

ÖĞRENME ETKİLİ AKIŞ TİPİ ÇİZELGELEMEDE ORTALAMA AKIŞ ZAMANININ ENKÜÇÜKLENMESİ

Tamer EREN ve Ertan GÜNER*

Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, 71450 Kırıkkale,
teren@gazi.edu.tr

*Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gazi Üniversitesi, 06570 Maltepe, Ankara,
erguner@gazi.edu.tr

ÖZET

Öğrenme etkisinin dikkate alındığı çalışmalar yöneylem araştırmasının pek çok farklı alanında yaygın olarak incelenmiştir. Ancak üretim çizelgelemede bu konuda yapılmış çalışma sayısı oldukça azdır. Yapılmış çalışmalar da tek ve paralel makinalarla sınırlı olup, çok makinalı akış tipi durum için yapılmış bir çalışma bulunmamaktadır. Biz bu çalışmada iki makinalı akış tipi çizelgelemede öğrenme etkisini analiz ederken performans ölçütü olarak da akış zamanını dikkate aldık. Problemin çözümü için $n^2 + 3n$ değişken ve $4n$ kısıta sahip bir tamsayılı programlama modeli önerdik. Önerilen model ile iş sayısı 54'e kadar olan problemin çözümlerini gerçekleştirdik.

Anahtar Kelimeler: Çizelgeleme, akış zamanı, akış tipi, öğrenme etkisi, tamsayılı programlama.

MINIMIZING MEAN FLOW TIME IN A FLOWSHOP SCHEDULING WITH LEARNING EFFECT

ABSTRACT

The phenomenon of the learning effect has been extensively studied in many different areas of operational research. However, there have been very few studies in the general context of production scheduling. These studies were about on one and parallel machines but there has never been investigated in multi-machine flowshop scheduling settings. We focus in this paper on flowtime minimization with learning effect on a two-machine flowshop case. To solve this problem, we formulate an integer programming model with $n^2 + 3n$ variables and $4n$ constraints where n is the number of jobs. We show that the integer programming model is effective in solving problems with up to 54 jobs.

Keywords: Scheduling, flowtime, flowshop, learning effect, integer programming.

1. GİRİŞ

Pek çok üretim tesisinde, üretim birimi (işçi veya makina) tarafından aynı veya benzer faaliyetlerin sürekli tekrarlanması sonucu üretim işleminde gelişme kaydedilir. Böylece bir ürün sıralamada ne kadar geç çizelgelenirse üretim zamanı o kadar kısalmır. Bu olgu literatürde öğrenme etkisi olarak bilinmekte olup yöneylem araştırmasının pek çok alanında bu konuda yapılmış çok çalışma vardır [1-2]. Ancak çizelgelemenin genel içeriğinde öğrenme etkisi üzerinde yapılan çalışmalar son birkaç yıla dayanır [3-8]. Öğrenme etkisi, öğrenme eğrisi ile tanımlanabilir. Öğrenme eğrisi, aynı işin tekrarlanmasının bir

fonksiyonu olarak performansının gelişim grafiğidir. Öğrenme eğrisi ilk kez Wright [9] tarafından tanımlanmıştır. Wright [9] uçakların üretiminde üretilen uçak sayısı artarken direk işçilik maliyetlerinde nasıl bir azalma olduğunu tespit etmiştir. Bu gözlem ve gelişme oranı, bir çok uçak imalatçısı tarafından tutarlı ve doğru kabul edilmiştir. Heizer ve Render [10], işgücü tahmininde, maliyet ve bütçe hesaplarında, dışarıdan satın almalarda, şirket performansının stratejik gelişiminin tespiti vb. bir çok uygulamalarda öğrenme eğrilerinin yararlı olduğunu ifade etmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca, farklı organizasyonlarda farklı ürünlerin, farklı öğrenme eğrilerine sahip olduklarını ve yönetim kalitesine ile

ürün prosesinin potansiyeline bağlı olarak öğrenme oranlarının değiştiğini göstermişlerdir. Heizer ve Render [10], 1920 ve 1955 yılları arasında çelik endüstrisini örnek göstererek bu endüstride kümülatif üretimin bir önceki üretime göre iki kat arttığında birim ürün işçilik saatlerinde %79'luk bir azalma olduğunu göstermişlerdir.

