

Öğrenme Etkili Tam Zamanında Çizelgeleme Problemi Ve KOBİ’de Uygulama

Mesut Cemil İŞLER^a, Bilal TOKLU^b, Veli ÇELİK^c, Süleyman ERSÖZ^d

^a-Devlet Malzeme Ofisi Genel Müdürlüğü, Kalite Kontrol Daire Başkanlığı, 06041 Yücepete/Ankara, mesutcemilisl@gmail.com

^b- Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gazi Üniversitesi, 06570 Ankara, btoklu@gazi.edu.tr

^c- Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, 71450 Kırıkkale, vcelik@kku.edu.tr

^d- Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, 71450 Kırıkkale, serso@kku.edu.tr

Abstract—When a task or work is done continuously, there will be an experience so following times needs of required resources (manpower, materials, etc.) will be reduced. This phenomenon is known as the “learning effect” in literature. Learning effect, which has been taken in to consideration at the production scheduling, is an important phenomenon.

Minimization problem of Earliness/Tardiness (E/T) penalties, which is also known as Just in Time (JIT) scheduling, has begun to gain importance with growing interest in JIT production topic.

In this study, Just-in-Time scheduling problem with learning effect has been taken up for a KOBİ and alternative methods were evaluated by comparing the results with the solution.

Index Terms—Scheduling, Flow-shop, Earliness/Tardiness, Learning Effect, Integer Programming.

Özet—Bir görev veya iş sürekli yapıldığı takdirde belirli bir alışkanlık ve öğrenme olur ve ilerleyen zamanlarda bu işi tamamlamak için gerekli kaynaklara olan (işgücü, malzeme, vb.) ihtiyaç azalır. Bu olgu literatürde öğrenme etkisi olarak bilinmektedir. Öğrenme etkisi üretim çizelgelemede son yıllarda çalışmalarda dikkate alınan önemli bir olgudur.

Tam Zamanında Üretim (TZÜ) konusuna artan ilgiyle beraber tam zamanında çizelgeleme olarak ta nitelendirebildiğimiz Erken/Geç tamamlanma (E/G) cezalarının minimizasyonu problemi önem kazanmaya başlamıştır.

Bu çalışmada öğrenme etkili tam zamanında çizelgeleme problemi bir KOBİ için ele alınmış ve alternatif yöntemlerle çözüm sonuçları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler—Çizelgeleme, Akış Tipi, E/G tamamlanma, Öğrenme etkisi, Tamsayılı programlama.

I. GİRİŞ

Günümüzde birçok endüstri alanında akış tipi üretim yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu nedenle, akış tipi çizelgeleme problemi, üzerinde dikkatle durulan bir problem olmuştur. Permütasyon akış tipi çizelgeleme problemi, tüm makinelerde bir işin işlem sırasının aynı olduğu, m makine ($j=1,2,\dots,m$) üzerinde belli işlem sürelerine sahip n işin ($i=1,2,\dots,n$) çizelgelenmesinden oluşur. Akış tipi çizelgeleme problemleri birleşik eniyileme problemi özelliğindedir ve NP-zor problem sınıfındadır[1].

Pek çok üretim tesisinde, üretim birimi (işçi veya makine) tarafından aynı veya benzer faaliyetlerin sürekli tekrarlanması sonucu öğrenmeye bağlı olarak üretim işleminde gelişme kaydedilir. Böylece bir ürün sıralamada ne kadar geç çizelgelenirse üretim zamanı o kadar kısılır. Bu literatürde öğrenme etkisi olarak bilinmektedir[2, 3].

Çoğu öğrenme eğrileri, gerekli kaynak ihtiyacının yapılacak iş iki katına çıktığında sabit bir yüzde ile azalacağı temeline dayanır[2, 4]:

- $P_{[j]}=P_{[1]}*j^a$
 - $P_{[j]}$: j . birimi yapmak için gerekli zaman
 - $P_{[1]}$: 1. birimi yapmak için gerekli zaman
 - LR: Öğrenme oranı (%80 öğrenme eğrisi için LR=0.8’dir ve LR küçüldükçe öğrenme etkisi artar.)
 - Öğrenme etkisi parametresi: $a=\log(LR)/\log(2)$

Örneğin;

Bir montaj işlemine %80 öğrenme eğrisinin tatbik edilebileceği bulunmuştur. Birinci birimi üretmek için gerekli zaman 10 dakikadır. 8’inci birimi üretmek için gerekli zaman ne kadardır? 20’inci birim için ne kadardır?

