



Araştırma Makalesi / Research Article
**COST-BASED SCHEDULING AND AN APPLICATION IN A FURNITURE
FACTORY**

Mithat ZEYDAN*

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, KAYSERİ

Geliş/Received: 16.03.2005 Kabul/Accepted: 23.02.2006

ABSTRACT

As a general, operation duration is taken into consideration to be able to solve the scheduling problems. In addition, holding cost is being fixed at each job. In fact, holding cost in parts used for each job is different. In this study, by using the data for one week taken from panel cutting machine in a furniture factory, it is compared generally used scheduling dispatching rules for one machine and made a cost-based scheduling. Thus, decision making criteria have been evaluated from the point of a manager. It is developed a computer program by Delphi programming language for this aim. As a result, It is noticed that cost-based scheduling is more better than time-based scheduling.

Keywords: Scheduling, dispatching rules, production planning.

MALİYET TABANLI ÇİZELGELEME VE BİR MOBİLYA FABRİKASINDA UYGULAMASI

ÖZET

Genellikle, çizelgeleme problemlerinin çözümü, işlem süreleri dikkate alınarak yapılmakla beraber elde bulundurma maliyeti her bir iş için sabit tutulmaktadır. Gerçekte ise her bir iş için kullanılan parçaların elde bulundurma maliyetleri farklıdır. Bu çalışmada, bir mobilya fabrikasında bulunan panel kesme makinesinden toplanan 1 haftalık verilerle, tek makina için çizelgeleme kurallarının kullanımı ve karşılaştırması yapılarak her bir iş için elde bulundurma maliyetlerinin hesaplanmasıyla maliyet tabanlı çizelgeleme yapılmış ve bir yönetici için maliyetlerin önemli olduğu bir noktada karar verme kriterleri değerlendirilmiştir. Karşılaştırmaları yapabilmek için Delphi programlama dili ile amaca yönelik bir program geliştirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, maliyet boyutlu çizelgelemenin daha avantajlı olduğu görülmektedir.

Anahtar Sözcükler: Çizelgeleme, sıralama kuralları, üretim planlama.

1. GİRİŞ

Çizelgeleme problemlerine son 50 yıldır hemen her alanda akademisyenler ve uygulayıcılar tarafından çalışılmaktadır. Çizelgeleme ile ilgili ilk çalışmalar akış tipi problemler, atama problemleri, basit atölye tipi problemlerdi. Basit problemler hariç, teklif edilen algoritmaların hiç birisi, genel çizelgeleme problemleri için optimum bir çözüm bulamadı. Kesin çözüm bulan algoritmaların çoğu ya basit akış tipi çizelgeleme problemleri ya da atölye problemlerinin spesifik alt gruplarına yönelik olanlardı. Çizelgeleme problemleri genellikle çizelgelemenin detaylarından