Öğrenme etkisi çizelgelemede ilk kez Biskup [3] tarafından incelenmiştir. Biskup, bir kalemin üretiminin tekrar sayısının bir fonksiyonu olarak üretim zamanındaki azalma yansımalarını öğrenme prosesi olarak kabul etmiştir. Biskup [3], tek makinalı problemler üzerinde çalışmış ve akış zamanlarının enküçüklenmesini ve ortak teslim tarihinden tamamlanma zamanlarının sapmalarının ağırlıklı toplamının enküçüklenmesini amaç fonksiyonları olarak ele almıştır. Her iki problem için polinom zamanlı çözümler sunmuştur. Cheng ve Wang [4], öğrenme etkili tek makinalı çizelgelemede maksimum gecikme (L_{max}) ölçütünün enküçüklenmesi problemini göz önüne almışlardır. Araştırmacılar öğrenme etkisini modellemek için üretim hacmine bağlı parçalı doğrusal işlem zamanı fonksiyonu kullanmışlardır. Bu problemin NP-zor problem olduğunu göstererek problemin polinom zamanda çözülebilir iki durumunu göstermişlerdir. Ayrıca problem için iki sezgisel yaklaşım önererek en kötü durum performansını da analiz etmişlerdir. Moshiev [5], klasik amaç fonksiyonlu bir çok problemler üzerinde (örneğin tek makinada maksimum tamamlanma zamanının enküçüklenmesi) çalışmış ve bu problemlerin bazıları için polinom zamanlı çözümler elde ederken klasik bazı çözümlerin öğrenme etkili durumda bazı problemler için iyi çözümleri garanti etmediğini göstermişlerdir. Mosheiov [6]'ın yaptığı diğer bir çalışmada ise paralel özdeş makinalarda akış zamanının enküçüklenmesi problemidir. Öğrenme etkili bu problemin çözümü polinom zamanda gerçekleştirilmiş olsa da gereken hesaplama zamanı problemin klasik yapısını çözmek için gereken çabadan çok daha fazla olduğu gösterilmiştir. Paralel iki makinalı durum için çözümün $O(n^4)$ zamanda sağladığı (n iş sayısını göstermek üzere) ve makina sayısı arttıkça hesaplama çabasının daha da artacağı belirtilmiştir. Eren ve Güner [7] ise tek makinalı sistemlerde işlerin geliş zamanları sıfırdan farklı olduğunda toplam akış zamanını enküçüklemek için bir matematiksel programlama yaklaşımı önermişlerdir. Bu çalışmada öğrenme etkisinin işe-bağımlı olduğu durum dikkate alınmıştır. Mosheiov ve Sidney [8] tarafından yapılan çalışmada ise tek makinada maksimum tamamlanma zamanı ve toplam akış zamanının enküçüklenmesi problemleri ve teslim tarihi atama problemi incelenmiştir. Çalışmada ayrıca paralel makinalı durum için toplam akış zamanının enküçüklenildiği problemler üzerinde durulmuştur. İncelenen tüm bu problemlerde öğrenme eğrisinin işe-bağımlı olduğu durumlar için geçerlidir.

Öğrenme etkisine göre j işi i . makinanın r . pozisyonunda çizelgeniyor ise bu işin işlem zamanı p_{jir} olarak kabul edilir. Bu taktirde;

$$p_{jir} = p_{ji}r^a$$

olarak ifade edilir. Burada p_{ji} : j işi i makinasında birinci pozisyonda yer aldığı zamanı, $a \leq 0$ olan öğrenme indeksi sabitidir ve öğrenme oranının iki tabanına göre logaritması olarak verilir. Sıralamaya göre farklı işlerin makinalardaki işlem zamanları matrisi Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. İki makinalı akış tipi çizelgelemede makinalardaki işler için işlem zamanları matrisi

