

Araştırma Makalesi

HAMMADDE VE RENK TABANLI ÇİZELGELEME VE BİR ELEKTROTEKNİK FABRİKASINDA UYGULAMASI*

Berk ÖZER^{1*}

Mustafa KÖKSAL²

¹Istanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Turkey
berkozer130@gmail.com

²Istanbul Ticaret Üniversitesi Mühendislik Fak. Endüstri Mühendisliği Böl., İstanbul Turkey
mkoksal@ticaret.edu.tr

Öz

Bu çalışmada, elektroteknik ürünler üreten bir fabrikada yer alan enjeksiyon makinesinden alınan bir haftalık verilerle, tek makine için mevcut sıralama ve çizelgeleme metotlarının kullanımı ile hammadde ve renk matrisi oluşturularak yapılan bir çizelgelemenin sonuçları karşılaştırılmıştır. Ele alınan problem sıra bağımlı ve hazırlık zamanlıdır. Metotlar arasındaki karşılaştırmalar LEKIN programından yararlanılarak yapılmıştır. Çalışma sonucunda hammadde ve renge bağlı bir sıralama ve çizelgeleme yöntemi oluşturulmuştur. Bu metodun literatüre yerleşmesi ve kullanım kolaylığı açısından CB-SPT (Color Based Short Processing Time/Renk Tabanlı En kısa İşlem Süresi) olarak ifade edilmesi uygun görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Hammadde ve renk, tek makineli çizelgeleme, üretim planlama.

Research Article

MATERIAL AND COLOR BASED SCHEDULING AND IMPLEMENTATION IN THE ELECTROTECHNICAL FACTORY

Abstract

In this study, a weekly data collected from the injection molding machine in an electrotechnical factory has ensured the comparisons between the use of the current sequencing and scheduling methods for a single machine and the results of the schedule made by forming a raw material and colour matrix. Our problem is that we received and handled as preparation time dependent. The program LEKIN is used to make comparisons between the methods. As a result of study this is achieved the sequencing and scheduling method depending on the raw material and color. To remember easily and for the sake of practicality, we named this method CB-SPT (Color Based Short Processing Time) in the article.

Keywords: Raw materials and colors, single machine scheduling, production planning.

* Received / Geliş tarihi: 08/11/2016

*Corresponding Author/ Sorumlu Yazar:

Accepted / Kabul tarihi: 19/12/2016

berkozer130@gmail.com

1. GİRİŞ

Çizelgeleme ve sıralama problemleri, 50 yılı aşkın süredir her alanda akademisyenler ve uygulayıcılar tarafından yapılan araştırmalara konu olmuştur. Çizelgeleme üzerine yapılan ilk çalışmalar basit atölye tipi problemleri, akış tipi problemleri, atama problemleridir (Zeydan, 2006). Çizelgeleme problemleri çizelgelemenin detaylarından ötürü genellikle komplekstir. Bu detaylar, hazırlık kısıtları, öncelikler, öncelik ilişkileri, zaman kısıtları ve kaynak kısıtları olarak gruplandırılmıştır (Burkan, 1999). Çizelgeleme, birçok hizmet ve üretim sektöründe devamlı kullanılan bir karar verme sürecidir. Belirli bir zaman aralığında, kaynakların görevlere ayrılması ile ilgilenmekte ve bir veya daha fazla amacı en uygun hale getirmeye çalışmaktadır (Pinedo, 2008). Çizelgelemedeki amaç, makinelerdeki işlerin çalışmalarını ve performans ölçülerini optimize edecek şekilde bir zaman programına oturtmaktır (French, 1982). Çizelgeleme problemleri fabrika ve atölyelerdeki makine parkurlarına göre genel olarak esnek atölye tipi, atölye tipi, esnek akış tipi, akış tipi, paralel makine ve tek makine şeklinde sınıflandırılmıştır. (Pinedo, 2008). Allahverdi 1999 yılında, hazırlık zamanlarının konu edildiği çizelgeleme problemlerine ilişkin geniş bir literatür araştırması yapmıştır. Allahverdi'nin bu araştırmalarında sıra bağımlı ya da sıra bağımsız hazırlık zamanları olan ve atölye tipi, akış tipi, paralel makineler veya tek makine olarak sınıflandırılan makine parkurları hakkında bilgiler yer alır (Allahverdi, 1999). Yine bu araştırmaların devamı niteliğinde, Allahverdi 2008 yılında aynı şekilde 1999-2008 yılları arasındaki hazırlık zamanı olan çizelgeleme problemlerini incelemiştir (Allahverdi, 2008). Detaylı bir literatür taraması yapabilmek için bu çalışmalara bakılması gerekmektedir. Çizelgeleme problemleri kombinatoriyal optimizasyon problemleri sınıfında olduğu için en iyi çözümleri bulmak belirli bir boyuttan sonra çok daha zor olmuştur. Bu yüzden genellikle, tek ölçütlü ve küçük boyutlu problemler için optimal çözümlerde bulunulur (Eren ve Güner, 2002). Problemlerin boyutları büyüdükçe zorlukları da üstel olarak artmaktadır; problemler de polinom zamanda çözülebilen P sınıfından (tamsayılı programlama yöntemleri), üstel zamanda çözülebilen NP (sezgisel yöntemler) sınıfına geçmektedir (French, 1982). Çizelgeleme problemlerinin birçoğunda uygulanan bu kavramın yararı, büyük çapta NP problemlerini çözme ihtiyacı ile karşılaştığında, eldeki yöntemler ile en uygun çözümlerin bulunamayabileceğinin bilinmesi olmuştur. Bu nedenle en uygun çözümü garanti etmeyen ama daha az hesaplama gerektiren sezgisel çözüm yöntemlerinden faydalanmak çok daha etkilidir. NP çözümleri, mantıklı olan herhangi bir sıralama ile atölyede işi yapmanın, problemi kullanabileceğimiz en hızlı bilgisayarda en uygun olarak çözmekten daha kısa sürdüğünü ortaya çıkarmıştır. Problemler klasik çizelgeleme teorisinde ilk olarak matematiksel olarak modellendikten sonra en uygun sonucu veren algoritmalarla, ya da sezgisel yöntemler yardımı ile çözülür (Aktel ve Yenisey, 2014). Bu nedenle, sezgisel yöntemlere başvurmak uygulamada bir istisna yerine kural olarak kabul edilir (Baker, 2009).