- $a = \log(0.8)/\log(2) = -0.322$
- $P_{[8]} = 10*(8^{-0.322})=5.12$
- $P_{[20]} = 10*(20^{-0.322})=3.81$
- $T_{[j]} = j$ adet birimi üretmek için gerekli toplam zaman = $P_{[1]}*[1^a+2^a+\dots+j^a]$
- $C_{[j]} = j$ birimden birini üretmek için gerekli ortalama zaman = $T_{[j]}/j$
- Örneğe devam edersek:
 - $T_{[8]}=10*[1^{-0.322}+2^{-0.322}+\dots+8^{-0.322}]=53.45$
 - $C_{[8]}= T_{[8]}/8=53.45/8=6.68$

Öğrenme etkisi çizelgelemede ilk kez Biskup tarafından 1999’da incelenmiştir. Biskup, bir kalemin üretiminin tekrar sayısının bir fonksiyonu olarak üretim zamanındaki azalma yansımaları öğrenme süreci olarak kabul etmiştir. Biskup, tek makineli problemler üzerinde çalışmış ve akış zamanlarının minimizasyonunu ve ortak teslim tarihinden sapmalarının ağırlıklı toplamının minimizasyonunu amaç fonksiyonları olarak ele almıştır[2, 4, 5].

Bir tam zamanında çizelgeleme yapısında, erken biten işler teslim tarihlerine kadar üreticinin elinde kalır. Bu da ürünün bozulmasından kaynaklanan maliyetler ile depolama veya sigorta gibi maliyetleri beraberinde getirir. Buna ilaveten, biten mal stoku dolaylı olarak fırsat maliyeti taşıyan verimsiz bir yatırımdır. Diğer yandan, teslim tarihlerinden sonra tamamlanan işler müşteri tatminsizliğine, sözleşme cezalarına, satış kayıplarına veya itibar kaybına yol açar. Bu nedenle, ideal bir çizelge için tüm işler teslim tarihlerinde tamamlanmalıdır[6].

E/G çizelgeleme problemleri erken ve geç tamamlananın aynı anda en küçüklenmesini amaçlayan problemlerdir. Teslim tarihinden ağırlıklı sapmaların minimizasyonu ile ilgili literatürde farklı yaklaşımlar ortaya konmuştur. Bunlardan biri; E/G problemlerinin önemli bir

özel durumu olan ortak teslim tarihinden işlerin tamamlanma zamanlarının mutlak sapmalarının toplamının en küçüklenmesini ele alır. Bu durumda, tüm d'ler d'ye eşittir. Eğer d yeterince büyükse, yani çözüm takvimi açısından rahatça hareket edebilecek bir alan varsa bu tarz problemler literatürde "kısıtlandırılmamış versiyon" olarak adlandırılır. Aksi durumda, yani d yeterince büyük değilse, yani çözüm alanı dar ise bu tarz problemler literatürde "kısıtlandırılmış versiyon" olarak ifade edilir[6].

Çoğu araştırmacı, ortak teslim tarihli problemleri, birçok ürünün tek bir müşterisinin olduğu durumu veya bir montaj ortamında aşamalarda gecikmelerden kaçınmak için montaj bileşenlerinin aynı zamanda hazır olma gerekliliği durumunu temsil eden problem olarak ifade etmektedirler. Farklı teslim tarihlerine izin veren daha genel bir model ve bu tür problemlere ait çözümler, ortak teslim tarihli problem çözümlerinden belirgin şekilde farklılık gösterir. Atölye tipi veya siparişe göre üretim yapan imalat sistemlerinde genelde, müşteri ve tedarikçi arasındaki anlaşmaya bağlı olarak belirlenen farklı teslim tarihleri yaklaşımı kullanılmaktadır[7].

E/G literatüründeki problemlerde rastlanan diğer önemli farklılık ise, amaç fonksiyonunda kullanılan ceza maliyet fonksiyonlarının tipini içerir. Araştırmacılar tarafından çalışılan bu maliyet fonksiyonları temel olarak dört grupta incelenebilir. Bunlar, işe bağımlı erken tamamlanma ve gecikme maliyeti, eşit olmayan ceza maliyeti, eşit ceza maliyeti ve işe bağımlı oranlanabilen ceza maliyeti olarak sınıflandırılabilir. Maliyet fonksiyonunun belirlenmesinde erken tamamlanma ve gecikme için farklı ceza maliyet fonksiyonlarının belirlenmesi yaklaşımı daha gerçekçi olacaktır. Çünkü çoğu zaman gecikme ve erken tamamlanma aynı oranda arzu edilmeyebilir[8].