$p_{jir} = p_{ji}r^a$	$r = 1$	$r = 2$	$r = 3$...	$r = n$
$p_{1ir} = p_{1i}r^a$	p_{1i}	$p_{1i}2^a$	$p_{1i}3^a$...	$p_{1i}n^a$
$p_{2ir} = p_{2i}r^a$	p_{2i}	$p_{2i}2^a$	$p_{2i}3^a$...	$p_{2i}n^a$
...
$p_{nir} = p_{ni}r^a$	p_{ni}	$p_{ni}2^a$	$p_{ni}3^a$...	$p_{ni}n^a$

Birinci makinada ilk sıraya atanan iş işlenmekte daha sonra ikinci sıradaki iş öğrenme indeksi dikkate alınarak işlenmektedir. Aynı durum ikinci makinada da tekrarlanmaktadır. Herhangi r . pozisyonda, i . makinada yer alan j işinin öğrenme etkisi, bu işin işlem zamanına, öğrenme indeksine ve bu j işinden önce işlem gören işlerin sayısına bağlı olduğuna dikkat etmek gerekir [4].

Akış tipi çizelgelemede ortalama akış zamanının (\bar{F}) enküçüklenmesi problemi önemlidir. Çünkü bu ölçütün enküçüklenmesi ile sipariş çevrim hızı artar ve yeni siparişlerin daha erken alınması mümkün olur. Ayrıca yarı ürün stokların azaltılmasını olanak sağlar.

İki makinalı akış tipi çizelgelemede, öğrenme etkisi olmadığı durumda ortalama akış zamanının enküçüklenmesi problemi NP-zor bir problemdir [11-12]. Öğrenme etkisi olması bu problemin zorluğunu daha da artıracaktır.

Bu çalışmada, iki makinalı akış tipi çizelgeleme için öğrenme etkisi dikkate alınmıştır. Göz önüne alınan performans ölçütü ise, literatürde sıkça kullanılan ortalama akış zamanı (\bar{F}) ölçütüdür. Çalışmanın ikinci bölümünde, önerilen tamsayı programlama modelinin varsayımları, notasyonları ve formülasyonu verilerek örnek bir problem üzerinde açıklanacaktır. Üçüncü bölümde, örnek problem seti üzerinde önerilen modelin deneysel sonuçları verilecektir. Son bölümde ise yapılan çalışmanın sonuçları değerlendirilecektir.

2. PROBLEMİN FORMÜLASYONU, NOTASYONLAR VE VARSAYIMLAR

Atölyeye gelen n iş sıfırinci zamanda işlem için

hazırdır. Bu işler önce birinci makinada (M_1) sonra ikinci makinada (M_2) işlem görecektir. p_{ji} ; j işinin i makinasındaki işlem zamanını göstermektedir ($j=1,2,\dots,n$; $i=1,2$). Yani bu iş çizelgede birinci sırada çizelgelenirse j işinin işlem zamanıdır (hangi makinada olursa olsun). Daha önce de açıklandığı gibi bir işin işlem zamanı sıradaki pozisyonun bir fonksiyonu olarak azalır. Biskup ve Mosheiov'in çalışmalarında verildiği gibi j işinin i makinasındaki gerçekleşen işlem zamanı eğer r . pozisyonda çizelgelenmiş ise $p_{jir} = p_{ji}r^a$ olarak verilir ($j,r=1,2,\dots,n$; $i=1,2$). Burada $a \leq 0$ olan sabit bir öğrenme indeksidir. İncelenen amaç, ortalama akış zamanının enküçüklenmesidir. ÖE, öğrenme etkisini göstermekte olup bu çalışmada dikkate alınan problem; n işli iki makinalı akış tipi çizelgelemede öğrenme etkili ortalama akış zamanının enküçüklenmesi problemidir. Bu problem; $n/2/\bar{OE}/\bar{F}$ olarak ifade edilebilir (burada n iş sayısını, 2 makina sayısını, \bar{OE} öğrenme etkisi olduğunu ve \bar{F} da amaç fonksiyonunu göstermektedir (bu gösterim çizelgeleme literatüründeki gösterimle uyumludur).