Üretim planlaması yapılırken, genellikle önce tek makineli problemlere odaklanılır. Bunun birçok sebebi vardır. Tek makineli çizelgeleme problemlerini analiz edip

kavradıktan sonra çoklu makine problemleri daha iyi anlaşılabilir. Gerçek hayatta sıkça rastlanan problemlerin de birçoğunun tek makinelerde yaşanan darboğazlardan kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bu sebeplerden dolayı, üretim planlama tek makineye yönelme ihtiyacı duymuştur (Feldman ve Biskup, 2003). Çokça kullanılan ve önemli sezgisel (heuristic) kurallardan bazıları, LPT (En uzun işlem süresi), FCFS (İlk gelen ilk servis görür), EDD (En erken teslim süresi) ve SPT (En kısa işlem süresi) kurallarıdır. SPT sezgiseli, ortalama akış süresini en küçükmek için en çok tercih edilen, basit ve en eski kurallardan birisi olarak kabul edilir (Blackstone, Philips ve Hogg, 1982; Haupt, 1989).

Üretim çizelgesi, işletmelerde mamullerin üretilmesi veya yapılması gereken faaliyetlerin yerine getirilmesi için sıralama ve zaman açısından yapılan plana denilmektedir. Birçok atölye ve fabrikaların süreçlerde önemli karar verme mekanizması ve üretim planlamasının en önemli parçası üretim çizelgelemesidir (Pinedo, 1999). Çizelgeleme, hizmet ve üretim sistemlerinde operasyon faaliyetlerinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Etkili ve çok iyi yapılmış bir çizelgeleme, şirketlerin pazar hacmini ve müşteri memnuniyetini arttırmasında gelecekte önemli bir faktördür (Nahmias, 2001).