* e-mail / e-ileti: mzeydan@erciyes.edu.tr, tel: (0352) 437 49 01 / 32454

ötürü karmaşıktır. Bu detaylar, kaynak kısıtları, zaman kısıtları, öncelik ilişkileri, öncelikler ve hazırlık kısıtları olarak gruplandırılabilir [1]. Çizelgeleme ile ilgili en geniş literatür taraması Lawler'ın [2] çalışmasında bulunabilir. Uluslararası piyasalardaki -müşterilerin sürekli değişen ihtiyaçlarını ve isteklerini karşılamak için- artan rekabet baskısı, işletmeleri etkin ve verimli üretim yapmaya zorlamaktadır. Bu ihtiyaçları karşılamak için toplam kalite yönetimi, yalın imalat, tam zamanında üretim, esnek imalat sistemleri, eş zamanlı mühendislik gibi prensip ve felsefeler geliştirilmiştir. Tek bir makinedeki çizelgeleme, çok makineli çizelgelemenin özel bir şeklidir. Tek makineli problemlere odaklanmanın pek çok sebebi vardır. Çoklu makine problemleri, tek makineli çizelgeleme problemleri analiz edilerek daha iyi anlaşılabilirler. Pek çok gerçek hayatta karşılaşılan problemler, tek makinede yaşanan darboğazlar olmaktadır. Bundan dolayı, üretim planlama tek makineye yönelmektedir [3]. Bu makalede, tek makine üzerinde odaklanılmıştır. Amaç, toplam işlem maliyetlerini enküçükleyen bir çizelgeleme bulmaktır. Genellikle literatürde, zaman tabanlı çizelgeleme problemlerine yönelik amaçlar ele alınmaktadır. Çünkü, bu performans ölçütleri, maliyet-tabanlı ölçütlerin yerini tutan ölçütlerdir. Çizelgeleme problemlerinin çözümünde birden fazla ölçütün kullanıldığına son yıllarda yapılan çalışmalarda sıkça rastlanılmaktadır [4,5]. Bu problem, çok amaçlı karar verme problemine aittir. Performans ölçütleri konusunda pek çok çalışma yapılmıştır [6-8]. Yaygın zaman-bazlı performans ölçütlerinden bazıları, işlerin akış sürelerinin ortalama, maksimum ve varyansının enküçüklenmesi, geciken işler %'si, geciken işlerin ortalama, enbüyük ve varyansdır [9]. Önemli ve sıkça kullanılan kurallardan bazıları, SPT (En küçük işlem süresi), EDD (En erken tamamlama süresi) ve FCFS (ilk gelen ilk hizmet görür) kurallarıdır. SPT kuralı, muhtemelen geciken işlerin %'si ve ortalama akış süresini enküçüklemek için genellikle kullanılan, en eski ve basit kurallardan birisidir [10-12]. Ağırlıklandırılmış SPT kuralı, literatürde, ağır şartlar altında, geciken işlerin %'sini azaltmanın yanında ağırlıklandırılmış ortalama akış süresini enküçüklemek yönüyle çok iyi işlediği tanımlanmaktadır [5,13]. Çalışmada, öncelikle operasyona giren parçaların birim elde bulundurma maliyetleri ile sipariş miktarları çarpılarak planlanan elde bulundurma maliyetleri bulunmuştur. Planlanan üretim süresini bulunan değere bölerek ağırlıklandırılmış planlanan işlem süresi elde edilmiştir. Bölmenin anlamı, elde bulundurma maliyetleri arttıkça, öncelikle alınan siparişin üretilip bir an önce gönderilmesi gerekliliğidir. Sonuçta, SPT kuralına göre ağırlıklandırılmış planlanan işlem süresi, planlanan işlem süresi ile kıyaslanmış ve ağırlıklandırılmış SPT'nin daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir.

2. ÇİZELGELEME

Bir işletmede ürünlerin üretilmesi veya işlemlerin yerine getirilmesi için zaman ve sıralama açısından yapılan plana üretim çizelgesi denilmektedir. Üretim çizelgeleme, pek çok imalat şirketlerinin üretim planlamasının önemli bir parçasıdır ve proseslerde/imalatla önemli bir karar verme problemidir [14]. Çizelgeleme, üretim ve hizmet sistemlerinin operasyon kontrollerinin önemli bir yönünü oluşturmaktadır. Etkili çizelgeleme, gelecekte operasyon fonksiyonlarında, müşteri memnuniyetini ve pazar hacmini arttırmada önemli bir faktör olacaktır [15]. Sisteme gelen işler tek bir işleme ihtiyaç duyuyor ise buradaki problem tek makineli çizelgeleme problemidir ve işlerin hangi sırada yapılacağına belirlenmesine çalışılır. Paralel makineli problemlerde, sisteme gelen işler mevcut makinelerin herhangi birinde yapılabilir. Seri akışlı ve karmaşık akışlı problemlerde ise, atölyeye gelen işler birden fazla işleme ihtiyaç duymaktadır. Seri akışta tüm işlerin rotası aynı iken karmaşık akışlı problemlerde her bir işin rotası farklıdır. Bir şirkette üretim fonksiyonları hiyerarşik süreçler olarak görülebilir. Firma çizelgelemeye başlarken, önceden belirlenmiş toplam satışlar için talepleri tahmin etmelidir. Bu tahminler, işgücü seviyesi ve toplam üretimi karşılamak için girdi sağlayacaktır. Sonrasında, bütünleşik planlama, ana üretim çizelgelemeye dönüştürülür. Ana üretim çizelgeleme sonuçları zaman periyodu ve üretim vasıtasıyla kesinleştirilmiş üretimi amaçlamaktadır. Daha sonra MRP (Malzeme İhtiyaç Planlama) ile gerekli hammadde ve yarımamüller belirlenmek suretiyle elde

Cost-Based Scheduling and an Application ...

edildikten sonra detaylı üretim çizelgeleme yapılarak üretim gerçekleştirilir [15]. Çizelgelemenin amaçlarından bazıları şöyle sıralanabilir:

- İş teslim tarihinde müşteriye teslim etmek
- Atıl (aylak,gevşek) süreyi enküçükleme
- Fazla süre'yi enküçükleme
- Tezgah ve işgücü kullanımını enbüyüklemek
- Süreç içi stokları enküçükleme

Bu çalışmada, tek makinalı ortamlara ait çok ölçütlü çizelgeleme problemleri incelenirken işletmenin elde bulundurma maliyetleri göz önüne alınarak, ağırlıklandırılmış maliyet tabanlı bir sıralama geliştirilmiştir. Çünkü, bu ortamlara ait çizelgeleme teorisi çok makinalı teorisinin basamağını oluşturur. Gerekli hesaplamaların nasıl yapıldığını daha kolay anlayabilmek için aşağıdaki çizelge 1'de çizelgeleme parametrelerinin tanımı yapılmıştır.