Çalışmada kullanılan diğer varsayımlar şöyledir: Makina hazırlık zamanları önceden bilinmekte olup işlem zamanına dahil edilmiştir. İş kesintisine izin verilmeyip başlanan iş makinada tamamlanmadan başka bir iş başlayamaz. Makinaların çizelgeleme periyodu süresince sürekli çalıştığı varsayılmaktadır. Ayrıca bir makinada aynı anda tek iş yapılabilmektedir. Önerilen model $n^2 + 3n$ değişkene ve $4n$ kısıta sahiptir. Modelde kullanılan parametreler ve değişkenler aşağıda verilmektedir.

Parametreler:

i	makina sayısı	$i=1, 2$
j	iş sayısı	$j=1, 2,\dots, n$
r^a	r . pozisyona bağlı öğrenme indeksi,	$r=1, 2,\dots, n$
p_{jir}	i . makinada j işinin r . pozisyonda işlem zamanı,	$j=1, 2,\dots, n$ $i=1,2$

Karar değişkenleri:

Z_{jr}	$\begin{cases} 1 & j, r \text{ pozisyonda ise} \\ 0 & \text{dd} \end{cases}$	$j=1,2,\dots,n; r=1,2,\dots,n$
X_r	ikinci makinada ($r-1$). pozisyondaki işin tamamlanması ile r . pozisyondaki işin başlaması arasında geçen boş zaman,	$r=1,2,\dots,n$
Y_r	r . pozisyondaki işin birinci makinada tamamlanması ve ikinci makinada işlemin başlaması arasında geçen zaman dilimi,	$r=1,2,\dots,n$
S_r	r . pozisyondaki işin birinci makinadaki başlama zamanı,	$r=1,2,\dots,n$

Yardımcı değişkenler

A_r	Birinci makinada r . pozisyondaki işin (öğrenme etkili) işlem zamanı	
	$A_r = r^a \sum_{j=1}^n Z_{jr} p_{j1}$	$r=1, 2,\dots, n$
B_r	İkinci makinada r . pozisyondaki işin (öğrenme etkili) işlem zamanı	
	$B_r = r^a \sum_{j=1}^n Z_{jr} p_{j2}$	$r=1, 2,\dots, n$
F_r	İkinci makinada r . pozisyondaki işin tamamlanma zamanı	
	$F_r = \sum_{j=1}^r X_j + \sum_{j=1}^r B_j$	$r=1, 2,\dots, n$
	veya	
	$F_1 = X_1 + B_1$	
	ve	
	$F_r = F_{r-1} + X_r + B_r$	$r=2, 3,\dots, n$
\bar{F}	Ortalama akış zamanı	
	$\bar{F} = \frac{1}{n} \sum_{r=1}^n F_r$	

2.1. Tamsayılı Programlama Modeli

İki makinalı akış tipi çizelgeleme probleminin öğrenme etkisini dikkate alan, ve ortalama akış zamanını enküçükleyen model aşağıda verilmiştir. Chou ve Lee [13]'nin modeli öğrenme etkisine uyarlanmıştır. Chou ve Lee [13]'nin modeli klasik iki ölçütlü iki makinalı akış tipi çizelgeleme problemi için verilmiştir. Yaptıkları çalışmada kullanılan ölçütler toplam akış zamanını ve maksimum tamamlanma zamanının enküçüklenmesidir. Bu modelde ise amaç fonksiyonu olarak ortalama akış zamanı alınırken işlem zamanlarında öğrenme etkili olarak dikkate alınmış ve yardımcı değişkenler (A_r ve B_r) yeniden belirlenmiştir.