Bir ürünün üretimini yapabilmek için tezgâh, süreç veya makineler üzerinde yapılan işe hazırlama faaliyetleri veya kurulum (setup) denilmektedir. Bu faaliyetler ihtiyaç duyulan ekipmanların tespit edilmesi, temin edilmesi, ayarlanması, takılmasından oluşur. Hazırlık işlemleri problemleri literatürde iki sınıfta ele alınmıştır. Birincisinde, hazırlıklar sadece işlem göreceğe işe bağlı olup sıra-bağımsız hazırlık zamanlı olarak ifade edilir. İkincisinde ise hazırlık, hem o anda işlem göreceğe işe hem de bir önceki işe bağlıdır. Bu durum ise sıra-bağımlı hazırlık zamanlı olarak ifade edilir (Özçelik ve Saraç, 2009). Matbaa endüstrisi sıra-bağımlı hazırlık zamanlı uygulamalara örnek olarak verilebilir. Burada makinenin hazırlanması ve temizlenmesi, kâğıdın özelliğine, boyutuna ve en son kullanılan mürekkep rengine bağlıdır. Bunun dışında metal, ilaç ve kimya endüstrilerinde de sıra-bağımlı hazırlık zamanlı uygulamalara çokça rastlanılmaktadır (Yang ve Liao, 1999). Bu çerçevede plastik enjeksiyon makinelerinin çizelgelemesi problemleri de renk bazında matbaa problemlerine benzemektedir. Enjeksiyonlarda plastik parça üretiminde, koyu renkli bir parçadan sonra açık renkli bir parça üretimi çizelgelendiğinde ya da bazı özellikli hammaddelerin, farklı yapıdaki hammaddelerden sonra kullanılması gerektiğinde hazırlık süreleri fazlaca uzayabilmektedir (Saraç ve Sipahioğlu, 2009). Bu çalışmada tek makineli sıra-bağımlı hazırlık zamanlı çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Ele alınan ölçütler hammadde ve renktir. Çalışmanın sonucunda hammadde ve renge bağlı bir sıralama ve çizelgeleme metoduna ulaşılmıştır. Hammadde, renk ve SPT'yi bir arada kullandığımız bu çizelgeleme metodu CB-SPT (Color Based Short Processing Time/Renk Tabanlı En kısa İşlem Süresi) olarak tanımlanmıştır.

2. CB-SPT METODUNUN LİTERATÜRE KATKISI

En çok kullanılan mevcut sıralama ve çizelgeleme metotları için literatür incelediğinde LPT ve SPT metodunun çizelgeleme problemlerini işlem süresi açısından değerlendirdiği, FCFS metodunun sipariş geliş sırasına göre problemleri ele aldığı, EDD metodunun ise problemleri siparişlerin teslimat sırasına göre incelediği sonucuna ulaşılır. Plastik enjeksiyon üretimlerinin çizelgelemesi, literatürdeki metotların bakış açısından farklılıklar arz etmektedir. Plastik üretiminin diğer üretimlerden farkı, içerisinde hammadde ve renk parametrelerini barındırmasıdır. Bunun nedeni tek makinede sırasıyla farklı parçalar üretilmek istendiğinde, üretilen sıradaki parçanın renkleri veya hammaddeleri değiştiği zaman istenilen kalite standartlarına uygun olması beklenir. Bu uygunluğun sağlanabilmesi için makinelerin enjeksiyon kısmında bir önceki üretilen parçaya ait renk ve hammadde kalıntılarının temizlenmesi gerekir. Bu işleme kusturma işlemi denilmektedir. Üretilmek istenen sıradaki parçalar kalite standartlarına ulaşmaya kadar kusturma işlemi devam eder. Bu işlem sırasında üretilen parçalar kalite standartlarına uygun olmadığı için hem zaman hem de malzeme açısından kayıp kabul edilir. Bu nedenle kusturma işleminin en hızlı sürede tamamlanması istenir. Açık renkten koyu renge geçilmesi veya aynı hammadde ile üretime devam edilmesi kusturma işleminin zamanını kısaltır; fakat koyu renkten açık renge geçilmesi veya farklı hammadde ile üretime devam edilmesi ise kusturma işleminin süresini oldukça uzatır. Kusturma işleminin kısa sürede tamamlanması istendiği için yapılması gereken en önemli kısım, siparişlerin üretimlerinde açık renkten koyu renge doğru gidilmesi ve aynı hammaddeye sahip olan siparişlerin bir arada toplanmasıdır. CB-SPT metodunun mevcut sıralama ve çizelgeleme metotlarından farkı plastik üretiminin hammadde ve renk parametrelerini dikkate alarak bir çizelgeleme oluşturmasıdır. Bu çizelgeleme metodunun plastik enjeksiyon üretimlerinde daha verimli olduğu görülmüştür.

3. PROBLEMİN TANIMI VE METODOLOJİ

Bu çalışmada hazırlık zamanlı tek makineli sıra-bağımlı çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Rastgele seçilen 13 siparişin yer aldığı bir haftada, aşağıdaki tablo 1 verileri elde edilmiştir. Bu veriler öncelikle SPT, LPT ve FCFS yöntemlerine göre hammadde ve renk durumuna dikkat edilmeden çözülmüştür. Daha sonra hammadde ve renk durumuna dikkat edilerek CB-SPT metoduna göre tekrar çözülmüştür. Çalışmanın yapıldığı firma Emas A.Ş.'de plastikhane mesai saatleri pazartesi saat 07.50'den cuma saat 17.50'ye kadar gece-gündüz vardiyalı olarak kesintisiz devam etmektedir. Toplam çalışma süresi 106 saattir.