II. KOBİ'NİN TANITIMI VE VERİLERİN ELDE EDİLMESİ

Uygulama yapılan KOBİ hakkındaki bazı teknik bilgiler şu şekildedir:

❖ Medikal 2000 A.Ş., 1998 yılında kurulmuş olup sağlık sektöründe hizmet vermekte olan bir firmadır. Kuruluşundan, 2006 yılı sonuna kadar "2. Organize Sanayi Bölgesi Ulukavak Sokak No: 11 Posta Kodu: 42300 Selçuklu/Konya Türkiye" adresinde hizmet vermiş olan firma, 2006 yılı sonu itibarıyla yeni binasına taşınmıştır. "Konya Organize Sanayi Bölgesi Küçükıldız Sokak No:4 Posta Kodu:42300 Selçuklu/Konya Türkiye" adresli yeni yerinde hizmetine devam eden firma; yaklaşık 1000 m² ek

bina alanı, 9000 m² kapalı alan ve 3000 m² açık alan üzerine kuruludur.

❖ Firma üretim tesisinin bitişiğinde yaklaşık 13000 m²'lik eski bir tesisi satınalmış ve üretim tesisini bu yeni arsaya birlikte genişletmeyi ve yeniden düzenleyerek depolarını ayırmayı planlamaktadır.

❖ Ürün yelpazesinde manuel ve elektromekanik hastane karyoları ve çeşitli hastane ekipmanları vardır. Medikal 2000 A.Ş. her geçen gün ürün yelpazesini genişletmek için çalışmalarında bulunmakta ve mevcut ürünlerini de daha iyi seviyelere taşımak için gerekli revizyon çalışmalarını yürütmekte ve AR-GE'ye büyük önem vermektedir.

❖ Firma ürünlerine yönelik metal aksamları kendi tesislerinde yapıyor. Aksesuarlarını yurtiçi ve yurtdışı tedarikçilerden temin etmektedir.

❖ Firma yeterli üretim teknolojisine ve işçilik kapasitesine sahip olmakla birlikte, teknolojisini daha da geliştirmek için girişimlerde bulunmaktadır.

❖ Firmada şuan Mühendis:4, Teknisyen:7, Usta:6, İşçi:71, Çıracak:2 ve İdari Personel:28 olmak üzere toplam 118 kişi çalışmaktadır.

❖ Firma motorlu karyolarını daha seri üretebilmek amacıyla yeni bir montaj hattı kurmuştur.

Medikal 2000 firması 8 adet motorlu karyola modeline sahip ve bunları montaj hattında üretmeyi planlamaktadır:

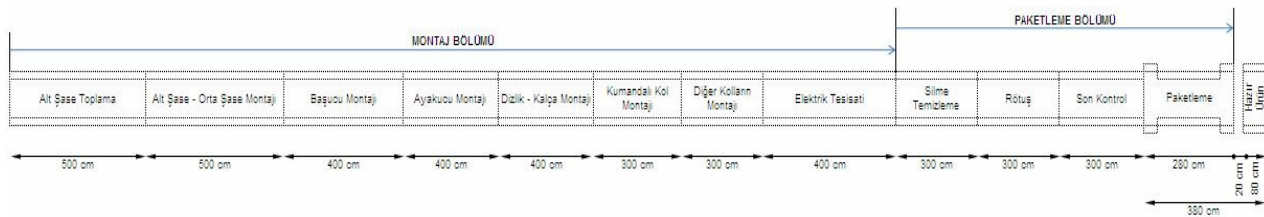
Plus A2 ... Plus A9 → i=1...8 (İşler)

Uygulama için çalışma ürün gruplarına (işlere) yönelik ilk zamanları belirlemek üzere zaman etüdü çalışması (Kasım 2008 tarihli) yapılmıştır.