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Min } \bar{F} \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n Z_{jr} = 1 \quad r=1, 2,\dots, n. \quad (2)$$

$$\sum_{r=1}^n Z_{jr} = 1 \quad i=1, 2,\dots, n. \quad (3)$$

$$S_r \geq S_{r-1} + A_{r-1} \quad r=2, 3,\dots, n. \quad (4)$$

$$X_1 = S_1 + A_1 + Y_1; \quad r=2, 3,\dots, n. \quad (5)$$

$$X_r = S_r + A_r + Y_r - F_{r-1}$$

Kısıt (2); r . iş önceliğinde sadece bir tek iş çizelgelenmesini kısıt (3); her bir iş sadece bir kez çizelgelenmesini ifade etmektedir. Kısıt (4); birinci makinedeki r . pozisyondaki işin işleme başlama zamanı önceki işlerin bitiş zamanından büyük veya

eşit olma durumunu göstermektedir. Kısıt (5); $(r-1)$. işin ikinci makina tamamlanması ile r . işin ikinci makinada başlaması arasındaki boş zamanı göstermektedir (Şekil 1).

Örnek uygulama

Önerilen matematiksel model 4 işli 2 makinalı akış tipi bir problem için denenmiştir. Veriler Tablo 2’de gösterilmiştir. Amaç fonksiyonu ortalama akış zamanını, öğrenme eğrisi % 80 ($a = -0.322$) için enküçükleyecek eniyi değeri ve sıralamayı bulmaktır.

Tablo 2. Problem verileri

i	p_{i1}	p_{i2}
1	11	13
2	9	10
3	10	12
4	13	9

İşlem zamanlarının 1. ve 2. makinada pozisyonlara göre atamaları Tablo 3 ve Tablo 4’de verilmiştir.

Problem önerilen model kullanılarak öğrenme etkisi dikkate alındığında ortalama akış zamanı $\bar{F} = 30.99$

ve sıralama 2-4-3-1 dir. Problem öğrenme etkisiz durumda çözüldüğünde ise $\bar{F} = 36.50$ ve sıralama 2-3-4-1 olarak bulunmuştur.

3. DENEYSEL SONUÇLAR

Problemleri çözmek için Hyper LINDO / PC 6.01 kullanılmıştır [14]. Bütün deneysel testler Pentium 4, 2 Ghz 512 RAM kapasiteli kişisel bilgisayarda yapılmıştır. İşlem zamanları Chou ve Lee [13]’deki gibi 1 ile 10 arasında düzgün dağılımdan üretilmiştir. Öğrenme eğrisi % 80 ($a = -0.322$) olarak alınmıştır. İzin verilen iterasyon sayısı 1000000’dur. Her bir iş grubu için 10 test problemi olmak üzere toplam $10 \times 18 = 180$ problem çözülmüştür. Örnek problemlerin iş sayısına göre ortalama çözüm zamanları Tablo 5’de verilmiştir.

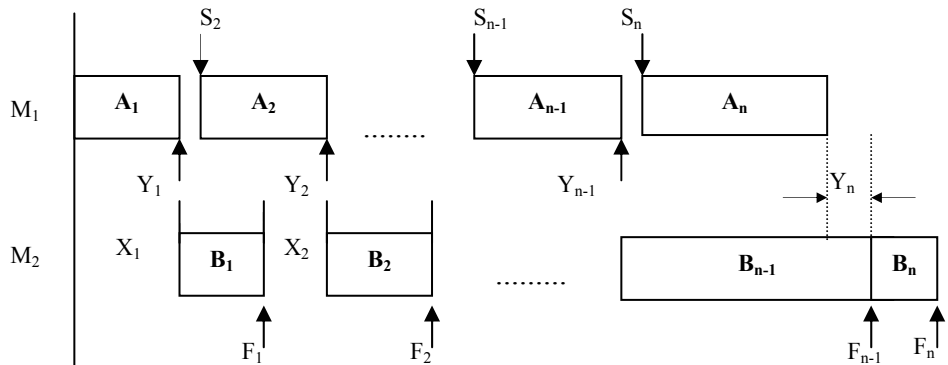
Tablo 5’de görüldüğü gibi iş sayısı arttıkça çözüm zamanı da artmaktadır. İş sayısı 21’e kadar bütün problemler çözülmüştür. 24 ile 36 arasında 9, 39 ile 45 arasında 8, 48 de 7, 51 iş için 6 ve 54 iş de ise 5 problem çözülmüştür. Modelin çözümünde ortalama CPU zamanlarına göre iş sayısı grafik olarak Şekil 2’de gösterilmiştir.