Tablo 1: Gelen Siparişler

	Parça	Hammadde ve Renk	t=Çevrim Süresi(sn.)	q=Sipariş Miktarı(ad)	txd=Toplam Fiili Süre(dk.) (KBS* dâhil)
1	A	PA66-SİYAH	7,65	2000	315
2	B	PA66-ŞEFFAF	3,78	15000	1005
3	C	PBT-ŞEFFAF	1,30	9000	255
4	D	PA6-ŞEFFAF	4,02	15000	1065
5	E	PA6-SİYAH	3,60	3000	240
6	F	PA6-SİYAH	2,40	3000	180
7	G	PA66-KIRMIZI	1,10	30000	610
8	H	POM-MAVİ	5,60	1500	200
9	I	POM-SARI	3,96	5000	390
10	J	POM-SARI	4,02	10000	730
11	K	TERMOKAUÇUK-SİYAH	2,16	5000	240
12	L	TERMOKAUÇUK-ŞEFFAF	3,60	3000	240
13	M	UREA-ŞEFFAF	4,40	1500	170

KBS*: Kalıp Bağlama ve Sökme Süresi(60 dakika)

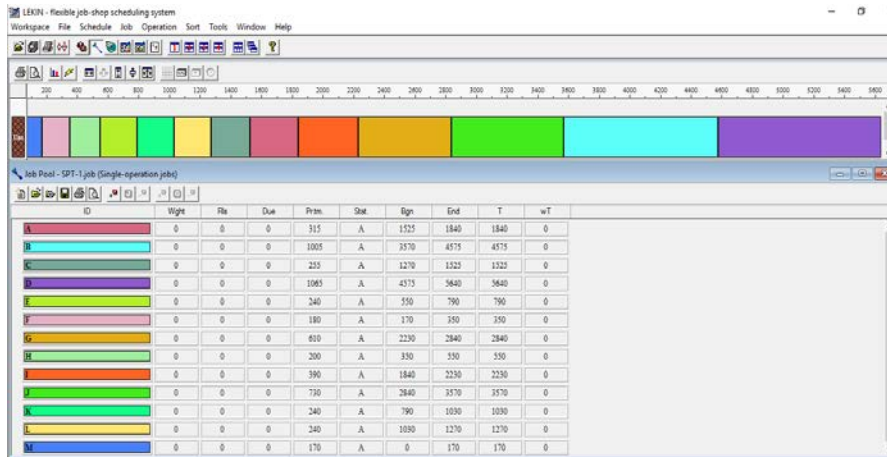
Kaynak: (EMAS A.Ş, 2016)

3.1. SPT Kuralına Göre Çözüm

SPT kuralına göre, gelen siparişler LEKIN programı kullanılarak çözülmüştür.

Sıralama: M-F-H-E-K-L-C-A-I-G-J-B-D

SPT kuralı çizelgeleme problemlerini işlem süresi açısından değerlendirir. SPT kuralı, en kısa işlem süresinden en uzun işlem süresine doğru çizelgeleme yapmaktadır.



Şekil 1: SPT LEKIN Çözümü

Tablo 2: Hammadde Renk Den-Ye (from-to) Matrisi

From \ To	PA66-SİYAH	PA66-KIRMIZI	PA66-ŞEFFAF	PA6-SİYAH	PA6-ŞEFFAF	PBT-ŞEFFAF	POM-MAVİ	POM-SARI	TERMO KAUCUK-SİYAH	TERMO KAUCUK-ŞEFFAF	UREA-ŞEFFAF
PA66-SİYAH	KBS*	KBS+120	KBS+120	KBS+60	KBS+120	KBS+120	KBS+120	KBS+120	KBS+60	KBS+120	KBS+120
PA66-KIRMIZI	KBS+30	KBS	KBS+30	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60
PA66-ŞEFFAF	KBS+30	KBS+30	KBS	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60
PA6-SİYAH	KBS+60	KBS+120	KBS+120	KBS	KBS+120	KBS+120	KBS+120	KBS+120	KBS+60	KBS+120	KBS+120
PA6-ŞEFFAF	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+30	KBS	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60
PBT-ŞEFFAF	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60
POM-MAVİ	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS	KBS+30	KBS+60	KBS+60	KBS+60
POM-SARI	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+30	KBS	KBS+60	KBS+60	KBS+60
TERMO KAUCUK-SİYAH	KBS+60	KBS+120	KBS+120	KBS+60	KBS+120	KBS+120	KBS+120	KBS+120	KBS	KBS+120	KBS+120
TERMO KAUCUK-ŞEFFAF	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+30	KBS	KBS+60
UREA-ŞEFFAF	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS+60	KBS