Şekil 1'deki ele alınan montaj hattı incelendiğinde üretim sürecinin 12 ayrı işlem bölümünden oluştuğu görülmektedir. KOBİ'de uygulama yapılan süreç, ele alınan ve çözüm yaklaşımları geliştirilen probleme[9] benzerliği yönünden firma mühendisleri ile değerlendirilmiş ve problemin çözümünü kolaylaştırmak için ayrı ayrı ele alınan bölümler problemin çözümünde kullanılması düşünülen benzer nitelikteki bölümlerin bir arada ifade edilmesi çerçevesinde birleştirilerek 2 makineli akış tipi üretime geçiş yapılmıştır. Bu çerçevede:

Alt Şase Toplama, Alt Şase-Orta Şase Montajı, Başucu Montajı, Ayak Ucu Montajı, Dizlik-Kalça Montajı, Kumandalı Kol Montajı, Diğer Kolların Montajı ve Elektrik Tesisatı bölümleri; 1. Makine yani Montaj Bölümünü oluşturmuştur.

Silme-Temizleme, Rötüş, Son Kontrol ve Paketleme bölümleri ise; 2. Makine yani Paketleme Bölümünü oluşturmuştur.



Şekil 1: Ele Alınan Montaj Hattı (1.Makine: Montaj Bölümü, 2.Makine: Paketleme Bölümü)

Nadler ve Smith[10], özellikle makine atölyelerinde öğrenme eğrilerini ve elde edilen sonuçları analiz ederek, bir ürünün imalatında kullanılan her bir temel işlemin, kendi öğrenme etkisine sahip olduğu sonucunu çıkarmışlardır. Bu doğrultuda; zaman etüdünde ayrı ayrı ele alınan alt işlem

bölümleri işlem zamanlarına bağlı ağırlıklı ortalama mantığı çerçevesinde her iki makine için öğrenme oranı (LR) tespitine yönelik çalışmalar yapılmıştır:

Alt Şase Toplama, Alt Şase-Orta Şase Montajı, Başucu Montajı, Ayak Ucu Montajı, Dizlik-Kalça Montajı,

Kumandalı Kol montajı ve Diğer Kolların Montajı alt işlem bölümleri için yapılan çalışmalarda öğrenme oranı (LR) yaklaşık olarak %75, Elektrik Tesisatı alt işlem bölümü için ise yaklaşık olarak %90 olarak tespit edilmiştir. Montaj bölümü (1. Makine) için ağırlık faktörleri (işlem zamanları) dikkate alınarak öğrenme oranı (LR) yaklaşık olarak %80 olarak tespit edilmiştir.

Heizer ve Render[11] farklı ürünler için farklı öğrenme oranlarının olduğunu göstermişlerdir. 1920 ve 1988 yılları arasında Birleşmiş Milletlerde öğrenme oranının farklı imalat endüstrileri için %70 ile %90 arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Örneğin çelik endüstrisinde %79 iken uçak imalatında %80 olarak tespit edilmiştir. Bunun dışında öğrenme etkisinin ilk uygulayıcılarından olan Biskup[4], Mosheiov[12] ve Eren&Güner[13]'de çalışmalarında %80'i ele almışlardır. Literatürdeki bu değerlendirmeler dikkate alındığında üretim süreci içerisindeki Montaj Bölümüne yönelik yapılan tespitlerin literatürle tutarlı olduğu görülmektedir.

Paketleme Bölümü (2. Makine) için yapılan çalışmalarda öğrenme oranı (LR) yaklaşık olarak %95 olarak tespit edilmiştir. Buradaki öğrenmenin az oluşunun nedeni işlemlerin özellikle paketleme alt işleminin otomatik olarak gerçekleştirilmesi olarak düşünülmektedir.

Yapılan görüşmelerde her ürünün maliyetinin farklı olması nedeniyle erken ve geç tamamlanma maliyetlerinin (cezalarının) aynı olarak değerlendirilmesinin sağlıklı olmayacağı anlaşılmıştır. Ayrıca firma yetkilileri ile yapılan görüşmede erken tamamlama ile geç tamamlamanın da aynı maliyet (ceza) olarak değerlendirilmesinin mümkün olmadığı ve geç tamamlamanın firma için anlaşmalardan kaynaklanan yaptırımlarının yüksek olduğu, müşteri memnuniyetsizliğinin ise hiç istenilmeyen bir durum olduğu ifade edilmiştir. Bu çerçevede her bir ürün grubu için erken ve geç tamamlanma cezaları (zamanlar sn. cinsinden olduğu için br. ceza maliyeti sn. olarak firma mühendisleri ile belirlenmeye çalışılmıştır.) şu şekilde belirlenmiştir:

