNGÖ AYAK	4	ADET	0,50 TL	1,20 TL
4	1,6-18 VDA	3	ADET	0,092 TL	0,28 TL
5	POLYMERİ	0,2	GR	7,70 TL	1,44 TL
6	TABANCA ÇİMİ	100	ADET	0,0028 TL	0,48 TL
7					0,00 TL
8					0,00 TL
9					0,00 TL
10					0,00 TL
11					0,00 TL
12					0,00 TL
13					0,00 TL
					0,37 TL

LEVHA VE PVC LİSTESİ

MALZEME ADI	GÖR. M. BİRİM	BİRİM FİYATI	TOPLAM TUTAR
22*1 MM PVC	10,8	MT	0,42 TL
22*2 MM PVC	11,6	MT	0,28 TL
210*280 18 MM SUNI	4,14	M2	11,06 TL
210*280 8 MM SUNI	0,00	M2	0,00 TL
			10,8 TL
LEVHA FİYATI			80,86 TL
AKSESUAR FİYATI			5,37 TL
TOPLAM			86,23 TL
AMORTİSMAN			
İŞÇİLİK			
GENEL GİDER			
KAR			



ÖZGEÇMİŞ

1969 yılında Yozgat'ta doğan Murat Altındaş, ilk, orta ve lise eğitimini Yozgat'ta tamamladıktan sonra 1985 yılında kazandığı Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği bölümünü 1990 yılında bitirmiştir.

1992 yılında Londra Üniversitesi'ne bağlı London School of Economics'ten Yöneylem Araştırması dalında Tezsiz Yüksek Lisans derecesi almıştır.

1992-1994 yılları arasında Etibank Ergani Bakır İşletmesi 'nde Endüstri Mühendisi olarak görev yaptı.

1995-1998 yılları arasında Etibank Bandırma Boraks ve Asit Fabrikaları İşletmesi'nde Teknik Uzman olarak çalıştı.

1998-2001 yılları arasında Yimpaş Nora Mobilya Fabrikası'nın kuruluşu ve işletilmesi aşamalarında değişik pozisyonlarda görev aldı.

2003 yılından beri Bozok Üniversitesi Yozgat Meslek Yüksekokulu'nda Öğretim Görevlisi olarak çalışmakta olan Murat Altındaş, evli ve üç çocuk babasıdır.

İletişim Bilgileri:

Adres:

Bozok Üniversitesi

Meslek Yüksekokulu

Yozgat

Telefon:

(354) 2171781

Faks:

(354) 2171780

E-posta:

maltindas@hotmail.com