Tablo 3. Örnek problemdeki 1. makina için işlem zamanları matrisi

$p_{j1r} = p_{j1}r^a$	$r = 1$	$r = 2$	$r = 3$	$r = 4$
p_{11r}	$p_{11} = 11$	$p_{11}2^{-0.322} = 8.8$	$p_{11}3^{-0.322} = 7.72$	$p_{11}4^{-0.322} = 7.04$
p_{21r}	$p_{21} = 9$	$p_{21}2^{-0.322} = 7.2$	$p_{21}3^{-0.322} = 6.32$	$p_{21}4^{-0.322} = 5.76$
p_{31r}	$p_{31} = 10$	$p_{31}2^{-0.322} = 8.0$	$p_{31}3^{-0.322} = 7.02$	$p_{31}4^{-0.322} = 6.40$
p_{41r}	$p_{41} = 13$	$p_{41}2^{-0.322} = 10.4$	$p_{41}3^{-0.322} = 9.13$	$p_{41}4^{-0.322} = 8.32$

Tablo 4. Örnek problemdeki 2. makina için işlem zamanları matrisi

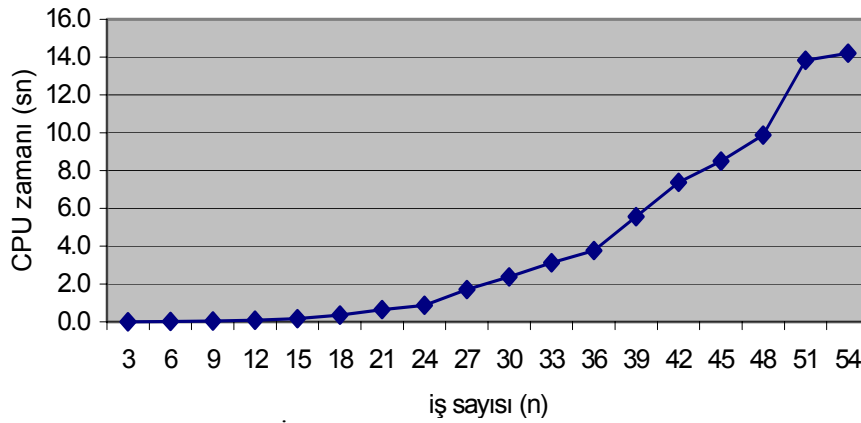
$p_{j2r} = p_{j2}r^a$	$r = 1$	$r = 2$	$r = 3$	$r = 4$
p_{12r}	$p_{12} = 13$	$p_{12}2^{-0.322} = 10.4$	$p_{12}3^{-0.322} = 9.13$	$p_{12}4^{-0.322} = 8.32$
p_{22r}	$p_{22} = 10$	$p_{22}2^{-0.322} = 8.0$	$p_{22}3^{-0.322} = 7.02$	$p_{22}4^{-0.322} = 6.40$
p_{32r}	$p_{32} = 12$	$p_{32}2^{-0.322} = 9.6$	$p_{32}3^{-0.322} = 8.42$	$p_{32}4^{-0.322} = 7.68$
p_{42r}	$p_{42} = 9$	$p_{42}2^{-0.322} = 7.2$	$p_{42}3^{-0.322} = 6.32$	$p_{42}4^{-0.322} = 5.76$



Şekil 1. (5) nolu kısıtın Gantt şeması

Tablo 5. Örnek problemlerin ortalama çözüm zamanları

n	Çözülen Problem sayısı	Ortalama CPU zamanı (sn)	n	Çözülen Problem sayısı	Ortalama CPU zamanı (sn)
3	10	0.002	30	9	2.375
6	10	0.011	33	9	3.125
9	10	0.049	36	9	3.778
12	10	0.081	39	8	5.571
15	10	0.164	42	8	7.375
18	10	0.348	45	8	8.500
21	10	0.640	48	7	9.875
24	9	0.874	51	6	13.833
27	9	1.712	54	5	14.200