Çizelge 1. Çizelgelemede kullanılan temel notasyonlar

veriler	n p_i d_i s_i r_i F_i	iş sayısı i. işin işlem zamanı i. işin teslim tarihi i işinin istenilen başlama zamanı i işinin işlem için hazır olma zamanı i işinin akış zamanı	
kısıtlar	$pmtt$ $nmit$	işler kesintiye uğrayabilir ve sonra kaldığı yerden tekrar başlar makina boş tutulmasına izin veriliyor	
değişkenler	C_i E_i L_i T_i U_i n_T	i. işin tamamlanma zamanı i. işin erken bitmesi i. işin gecikmesi i. işin geç bitmesi i işinin gecikme durumu toplam geciken iş sayısı	$E_i = \max(0, d_i - C_i)$ $L_i = C_i - d_i$ $T_i = \max(0, C_i - d_i)$ $U_i = \begin{cases} C_i & C_i > d_i \\ 0 & \text{diğer} \end{cases}$ $n_T = \sum_{i=1}^n U_i$
ölçütler	f_{max} C_{max} L_{max} L_{min} T_{max} E_{max} \bar{F} ($w\bar{F}$) \bar{T} ($w\bar{T}$) \bar{E} ($w\bar{E}$) \bar{U} ($w\bar{U}$)	maliyet fonksiyonu maksimum tamamlanma zamanı maksimum gecikme minimum gecikme maksimum geç bitirme maksimum erken bitirme ortalama akış zamanı (ortalama ağırlıklı akış zamanı) ortalama geç bitirme (ortalama ağırlıklı geç bitirme) ortalama erken bitirme (ortalama ağırlıklı erken bitirme) ortalama geciken iş (ortalama ağırlıklı geciken iş)	$C_{max} = \max_{i=1, \dots, n} (C_i)$ $L_{max} = \max_{i=1, \dots, n} (L_i)$ $L_{min} = \min_{i=1, \dots, n} (L_i)$ $T_{max} = \max_{i=1, \dots, n} (T_i)$ $E_{max} = \max_{i=1, \dots, n} (E_i)$ $\bar{F} = \sum_{i=1}^n F_i / n, \left(w\bar{F} = \sum_{i=1}^n wF_i / n \right)$ $\bar{T} = \sum_{i=1}^n T_i / n, \left(w\bar{T} = \sum_{i=1}^n wT_i / n \right)$ $\bar{E} = \sum_{i=1}^n E_i / n, \left(w\bar{E} = \sum_{i=1}^n wE_i / n \right)$ $\bar{U} = \sum_{i=1}^n U_i / n, \left(w\bar{U} = \sum_{i=1}^n wU_i / n \right)$

3. VERİLERİN ELDE EDİLMESİ

İşletmede bulunan SELCO panel kesme makinesine ait bir haftalık iş emri kullanılmıştır. Bu veriler dört ürüne aittir. Teslim tarihleri üretim planına göre çıkartılmıştır. Teslim tarihleri, ürünün kaç gün sonra teslim edilmesi gerektiği ile günlük net çalışma saati çarpılarak elde edilmiştir. Veriler, iki farklı yöntemle incelenmiştir. Birinci yöntem, her bir parça ayrı ayrı çizelgenerek, ikinci yöntemde ise ürünler gruplandırılarak çizelgenmiştir. Ayrıca, elde bulundurma maliyetleri de katılarak ağırlıklı sıralamalar hesaplanmıştır. 4857 sayılı iş kanunu madde 63'e göre haftalık çalışma süresi en çok 45 saattir. Buna ek olarak, tarafların anlaşması ile haftalık normal çalışma süresi, işyerlerinde haftanın çalışılan günlerine, günde on bir saati aşmamak koşulu ile farklı şekilde dağıtılabilir. İşletmede, haftada 5,8 gün çalışılıyor. Günlük çalışma süresi 10,5 saat (37,800 sn) ve net çalışma süresi 32.400 sn'dir (540 dakika). Teorikte makina günde 24 saat çalışabilmesine rağmen, pratikte mümkün olmadığından makinenin kapasitesini elde etmek için verimliliği ile çarpılarak bir kapasite elde edilmiştir.