KBS* : Kalıp Bağlama ve Sökme Süresi(60 dakika)

NOT: Sayılar dakika cinsindedir.

Kaynak: (EMAS A.Ş, 2016)

LEKIN programıyla bulduğumuz sıralamanın sonucuna hammadde renk matrisindeki değerleri ekleyip bakıldığında makespan 6540 dakika (109 saat) olarak bulunmuştur. Aşağıdaki tabloda görüldüğü üzere bir haftalık 106 saat olan çalışma süresi 3 saat aşılmıştır. Maksimum gecikme süresi 6540 dakikadır ve toplam gecikme süresi ise 32500 dakikadır.

Tablo 3: SPT Çözümüne Hammadde Renk Matrisindeki Değerlerin Eklenmesi

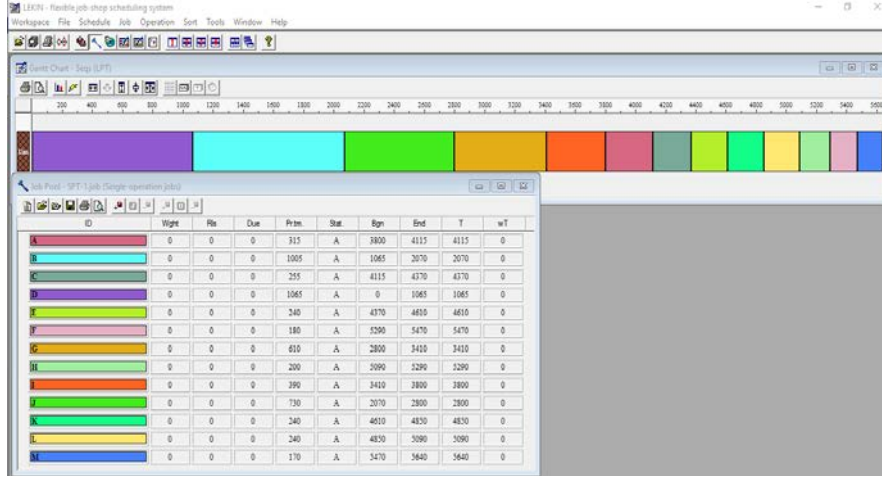
	M	F	H	E	K	L	C	A	I	G	J	B	D
BAŞLANGIÇ	0	170	410	730	1030	1330	1690	2005	2380	2890	3560	4350	5415
TOPLAM FİİLİ SÜRE(dk.)	170	240	320	300	300	360	315	375	510	670	790	1065	1125
BİTİŞ	170	410	730	1030	1330	1690	2005	2380	2890	3560	4350	5415	6540

3.2. LPT Kuralına Göre Çözüm

LPT kuralına göre, gelen siparişler LEKIN programı kullanılarak çözülmüştür.

Sıralama: D-B-J-G-I-A-C-L-K-E-H-F-M

LPT kuralı çizelgeleme problemlerini işlem süresi açısından değerlendirir. LPT kuralı, en uzun işlem süresinden en kısa işlem süresine doğru çizelgeleme yapmaktadır.



Şekil 2: LPT LEKIN Çözümü

LEKIN programıyla bulduğumuz sıralamanın sonucuna hammadde renk matrisindeki değerleri ekleyip bakıldığında makespan 6510 dakika (108,5 saat) olarak bulunmuştur. Aşağıdaki tabloda görüldüğü üzere bir haftalık 106 saat olan çalışma süresi 2,5 saat aşılmıştır. Maksimum gecikme süresi 6510 dakikadır ve toplam gecikme süresi ise 57770 dakikadır.