Tablo 1. İşlere ait işlem zamanları ve erken/geç tamamlanma cezaları

i	P ₁₁	P ₁₂	α _i	β _i
1	2642	1220	0.000011	0.0030
2	2715	1208	0.000013	0.0035
3	2949	1248	0.000015	0.0040
4	3171	1273	0.000017	0.0045
5	3268	1302	0.000019	0.0050
6	3304	1338	0.000022	0.0055
7	3011	1346	0.000025	0.0060
8	2870	1395	0.000029	0.0070

III. MODELİN KURULMASI VE UYGULANMASI

Tablo 1'de tespit edilen parametreler ışığında geliştirilen tamsayı programlama modeli[9, 14] modifiye edilerek aşağıdaki şekle dönüştürülmüştür:

Amaç Fonksiyonu:

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (\alpha_i E_j + \beta_i T_j) \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$C_{j,2} = d - E_j + T_j \quad j=1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$C_{1,2} = \sum_{i=1}^n (P_{i,1} * x_{i,j}) + \sum_{i=1}^n (P_{i,2} * x_{i,j}) + I_{1,2} \quad \text{ve} \quad C_{1,1} = \sum_{i=1}^n (P_{i,1} * x_{i,j}) + I_{1,1} \quad j=1,2,\dots,n \quad (3)$$

$$C_{j,1} = C_{j-1,1} + I_{j-1,1} + \sum_{i=1}^n (P_{i,1} * x_{i,j} * j^{a_1}) \quad j=1,2,\dots,n \quad (4)$$

$$C_{j,2} = C_{j,1} + W_{j,2} + \sum_{i=1}^n (P_{i,2} * x_{i,j} * j^{a_2}) \quad j=1,2,\dots,n \quad (5)$$

$$I_{j,1} + \sum_{i=1}^n [P_{i,1} * x_{i,j+1} * (j+1)^{a_1}] + W_{j+1,2} = W_{j,2} + \sum_{i=1}^n (P_{i,2} * x_{i,j} * j^{a_2}) + I_{j,2} \quad j=1,2,\dots,n \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i,j} = 1 \quad j=1, 2, \dots, n \quad (7)$$

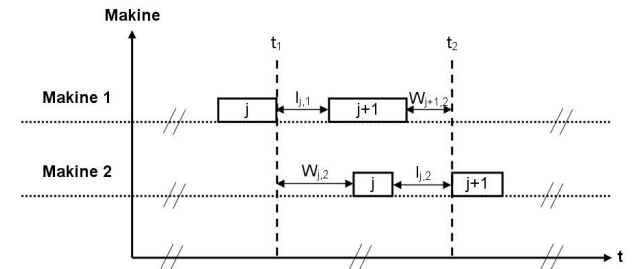
$$\sum_{j=1}^n x_{i,j} = 1 \quad i=1, 2, \dots, n \quad (8)$$

$$I_{j,k} \geq 0 \quad j=1, 2, \dots, n; k=1, 2$$

$$W_{j,2} \geq 0 \quad j=1, 2, \dots, n$$

$$E_j, T_j \geq 0 \quad j=1, 2, \dots, n$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, n$$



Şekil 2. Kısıt 6'nın grafik gösterimi[9, 14]

Amaç fonksiyonu (1) genel teslim tarihinden ağırlıklı sapma cezalarının minimizasyonunu ifade etmektedir. Kısıtlardan ilki (2) işlerin erken ve geç tamamlanma değerlerini hesaplar. İkinci kısıt fonksiyonu (3) ilk sırada çizelgelenen işin ikinci makinede tamamlanma zamanının, 1 ve 2 makinelerindeki işlem sürelerine bağlı olduğunu ifade etmektedir (Öğrenme etkisi ikinci sırada çizelgelenen işlemlerle beraber görüleceğinden) ve özellikle problemlerin kısıtlandırılmış versiyonlarında ihtiyaç duyulmaktadır. (4)'teki kısıt işlerin birinci makinede tamamlanma zamanlarını hesaplar. (5)'teki kısıt işlerin ikinci makinede tamamlanma zamanlarını hesaplar. (6) kısıtı değişkenlere yönelik problemin fiziksel kısıtlarını ifade etmektedir. Bu fiziksel kısıtı daha iyi anlamak için Şekil 2 incelenebilir. Bu şekil t₁ (j. işin makine 1'deki tamamlanma zamanı) ve t₂ (j+1 pozisyonundaki işin makine 2'de başlama zamanı) arasındaki ayak, bekleme ve işlem süreleri arasındaki ilişkiyi gösteren gantt şemasıdır. (7) ve (8) kısıtları her bir pozisyona sadece bir işin atanmasını sağlar. Diğer kısıtlar değişkenler için pozitif değer almayı ve x_{ij} için 0,1 değerlerinden birini almayı sağlarlar[9, 14].