Makinanın verimliliği (işletmeden alınmıştır)=0,95

Makinanın çalışabilir (haftalık) teorik kapasitesi= $6*24*0,95=136.8$ saat (8208 dk)

Makinanın iş saatleri içinde çalışma kapasitesinin de hesaplanması gerekmektedir, çünkü işçilerin çalışma saatlerine bağlıdır. Dolayısıyla;

Makinanın fiili kapasitesi= $5.8*10,5*60*0,95=3471$ dk/hafta (bu veri çizelgelemede kullanılıyor)

Makinanın çalışabileceği süre (çizelgeleme süresi dikkate alınmıştır)= $5724*0,95= 5440$ dk/hafta.

Makinanın çalışabileceği süre, makinenin fiili kapasitesinden fazla olduğu için makineye iş yüklemesi yapılabilir. Ayrıca, bu süre 1 haftalık yapılacak işin toplam çizelgeleme süresidir. Planlanan üretim, işletmenin üretmeyi planladığı yarımamülleri içermektedir. Çizelge 2' de hazırlanan verilerden planlanan üretim ile ilgili girdiler kullanılarak 184 adet işin FCFS (ilk giren ilk çıkar), EDD (erken tamamlanma süresi), SPT'ye (en kısa işlem süresi) göre çizelgenmesi yapılmıştır ve çizelge 3'de kıyaslaması görülmektedir. Çizelge 3'de görüldüğü gibi eğer amaç, geciken iş sayısını (G.İ.S), enbüyük gecikmeyi (M.G) ve ortalama gecikmeyi (O.G) enküçükleme ise FCFS veya EDD yöntemi kullanılabilir. İkisi karşılaştırıldığında, ortalama akış zamanı (O.A.Z) daha düşük olan FCFS tercih edilir. Amaç, ortalama akış zamanını enküçükleme ise SPT sıralama yöntemi kullanılmalıdır.

Çizelge 2. SELCO panel kesme makinesi işletme verileri

Sıra No	Malzeme Adı	sipariş miktarı	kalan	tamamlanan	gerçekleşen toplam üretim süresi	planlanan üretim süresi
1	Kasa Arka Paneli	73	0	73	2.19	2.19
2	Kasa Ön Paneli	73	0	73	2.19	2.19
3	Kasa Taban Paneli	73	0	73	2.19	2.19
4	Kasa Arka Paneli	2	0	2	0.12	0.12
5	Kasa Ön Paneli	2	0	2	0.12	0.12
6	Kasa Taban Paneli	2	0	2	0.1	0.1
7	Kasa Arka Paneli	322	0	322	28.98	28.98
8	Kasa Ön Paneli	322	0	322	28.98	28.98
9	Kasa Yan Paneli	794	0	794	23.82	23.82
12	Kasa Taban Paneli	150	120	30	2.63	13.15
....						
181	Kasa Taban Paneli	24	0	24	1.32	1.32
182	Kasa Taban Paneli	48	0	48	2.64	2.64
183	Kasa Taban Paneli	48	0	48	2.64	2.64
184	Kasa Taban Paneli	36	0	36	1.98	1.98

Çizelge 3. Planlanan üretimin sonuçları

	G.İ.S	M.G	O.A.Z	O.G
FCFS	0	0	2051.23	0
SPT	2	392	512.6	3.17
EDD	0	0	2079.84	0

3.1. Ağırlıklandırılmış SPT’de Kullanılan Elde Bulundurma Maliyeti ve Hesaplanması

Aşağıda çizelge 4’de görüldüğü gibi elde bulundurma maliyeti hesaplanırken günlük faiz oranı, günlük enflasyon oranı, vergiler, ve malzemeden çıkan kullanılmayacak durumda olan kusurlu oranı kullanılarak, günlük elde bulundurma maliyeti hesaplanmıştır. Bu maliyet ağırlıklı en kısa işlem süresi yönteminde uygulanarak en kısa işlem süresi yöntemi ile karşılaştırılacaktır. Ayrıca geciken işler içinde bir ceza maliyeti verilmiştir. Burada akla gelen bir soru “niçin ağırlıklı çizelgeleme?” yapılmıştır. Buna göre;

- Elde bulundurma maliyetinin (EBM) ciroasal olarak işletmeye yük getirmesi,
- Bu konuda çalışmaların yeni başlaması,
- Bir yönetici için maliyetlerin önemli olmasıdır denilebilir.