**Şekil 2.** İş sayısına göre CPU zamanları grafiği

4. SONUÇ

Bu çalışmada öğrenme etkili iki makinalı akış tipi çizelgelemede ortalama akış zamanının enküçüklenmesi problemi dikkate alınmıştır. Bu problem daha önce literatürde incelenmemiştir. İncelenen problem NP-zor problem olup, eniyi çözümünü bulmak için tamsayı programlama modeli geliştirilmiştir. Model çözümleri Hyper LINDO / PC 6.01 kullanılarak iş sayısı 3 den başlamak üzere üçer üçer artarak 54 işe kadar çözülmüştür. 54 işli problemde ortalama 14.2 saniyede çözülmüştür.

Modelin iş sayısı 54'e kadar olan problemlerin çözümünde etkin olduğu görülmüştür. Bu model, daha büyük boyutlu problemlerin çözümünde kullanılabilir sezgisel yaklaşımların performanslarının test edilmesinde yararlı olacağı düşünülmektedir.

Akış tipi çizelgeleme problemlerinde öğrenme etkisi ortalama akış zamanı dışındaki diğer performans ölçütleri içinde dikkate alınabilir. Ayrıca ikiden fazla makinanın bulunduğu akış tipi ortamlar içinde bu çalışmanın bir başlangıç noktası sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Nadler, G., and Smith, W. D., "Manufacturing Progress Functions for Types of Processes",

International Journal of Production Research, Volume 2, pp. 115-135, 1963.

2. Yelle, L. E., "The Learning Curve: Historical Review and Comprehensive Survey", **Decision Science**, Volume 10, pp. 302-328, 1979.
3. Biskup, D., "Single-Machine Scheduling with Learning Considerations", **European Journal of Operational Research**, Volume 115, pp. 173-178, 1999.
4. Cheng, T. C. E., and Wang, G., "Single Machine Scheduling with Learning Effect Considerations", **Annals of Operations Research**, Volume 98, pp. 273-290, 2000
5. Mosheiov, G., "Scheduling Problems with Learning Effect", **European Journal of Operational Research**, Volume 132, pp. 687-693, 2001a.
6. Mosheiov, G., "Parallel Machine Scheduling with Learning Effect", **Journal of The Operational Research Society**, Volume 52, pp. 1165-1169, 2001
7. Eren, T., ve Güner, E., "İşe-Bağımlı Öğrenme Etkili Çizelgeleme Problemlerinin Çözümü için Bir Matematiksel Model", **Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Teknoloji Dergisi**, Yıl 5, Sayı: 3-4, s. 121-127, 2002.
8. Mosheiov, G., and Sidney, J. B., "Scheduling with General Job-Dependent Learning Curves", **European Journal of Operational Research**, Volume 147, pp. 665-670, 2003.

9. Wright, T. P., "Factors Affecting The Cost of Airplanes", **Journal of The Aeronautical Sciences**, Volume 3, pp. 122-128, 1936.
10. Heizer, J., and Render, B., **Operations Management**, (6. ed.), Prentice Hall, New Jersey, ABD, 2001.
11. Garey, M. R., Johnson, D. S., and Sethi, R., "The Complexity of Flowshop and Jobshop Scheduling", **Mathematics of Operations Research**, Volume 1, No: 2, pp. 117-129, 1976.
12. Chen, C.-L., and Bulfin, R. L., "Complexity of Single Machine Multi-criteria Scheduling Problems", **European Journal of Operational Research**, Volume 70, pp. 115-125, 1993.
13. Chou F.-D., and Lee, C.-E., "Two-machine Flowshop Scheduling with Bicriteria Problem", **Computers & Industrial Engineering**, Volume 36, pp. 549- 564, 1999.
14. Lindo Systems, Inc, **Hyper LINDO/PC Release 6.01**, Chicago, USA, 1997.