Ele alınan problem tamsayı programlama modeli sıralaması, Tablo 2'de açıklamaları verilen alternatif olabilecek nitelikteki sıralama kuralları kullanılarak elde edilen sıralamalar ve rassal bir sıralama ile literatüre uygun olarak[7, 9, 14-17] h=0.8, h=0.6, h=0.4 ve h=0.2 ortak teslim tarihi belirleme katsayıları kullanılarak Tablo 3'teki çözümler elde edilmiştir. Problemi tamsayı programlama modeli ile çözmek için Extended LINGO Release 8.0 kullanılmıştır. Ayrıca alternatif sıralama cezalarının tespiti için Visual Basic 6.0 kullanılmıştır.

Tablo 2. Alternatif yöntemler ve açıklamaları

KURAL	AÇIKLAMASI
SPT _T	Toplam işlem zamanları esaslı işlerin küçükten büyüğe doğru sıralanması
SPT ₁	Birinci makine işlem zamanları esaslı işlerin küçükten büyüğe doğru sıralanması
SPT ₂	İkinci makine işlem zamanları esaslı işlerin küçükten büyüğe doğru sıralanması
LPT _T	Toplam işlem zamanları esaslı işlerin büyükten küçüğe doğru sıralanması
LPT ₁	Birinci makine işlem zamanları esaslı işlerin büyükten küçüğe doğru sıralanması
LPT ₂	İkinci makine işlem zamanları esaslı işlerin büyükten küçüğe doğru sıralanması
Johnson Kuralı	İki makinede maksimum akış zamanını minimize eden kural

Tablo 3. Uygulanan yöntemlere ait sonuçlar

Yöntem	h	Sıralama	Ceza
Tamsayı Programlama	0.8	2-8-7-5-6-4-3-1	19.64457
SPT _T		1-2-3-8-7-4-5-6	25.26027
LPT _T		6-5-4-7-8-3-2-1	22.34712
SPT ₁		1-2-8-3-7-4-5-6	25.23495
LPT ₁		6-5-4-7-3-8-2-1	25.74980
SPT ₂		2-1-3-4-5-6-7-8	35.41079
Johnson Kuralı-LPT ₂		8-7-6-5-4-3-1-2	20.91795
Rassal		1-2-3-4-5-6-7-8	35.13091
Tamsayı Programlama		0.6	2-8-7-6-5-4-3-1
SPT _T	1-2-3-8-7-4-5-6		83.63597
LPT _T	6-5-4-7-8-3-2-1		83.28915
SPT ₁	1-2-8-3-7-4-5-6		83.55794
LPT ₁	6-5-4-7-3-8-2-1		88.41615
SPT ₂	2-1-3-4-5-6-7-8		107.33142
Johnson Kuralı-LPT ₂	8-7-6-5-4-3-1-2		70.43422
Rassal	3-1-7-4-2-6-8-5		95.46433
Tamsayı Programlama	0.4		8-7-6-5-4-3-2-1
SPT _T		1-2-3-8-7-4-5-6	182.08546
LPT _T		6-5-4-7-8-3-2-1	176.26112
SPT ₁		1-2-8-3-7-4-5-6	176.15746
LPT ₁		6-5-4-7-3-8-2-1	181.38812
SPT ₂		2-1-3-4-5-6-7-8	207.02958
Johnson Kuralı-LPT ₂		8-7-6-5-4-3-1-2	149.62740
Rassal		4-7-8-5-2-1-6-3	164.52494
Tamsayı Programlama		0.2	8-7-6-5-4-3-2-1
SPT _T	1-2-3-8-7-4-5-6		301.85700
LPT _T	6-5-4-7-8-3-2-1		295.95850
SPT ₁	1-2-8-3-7-4-5-6		295.92900
LPT ₁	6-5-4-7-3-8-2-1		301.08550
SPT ₂	2-1-3-4-5-6-7-8		326.02100
Johnson Kuralı-LPT ₂	8-7-6-5-4-3-1-2		261.56700
Rassal	7-5-2-3-4-6-8-1		298.42500

IV. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu problemde Johnson Kuralına göre sıralama ile LPT₂ Kuralına göre sıralama 2. makine sürelerinin 1. makine sürelerinden düşük olması nedeniyle aynı olmuştur.