Çizelge 4. Elde bulundurma maliyetleri (EBM)

	Br. Maliyet (YTL)	Faiz Oranı (günlük)	Faiz Miktarı (YTL)	Enflasyon (günlük) TEFE	Enflasyon Miktarı (YTL)	Vergiler	Vergi Miktarı (YTL)	Bozulma	Bozulma miktarı (YTL)	EBM (YTL)
Sunta	1,6	0.012	0,0192	0.0026	0,00416	0.08	0,128	0.003	0,0048	0,15616
Panel	1,95	0.012	23400	0.0026	0,00507	0.08	0,156	0.003	0,00585	0,18447

Br. maliyet ile faiz oranı çarpılarak faiz miktarı, br. maliyet ile enflasyon oranı çarpılarak enflasyon miktarı, br. maliyet ile vergi oranı çarpılarak vergi miktarı, br. maliyet ile bozulma oranı çarpılarak bozulma miktarı bulunmuştur. Ek olarak, gecikme maliyeti 2 YTL alınmıştır. Bileşenlerin toplamı, toplam elde bulundurma maliyetini vermektedir. Ağırlıklı işlem süreleri, işlem süresinin elde bulundurma maliyetine bölünmesi ile elde edilmiştir. Bölme sebebi, EBM’nin ciroasal (satışlardan elde edilen gelir) olarak işletmeye yük getirmesi ve zamanla maliyeti ilişkilendirmektir. Bu yükü azaltmak için ağırlıklı bir çizelgeleme geliştirilmiştir. Veriler 10^8 ile çarpılarak normalize edilmiş ve programa girilmiştir.

3.3. Planlanan Çizelgelemenin Sonucu

Çizelge 5, ağırlıklı çizelgelemede kullanılan verileri göstermektedir. Çizelge 6’de ise çizelge 5’deki veriler kullanılarak planlanan ağırlıklandırılmış SPT’nin sonuçları gösterilmektedir. Çizelge 7, ağırlıklandırılmış ve normal en kısa işlem süresi (SPT) yapıldıktan sonra performans kriterleri ölçüm değerlerini ifade etmektedir. Burada görüldüğü gibi, amacımız ortalama akış zamanını enküçükleme ise SPT’yi eğer amacımız; geciken iş sayısını, ortalama gecikmeyi ve enbüyük gecikmeyi enküçükleme ise wSPT (ağırlıklandırılmış en kısa işlem süresi) sıralama yöntemini kullanmalıyız. Maliyet olarak karşılaştıracak olursak;

SPT’de elde bulundurma maliyeti = 86,785,438 TL

Ağırlıklandırılmış SPT’de elde bulundurma maliyeti = 71,398,392 TL olarak hesaplanmıştır.

Bir yönetici olarak maliyetler önemli ise ağırlıklı en kısa işlem süresi (wSPT) tercih edilir.

Çizelge 5. Ağırlıklı çizelgede kullanılan veriler

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Sıra No	Bir adedin EBM maliyeti	Bir tameden kaç Parça	Birim EBM (2/3)	Sipariş miktar	Planlanan üretime göre EBM (4x5)	Tamamlanan	Kalan	Gerçekleşen üretime göre EBM (4x7)	Gerçekleşen toplam üretim süresi	Planlanan üretim süresi	Gerçekleşen ağırlıklı işlem süresi (10/9)x10 ⁶	Planlanan ağırlıklı işlem süresi (11/6)x10 ⁶	Teslim süresi
1	0,184	13	0,0141	73	1,035	73	0	1,035	2,19	2,19	211	211	3132
2	0,184	13	0,0141	73	1,035	73	0	1,035	2,19	2,19	211	211	3132
3	0,184	1	0,184	73	13,466	73	0	13,466	2,19	2,19	16	16	3132
4	0,184	13	0,0141	2	0,0283	2	0	0,028	0,12	0,12	423	423	3132
5	0,184	13	0,0141	2	0,0283	2	0	0,028	0,12	0,12	423	423	3132
6	0,184	1	0,184	2	0,368	2	0	0,368	0,1	0,1	27	27	3132
7	0,184	13	0,0141	322	4,569	322	0	4,569	28,98	28,98	634	634	3132
8	0,184	13	0,0141	322	4,569	322	0	4,569	28,98	28,98	634	634	3132
9	0,184	26	0,0070	794	5,633	794	0	5,633	23,82	23,82	423	423	3132
10	0,184	30	0,0061	324	1,992	324	0	1,992	9,72	9,72	488	488	3132
11	0,184	1	0,184	322	59,399	322	0	59,399	22,54	22,54	38	38	3132
12	0,184	1	0,184	150	27,670	30	120	5,534	2,63	13,15	48	48	3132
13	0,156	26	0,0060	794	4,768	794	0	4,768	7,94	7,94	166	166	3132
....
182	0,184	1	0,184	48	8,854	48	0	8,854	2,64	2,64	30	30	5724
183	0,184	1	0,184	48	8,854	48	0	8,854	2,64	2,64	30	30	5724
184	0,184	1	0,184	36	6,640	36	0	6,640	1,98	1,98	30	30	5724

3.2 Planlanan Ağırlıklandırılmış SPT

Burada planlanan üretim için ağırlıklar kullanılarak çizelgeleme yapılmıştır.