Tablo 4: LPT Çözümüne Hammadde Renk Matrisindeki Değerlerin Eklenmesi

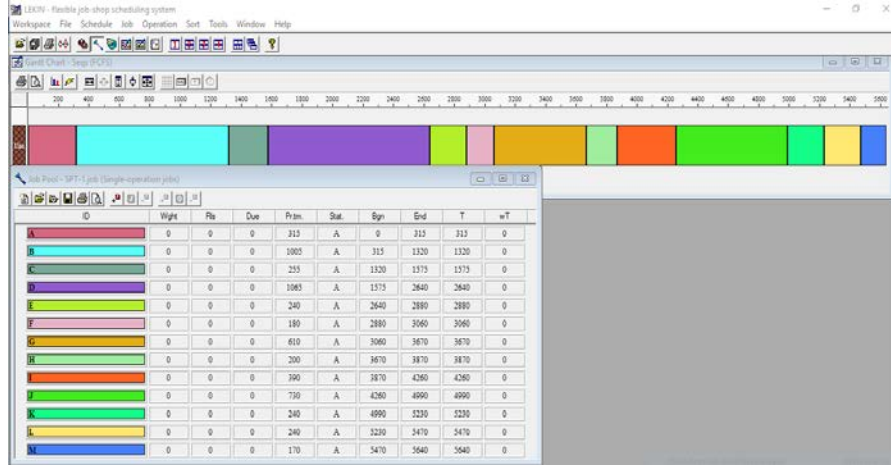
	D	B	J	G	I	A	C	L	K	E	H	F	M
BAŞLANGIÇ	0	1065	2130	2920	3590	4040	4415	4790	5090	5360	5660	5980	6220
TOPLAM FİİLİ SÜRE(dk.)	1065	1065	790	670	450	375	375	300	270	300	320	240	290
BİTİŞ	1065	2130	2920	3590	4040	4415	4790	5090	5360	5660	5980	6220	6510

3.3. FCFS Kuralına Göre Çözüm

FCFS kuralına göre, gelen siparişler LEKIN programı kullanılarak çözülmüştür.

Sıralama: A-B-C-D-E-F-G-H-I-J-K-L-M

FCFS kuralı çizelgeleme problemlerini sipariş geliş sırasına göre inceler. FCFS kuralı, ilk gelen siparişi ilk son gelen siparişi son teslim edecek şekilde çizelgeleme yapmaktadır.



Şekil 3: FCFS LEKIN Çözümü

LEKIN programıyla bulduğumuz sıralamanın sonucuna hammadde renk matrisindeki değerleri ekleyip bakıldığında makespan 6360 dakika (106 saat) olarak bulunmuştur. Aşağıdaki tabloda görüldüğü üzere bir haftalık 106 saat olan çalışma süresi hiç aşılmamıştır. Maksimum gecikme süresi 6360 dakikadır ve toplam gecikme süresi ise 49720 dakikadır.

Tablo 5: FCFS Çözümüne Hammadde Renk Matrisindeki Değerlerin Eklenmesi

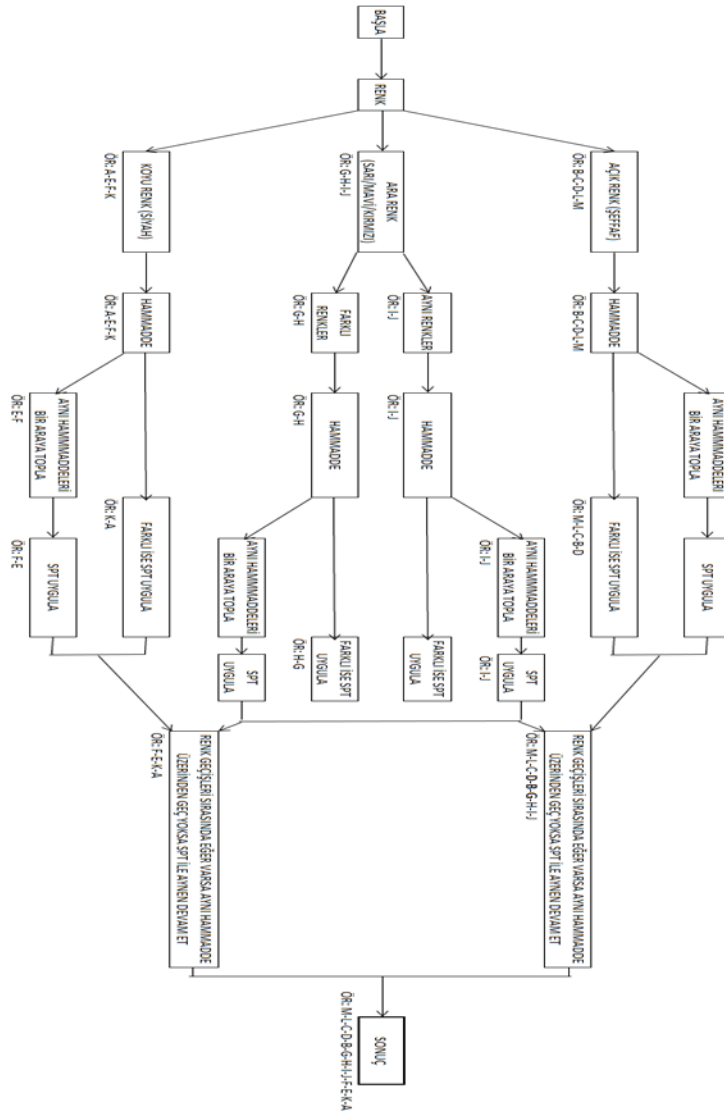
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
BAŞLANGIÇ	0	315	1440	1755	2880	3150	3330	4060	4320	4740	5470	5770	6130
TOPLAM FİİLİ SÜRE(dk.)	315	1125	315	1125	270	180	730	260	420	730	300	360	230
BİTİŞ	315	1440	1755	2880	3150	3330	4060	4320	4740	5470	5770	6130	6360