Tablo 3'ü incelersek; en düşük ceza sonucunu bütün h değerleri için optimal sonucu vermesi beklenen Tamsayı Programlama modeli vermiştir. Johnson Kuralı ve LPT₂ sıralaması Tamsayı Programlamaya yakın sonuçlar vermiştir.

h=0.2 ve h=0.4 için tamsayı programlamanın bulduğu sıralamada "geç teslim cezası maksimum olandan minimum olana doğru sırala" gibi bir mantık ortaya çıksa da bu mantığın genelde kullanılabilirliği ile ilgili yapılan

örneklemelerde; bu mantığın sadece toplam işlem zamanları birbirine yakın ve h=0.2 ve h=0.4 için belirlenen teslim tarihlerinin olduğu durumlarda geçerli olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak geliştirilen Tamsayı Programlama Modeli kullanılarak elde edilecek sıralamaya göre işler montaj hattına alınırsa kaynaklar en iyi şekilde kullanılmış olacaktır.

V. KAYNAKLAR

1-Yağmahan B. ve Yenisey M.M., Akış tipi çizelgeleme problemi için KKE parametre eniyileme, *İTÜ Dergisi*, 5 (2), 133-141, 2006.

- 2-**Biskup D., A State-Of-The-Art Review on Scheduling with Learning Effects, *European Journal Of Operational Research*, 188, 315-329, 2008.
- 3-**Yelle L.E., The Learning Curve: Historical Review and Comprehensive Survey, *Decision Science*, 10, 302-328, 1979.
- 4-**Biskup D., Single-Machine Scheduling with Learning Considerations, *European Journal Of Operational Research*, 115, 173-178, 1999.
- 5-**Eren T. ve Güner E., Öğrenme Etkili Akış Tipi Çizelgelemede Ortalama Akış Zamanının En Küçüklenmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 19, 119-124, 2004.
- 6-**Baker K.R., Elements of sequencing and scheduling, Dartmouth College, Hanover, 1997.
- 7-**Toksarı M.D. and Güner E. Parallel machine earliness/tardiness scheduling problem under the effects of position based learning and linear/nonlinear deterioration, *Computers&Operations Research*, 36 (8), 2394-2417, 2008.
- 8-**Lauff V. and Werner F., Scheduling with Common Due Date, Earliness and Tardiness Penalties for Multimachine Problems: A Survey, *Mathematical and Computer Modelling*, 40 (5-6), 637-655, 2004.
- 9-**İşler M.C., Çelik V. ve Toklu B., İki Makine Akış Tipi Çizelgelemede Ortak Teslim Tarihinden Mutlak Sapmaların En Küçüklenmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Kabul Edilmiş Makale, 2009.
- 10-**Nadler G. and Smith W.D., Manufacturing progress functions for types of processes, *International Journal of Production Research*, 2, 115-135, 1963.
- 11-**Heizer J. and Render B., Operations Management, 6th edition, Prentice-Hall, 2001.
- 12-**Mosheiov G, Scheduling problems with a learning effect. *European Journal Of Operational Research*, 132, 687-693, 2001.
- 13-**Eren T and Guner E., Minimizing total tardiness in a scheduling problem with a learning effect, *Applied Mathematical Model*, 31(7), 1351-1361, 2007.
- 14-**Sakuraba C.S., Ronconi D.P. and Sourd F., Scheduling in a two-machine flowshop for the minimization of the mean absolute deviation from a common due date, *Computers&Operations Research*, 36 (1), 60-72, 2009.
- 15-**Hino C.M., Ronconi D.P. and Mendes A.B., Minimizing earliness and tardiness penalties in a single-machine problem with a common due date, *European Journal Of Operational Research*, 160, 190-201, 2005.
- 16-**Feldmann M. and Biskup D., Single-machine scheduling for minimizing earliness and tardiness penalties by meta-heuristic approaches, *Computers&Industrial Engineering*, 44, 307-323, 2003.
- 17-**Lin S.W., Chou S.Y. and Ying K.C., A sequential exchange approach for minimizing earliness-tardiness penalties of single-machine scheduling with a common due date, *European Journal Of Operational Research*, 177, 1294-1301, 2007.