I: İşlem Süresi, CI: İşlem Sürelerinin Ardışık Toplamı, TS: Teslim Süresi, T: Gecikme

SPT kuralına göre çizelgeleme yaparken, küçükten büyüğe doğru işlem sürelerinin sıralaması yapıldıktan sonra performans kriterleri olarak belirtilen geciken iş sayısı, ortalama gecikme, ortalama akış zamanı, en büyük gecikme belirlenir. Teslim süresinden işlem sürelerinin ardışık toplamı çıkarılarak gecikme bulunur. Planlanan ağırlıklandırılmış SPT'ye göre çizelgelemeyi yapabilmek için, planlanan üretim süresi, planlanan üretime göre elde bulundurma maliyetine bölünerek planlanan ağırlıklı işlem süresi bulunduktan sonra küçükten büyüğe doğru sıralama ile planlanan ağırlıklandırılmış SPT çizelgesi yapılmış olmaktadır. Yine performans kriterleri olarak belirtilen geciken iş sayısı, ortalama gecikme, ortalama akış zamanı, en büyük gecikme belirlenir. Aşağıdaki çizelge 6 ve 7'de planlanan ağırlıklandırılmış SPT ile çizelgelemenin sonuçları ve performans kriterlerine göre sonuçları görülmektedir.

4. GRUPLANDIRILMIŞ VERİLERLE ÇİZELGELEME

Bir alternatif olarak ürünleri gruplandırarak çizelgeleme yapılmasının daha doğru olabileceği düşünülebilir. Çünkü, bir ürüne ait değişik parçalar çizelgelendiği zaman farklı günlerde işlenebilmekte, dolayısıyla bir parçanın gecikmesi ürünün gecikmesi anlamına gelmektedir. Buna göre, parçaların işlem süreleri toplanarak ürünün üretim süresi, gerçekleşen ve planlanan üretim verilerinin her ikisi için de hesaplanmıştır. Ayrıca ağırlıklı işlem süreleri de hesaplanarak ağırlıklandırılmış SPT'ye uygulanıp SPT ile ciroasal (satışlardan elde edilen gelir) olarak ve kriterleri ile birlikte karşılaştırıldı. Planlanan üretim verileri kullanılarak çizelgeleme yapılmıştır.

Çizelge 6. Planlanan ağırlıklandırılmış SPT'nin sonuçları

wSPT					
SIRA	ISLER	I	CI	TS	T
1	28	0.08	0.08	3132	3131.92
2	168	7.8	7.88	5724	5716.12
3	34	4.52	12.4	3672	3659.6
4	165	0.06	12.46	5724	5711.54
5	97	2.4	14.86	4212	4197.14
6	85	8.52	23.38	4212	4188.62
7	64	0.04	23.42	4212	4188.58
8	70	4.44	27.86	4212	4184.14
9	51	3.72	31.58	3672	3640.42
10	176	2.19	33.77	5724	5690.23
11	175	0.18	33.95	5724	5690.05
12	174	0.18	34.13	5724	5689.87
.....					
181	66	0.27	3419.368	4212	792.632
182	86	78	3497.368	4212	714.632
183	81	12.6	3509.968	4212	702.032
184	71	6.12	3516.088	4212	695.912

Çizelge 7. Planlanan SPT ve planlanan ağırlıklandırılmış(W) SPT ile çizelgelemenin sonucu

	G.İ.S	M.G	O.A.Z	O.G
wSPT	0	0	1222.29	0
SPT	2	392	512.6	3.17

4.1. Gruplanan Üretim Sonuçları

Aşağıda çizelge 8'deki değerler fabrikanın gerçek verilerine dayalı olarak elde edilen FCFS, SPT ve EDD çizelgeleme kurallarına göre bulunan sonuçların performans kriterlerinin değerleridir. Görüldüğü gibi eğer amacımız, geciken iş sayısını, enbüyük gecikmeyi ve ortalama gecikmeyi enküçükleme ise FCFS veya EDD sıralama yöntemini kullanabiliriz. Amacımız ortalama akış zamanını enküçükleme ise SPT sıralama yöntemini kullanmalıyız.