3.4. CB-SPT Kuralına Göre Çözüm

Hammadde ve renk durumuna dikkat edilerek (tablo 2 deki hammadde-renk matrisine bakılarak); hammadde, renk ve SPT bir arada düşünülerek CB-SPT kuralına göre yaptığımız çözümde ise makespan 6180 dakika (103 saat) olarak bulunmuştur. Bu algoritmaya göre siparişlerin üretimlerinde açık renkten koyu renge doğru gidilmesi gerekir. Bunun nedeni plastik enjeksiyon makinelerinde açık renkten koyu renge geçmek kolaydır; fakat koyu renkten açık renge geçmek oldukça zordur. Hem çok zaman alır hem de renk geçişi sırasında çok fazla malzeme israf edilir. Algoritmamızda ikinci bakmamız gereken önemli kısım aynı hammaddeye sahip olan siparişlerin bir arada toplanmasıdır. Üçüncü ve son bakmamız gereken kısım ise en kısa işlem süresine (SPT) sahip olanlardır.

3.5. CB-SPT Algoritması Prosedürü

- 1-Renkler bak. Açık, ara ve koyu renk diye ayır. Aynı renk grubunda olanları peşi sıra getir.
- 2-Aynı renk grubu içerisindeki hammaddelere bak. Aynı hammaddeden olanları peşi sıra getir ve SPT uygula. Farklı hammaddeden olanlara direk SPT uygula.
- 3-Renk geçişleri sırasında varsa aynı hammadde üzerinden geç; yoksa SPT uygula. Sonuçları göster.



Şekil 4: CB-SPT Algoritmasının Akış Diyagramı

Aşağıdaki tabloda görüldüğü üzere bu çözüm bir haftalık 106 saat olan çalışma süresinden 3 saat daha erken bitmiştir. Maksimum gecikme süresi 6180 dakikadır ve toplam gecikme süresi ise 45875 dakikadır.

Tablo 6: CB-SPT Çözümü

	M	L	C	D	B	G	H	I	J	F	E	K	A
BAŞLANGIÇ	0	170	470	785	1910	2975	3615	3875	4295	5025	5265	5505	5805
TOPLAM FİİLİ SÜRE(dk.)	170	300	315	1125	1065	640	260	420	730	240	240	300	375
BİTİŞ	170	470	785	1910	2975	3615	3875	4295	5025	5265	5505	5805	6180

Tablo 7: Sonuçların Karşılaştırılması

METOTLAR	Maximum Gecikme Süresi(dk.)	Toplam Gecikme Süresi(dk.)
SPT	6540	32500
LPT	6510	57770
FCFS	6360	49720
CB-SPT	6180	45785