Çizelge 8. Gruplanan üretimin sonuçları

	G.İ.S	M.G	O.A.Z	O.G
FCFS	0	0	2059.47	0
SPT	1	385	833.82	22.65
EDD	0	0	2119.35	0

4.2 Gruplanan Ağırlıklandırılmış SPT'nin Sonucu

Çizelge 9'de görüldüğü gibi, amaç, ortalama akış zamanını enküçükmek ise SPT'yi, eğer amaç, geciken iş sayısını, ortalama gecikmeyi ve maksimum gecikmeyi enküçükmek ise ağırlıklandırılmış SPT sıralama yöntemi kullanılır. Fabrikanın elde ettiği çizelgeleme sonuçları maliyet olarak karşılaştırılırsa;

SPT' de elde bulundurma maliyeti = 81,957 YTL

wSPT' de elde bulundurma maliyeti = 66,473 YTL olarak hesaplanmıştır. Buna göre, bir yönetici olarak maliyetler önemli ise ağırlıklı işlem süresi tercih edilir.

Çizelge 9. Gruplanan SPT ve gruplanan ağırlıklandırılmış (W) SPT'nin sonucu

	G.İ.S	M.G	O.A.Z	O.G
wSPT	0	0	1397	0
SPT	1	385	833.82	22.65
Fabrikanın Sıralaması	5	164.448	2049.16	38.79

4.3 Planlanan ve Gruplandırılmış Verilere Göre Sıralama Kurallarının Karşılaştırılması

Planlanan üretim verileri ve gruplandırılmış veriler için sıralama kurallarının sonuçları bir bütün olarak aşağıda çizelge 10'da verilmiştir.

Çizelge 10. Planlanan verilere göre sonuçlar

	Geciken İş Sayısı	Maksimum Gecikme	Ortalama Akış Zamanı	Ortalama Gecikme
Fabrikanın Sıralamasına Göre	5	164.448	2049.16	38.79
Planlanan Ağırlıklandırılmış SPT	0	0	1222.29	0
Planlanan FCFS	0	0	2051.23	0
Planlanan SPT	2	392	512.6	3.17
Planlanan EDD	0	0	2079.84	0
Gruplanan ağırlıklandırılmış SPT	0	0	1397	0
Gruplanan FCFS	0	0	2059.47	0
Gruplanan SPT	1	385	833.82	22.65
Gruplanan EDD	0	0	2119.35	0

4.4. Maliyetlerin Karşılaştırılması

Elde bulundurma maliyetini, ağırlık (w) olarak çizelgeleme problemlerinin çözümünde kullandığımızda, stok maliyetlerinde nasıl bir değişiklik olduğu aşağıda verilen çizelge 11'de görülmektedir. Sadece SPT için ağırlık değeri kullanıldığından dolayı planlanan ağırlıklandırılmış SPT, planlanan SPT, gruplanan ağırlıklandırılmış SPT, gruplanan SPT çizelge 11'de kıyaslanmaktadır. Çizelgedan görüldüğü gibi gruplanan ağırlıklı SPT'nin maliyeti en düşüktür.

Çizelge 11. Planlanan ve gruplanana göre elde bulundurma maliyetleri (EBM)

Planlanana ve Gruplanana göre	EBM (YTL)
Planlanan Ağırlıklandırılmış SPT	71,398
Planlanan SPT	87,595
Gruplanan ağırlıklandırılmış SPT	66,473
Gruplanan SPT	81,422

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Literatürde, bugüne kadar yapılan çizelgeleme çalışmalarına göz attığımızda çoğunlukla çizelgeleme problemlerinin çözümünde kullanılan temel performans ölçme kriteri olarak zaman-bazlı sıralama kurallarının kullanıldığını görmekteyiz. Son yıllarda yapılan çalışmalarda çizelgeleme problemlerinin çözümünde elde bulundurma maliyetlerinin kullanılarak maliyet-bazlı çizelgeleme yapılmış ve çizelgeleme problemlerinin çözümünde performans kriteri olarak kullanıldığı görülmektedir. Yapılan çalışmada elde bulundurma ve gecikme maliyetlerini de ekleyerek bir yönetici açısından hayati önem taşıyan toplam elde bulundurma maliyetleri değerlendirilerek ortaya konmuştur. Bu çalışmada;

- Maksimum gecikme, ortalama akış zamanı, geciken iş sayısı, ortalama gecikme hesaplanmış ve bunların birbirleriyle karşılaştırılması yapılmış,
- En iyi sonucu veren sıralama algoritması bulunmuş,
- Çizelgelemeye maliyet faktörü katılarak ağırlıklandırılmış, yeni imalat programı ve çizelgeleme yapılmıştır.

Yapılan çalışmanın sonucunda, Maliyet boyutlu çizelgeleme ile gerçekleşen işlere göre % 18.35, planlanana göre ise, % 18.49'luk bir iyileşme sağlanmıştır.

Eğer amaç,

- Geciken iş sayısını
- Maksimum gecikmeyi
- Ortalama gecikmeyi enküçükmek ise;

ağırlıklandırılmış SPT'yi, eğer ortalama akış zamanını enküçükmek ise SPT'yi kullanmalıyız. Eğer maliyetler bizim için önemli ise ağırlıklandırılmış SPT'yi kullanmalıyız. Ağırlıklandırılmış SPT ile çizelgeleme yapıldığında maliyetlerin azaldığı görülmektedir.

Gruplandırılmış veriler açısından değerlendirildiğinde;

Eğer amaç,

- Geciken iş sayısını,
- Maksimum gecikmeyi,
- Ortalama gecikmeyi enküçükmek ise;

ağırlıklandırılmış SPT'yi, eğer ortalama akış zamanını enküçükmek ise SPT'yi kullanmalıyız. Eğer maliyetler bizim için önemli ise ağırlıklandırılmış SPT'yi kullanmalıyız.

Bu bulgulara göre bir imalat işletmesinde maliyet-bazlı çalışma yapacaklar açısından öneriler şunlar olabilir;

- İşletmenin mutlaka kendisi için doğru çizelgeleme yöntemini tesbit edip kullanması,
- Elde bulundurma maliyeti eklenerek daha sağlıklı sonuç bulunması,
- Zaman etüdlarının işletmede doğru yapıldığının kesinleşmesi gerekir.

KAYNAKLAR

- [1] Burkan S., "A Genetic Algorithm Approach to Job-Shop Scheduling", Ph.D, Industrial Engineering, Cleveland State University, 1999.
- [2] Lawler EL, Lenstra JK, Rinnooy Kan AHG, Shmoys DB. Sequencing and scheduling: algorithms and complexity. Ch. 9 In: Graves SC, Rinnooy Kan AHG, Zipkin PH, editors. Handbooks in operations research and management science, vol. 4, Logistics of production and inventory. Amsterdam:North-Holland, p. 445-522, 1993.
- [3] Feldman, M., Biskup D., "Single Machine Scheduling for Minimizing Earliness and Tardiness Penalties by Meta Heuristic Approaches", Computers & Industrial Engineering, 44, 2, 307-323, 2003.
- [4] Dileepan, P., and Sen, T., "Bicriterion Static Scheduling Research For A Single Machine", Omega International Journal of Management Science, Volume 16, No:1, 53-59, 1988.
- [5] Gupta, S., and Kyparisis, J., "Single-Machine Scheduling Research", Omega International Journal of Management Science, Volume 15, No:3, 207-227, 1987.
- [6] Baker, K.R., Elements of Sequencing and Scheduling, Dartmouth College, hanover, 1997.
- [7] Morton, T.E., Pentico, D. W., Heuristic Scheduling Systems, Wiley, New York, 1993.
- [8] Pinedo, M.L., Scheduling:Theory, Algorithms, and Systems, Prentice-Hall, Englewood, 1995.
- [9] Jayamohan M.S., Rajendran C., "Development and Analysis of Cost-based Dispatching Rules for Job Shop Scheduling", European Journal of Operational Research, 157, 307-321, 2004.
- [10] Blackstone, J.H., Phillips, D.T., Hogg, G.L., "A State of Art Survey of Dispatching Rules for Manufacturing Job Shop Operations", International Journal of Production Research, 20, 27-45, 1982.
- [11] French, S., "Sequencing and Scheduling, an Introduction to the Mathematics of the Job Shop", ellis horwood, chichester, 1982.
- [12] Haupt, R., "A Survey of Priority Rule Based Dispatching", O.R. Spektrum, 11, 3-16, 1989.
- [13] Jensen, J.B., Philipoom, P.R., Malhotra, M.K., "Technical Note: Evaluation of Scheduling Rules with Commensurate Customer Priorities in Job Shops", Journal of Operations Management, 13, 213-228, 1995.
- [14] Pinedo M.L, Chao X., "Operations Scheduling with Applications in Manufacturing and Services", McGraw-Hill, 1999.
- [15] Nahmias S., "Production and Operations Analysis", 4th Edition, McGrawHill, 2001.
- [16] Vepsalainen, A.P.J., Morton, T.E., "Priority Rules for Job Shops with Weighted Tardiness Costs.Management Science", 33, 1035-1047, 1987.