4. SONUÇ

Bu yaptığımız çalışma sonucunda, elektroteknik ürünler üreten bir fabrikada bulunan plastik enjeksiyon makinesinden alınan bir haftalık verilerle, tek makine için sıralama metotlarından en verimli sonuçları veren SPT'nin kullanımındaki çözüm ile LPT'nin kullanımındaki çözüm, FCFS'nin kullanımındaki çözüm ve hammadde, renk ve SPT'nin bir arada düşünülerek yaptığımız CB-SPT çözümündeki sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada SPT ve LPT çözümleri sonucunda çıkan sıralamalara hammadde renk matrisindeki değerler eklendiği zaman bir haftalık çalışma süresi olan 106 saat aşılırsa, 13 sipariş sırasıyla 109 saatte ve 108,5 saatte tamamlanabilmiştir. FCFS çözümü sonucunda çıkan sıralamaya hammadde renk matrisindeki değerler eklendiği zaman ise 106 saat olan çalışma süresi hiç aşılmamıştır ve 106 saatte tamamlanmıştır. Ancak hammadde, renk ve SPT'yi bir arada düşünerek yaptığımız CB-SPT çözümünde ise ortaya çıkan sonuçta 13 sipariş 3 saat daha erken olarak 103 saatte bitirilmiştir. Sonuç olarak plastik enjeksiyon üretimlerinin çizelgelemesinde kullanılan SPT, LPT veya FCFS gibi diğer çözüm metotlarının yanı sıra, hammadde renk matrisindeki değerleri de dikkate alarak yapılan CB-SPT çözüm metodunun uygulanmasının daha verimli olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Aktel A., Yenisey M.**, (2014), Melez Akış Tipi Çizelgeleme Problemi İçin Bir Genetik Algoritma, Kara Harp Okulu Bilim Dergisi Cilt 24, Sayı 2, 61-82. ISSN (Basılı) : 1302-2741 E-ISSN: 2148-4945.
- Aldowaisan T., Jatinder N.D. Gupta, Allahverdi A.**, (1999), OMEGA - International Journal of Management Science, A review of scheduling research involving set-up consideration, 27: 219-239.
- Biskup D., Feldman M.**, (2003), "Single Machine Scheduling for Minimizing Earliness and Toplam gecikme süresi Penalties by Meta Heuristic Approaches", Computers and Industrial Engineering, 44, 2, 307-323.
- Burkan S.**, (1999), "A Genetic Algorithm Approach to Job-Shop Scheduling", Ph.D, Industrial Engineering, Cleveland State University.
- Chao X., Pinedo M.L.**, (1999), "Operations Scheduling with Applications in Manufacturing and Services", Mc Graw Hill.
- French S.**, (1982), "Sequencing and Scheduling, an Introduction to the Mathematics of the Job Shop", Ellis Horwood, Chichester.
- Güner E., Eren T.**, (2002), Tek ve Paralel Makineli Problemlerde Çok Ölçütlü Çizelgeleme Problemleri İçin Bir Literatüre Taraması, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 17(4), 37-69.
- Haupt R.**, (1989), "A Survey of Priority Rule Based Dispatching", O.R. Spektrum, 11, 3-16.
- Hogg G.L., Phillips D.T., J.H. Blackstone**, (1982), "A State of Art Survey of Dispatching Rules for Manufacturing Job Shop Operations", International Journal of Production Research, 20, 27-45.
- Lekin**, <http://web-static.stern.nyu.edu/om/software/lekin/download.html>, (2016).
- Liao C.J., Yang Wei-Hsiung**, (1999), "Survey of scheduling research involving setup times", International Journal of Systems Science, 30 (2): 143–155.
- Mikhail Y. Kovalyov, T.C.E. Cheng, C.T. Ng, Allahverdi A.**, (2008), A Survey of Scheduling Problems With Setup Times or Costs, European Journal of Operational Research, 187, 985-1032.
- Nahmias S.**, (2001), "Production and Operations Analysis", 4th Edition, Mc Graw Hill.
- Özçelik F., Saraç T.**, (2009), Sıra Bağımlı Hazırlık Süreli İki Ölçütlü Tek Makine Çizelgeleme Problemi İçin Sezgisel Bir Çözüm Yöntemi, Endüstri Mühendisliği Dergisi ÜAS Özel Sayısı Cilt: 22 Sayı: 4 Sayfa: (48-57).
- Pinedo M.L.**, (2008), Scheduling: Theory, Algorithms and Systems, 3rd Ed., Springer, New York, 2008.

Saraç T., Sipahioğlu A., (2009), Plastik Enjeksiyon Makinalarının Çizelgenmesi Problemi, MMO Endüstri Mühendisliği Dergisi, Cilt:20, Sayı: 2, 2-14.

Trietsch D., Kenneth R. Baker, (2009), Principles of Sequencing and Scheduling, Wiley, New Jersey.

Zeydan M., (2009), Maliyet Tabanlı Çizelgeleme Ve Bir Mobilya Fabrikasında Uygulaması, Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Sigma 1.