http://dergipark.ulakbim.gov.tr/traengsci
Trakya University Journal of Engineering Sciences, 14(2): 99-104, 2013
ISSN 2147–0308

Araştırma Makalesi / Research Article

İKİ ÖLÇÜTLÜ ÜSSEL İŞLEM ZAMAN TABAN TOPLAMLI ÖĞRENME ETKİLİ TEK MAKİNELİ ÇİZELGELEME PROBLEMİ

Tamer EREN

Kırıkkale Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara yolu 71451, Kırıkkale
teren@kku.edu.tr

Özet: Çizelgeleme literatürünün çoğunda işlerin işlem zamanları sabit kabul edilmiştir. Ancak işlerin işlem zamanlarında, başlama zamanı veya pozisyonuna bağlı olarak azalma görülebilmektedir. Bu olgu literatürde öğrenme etkisi olarak bilinmektedir. Bu çalışmada üssel işlem zaman taban toplamlı öğrenme etkili tek makineli çizelgeleme problemi ele alınacaktır. Ele alınan problemlerin amaç fonksiyonu geciken iş sayısı kısıtı altında maksimum gecikmeyi minimize etmektir. Problemi çözmek için doğrusal-olmayan programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model örnek üzerinde uygulanmıştır.

Anahtar kelimeler: *Tek makineli çizelgeleme, iki ölçüt, üssel işlem zaman taban toplamlı öğrenme etkisi, geciken iş sayısı, maksimum gecikme*

A Bicriteria Single Machine Scheduling with Exponential Sum-of-Logarithm-Processing-Times Based Learning Effect

Abstract: In traditional scheduling problems, most literature assumes that the processing time of a job is fixed. However, there are many situations where the processing time of a job depends on the starting time or the position of the job in a sequence. In such situations, the actual processing time of a job may be more or less than its normal processing time if it is scheduled later. This phenomenon is known as the ‘‘learning effect’’. In this study, we introduce a exponential sum-of-logarithm-processing-times based learning effect into a single-machine scheduling problem. We consider the following objective function minimize maximum lateness subject to the number of tardy jobs A non-linear programming model are developed for problem. Also the model is tested on an example.

Keywords: *Single machine scheduling, bicriteria, exponential sum-of-logarithm-processing-times based learning effect, number of tardy, maximum lateness*

GİRİŞ

Çizelgeleme literatürüne bakıldığında problemler genellikle, işlem zamanları sabit kabul edilme varsayımına dayanmaktadır. Halbuki işin işlem zamanı işin başlama zamanına veya işin pozisyonuna bağlı olarak azalabilmektedir. Bu olgu literatürde öğrenme etkisi olarak bilinmektedir. Literatürde öğrenme etkisi zamana-bağımlı ve pozisyona bağımlı olmak üzere iki grupta ele alınmıştır. Birinci grupta işin işlem zamanı işin başlama zamanına bağımlı olarak azalma varsayımına dayanırken, diğerinde ise pozisyonuna göre işlem zamanları azaldığı kabul edilmiştir(Biskup, 2008). Bu çalışmada da ilk gruba giren iki ölçütlü tek makineli çizelgeleme problemi, zamana-bağımlı öğrenme etkili durumun içinde yer alan, üssel işlem zaman taban toplamlı öğrenme etkili durumda ele alınmıştır.

Öğrenme etkisi ile ilgili ilk çalışma Biskup (1999) tarafından tek makineli çizelgeleme problemleri için yapılmıştır. Biskup (1999) çalışmasında toplam akış zamanını, teslim tarihinden sapma problemlerini incelemiştir. Moshiev (2001) yaptığı çalışmada maksimum tamamlanma zamanının yine SPT (en kısa işlem zamanı) kuralı ile çözüldüğünü göstermiştir. Araştırmacı çok ölçütlü iki problemi ele almıştır. Bunlardan birincisi tamamlanma zamanı ve tamamlanma zamanından sapmayı enküçükleme, diğeri ise teslim tarihi atama problemidir. Bu iki problemin atama modeli ile zamanda çözüldüğünü göstermiştir. Ayrıca Moshiev (2001) klasik durumda (öğrenme etkisiz) eniyi çözümü bulan yöntemlerin, öğrenme etkili olduğunda maksimum gecikme için EDD ve minimum geciken iş sayısı problemi için Moore (1968) algoritması ile çözülmesi durumunda eniyi çözümü garanti etmediğini göstermiştir. Moshiev ve Sidney (2005) yaptıkları çalışmada ise tek makineli çizelgelemede ortak teslim tarihli geciken iş sayısını minimize etmek için atama problemi ile $O(n^3 logn)$ zamanda çözmüşlerdir. Maksimum gecikme problemini ise Zhao vd. (2004) ve Wu vd. (2007) özel durumlarda $O(nlogn)$ zamanda çözüldüğünü göstermişlerdir. Eren ve Güner (2007a) ise yaptıkları çalışmada toplam gecikme problemini ele almışlar ve problem için matematiksel programlama modeli önermişlerdir. Ayrıca büyük boyutlu problemler için tabu arama ve tavlama benzetimi sezgiselleri geliştirmişlerdir. Eren (2007) yaptığı çalışmada geciken iş sayısını minimize etmek için matematiksel programlama modeli geliştirmiştir. Eren ve Güner (2007b) ise yaptıkları diğer bir çalışmada hazırlık ve taşıma zamanlarının öğrenme etkili olduğu tek makineli problemleri incelemişlerdir. Eren (2011) yaptığı çalışmada hazırlık ve taşıma zamanlarının öğrenme etkili olduğu tek makineli çizelgelemede geciken iş sayısını ortak teslim tarihi durumunda minimize etmek için atama modeli ile polinom zamanda çözülebileceğini göstermiştir. Bahsedilen tüm çalışmalar pozisyona bağımlı öğrenme etkisi ile yapılmıştır. Zamana bağımlı öğrenme etkisi ile ilgili ilk çalışma ise Kuo ve Yang (2006a, 2006b) tarafından yapılmıştır. Araştırmacılar çalışmalarında maksimum tamamlanma zamanı ve toplam tamamlanma zamanını enküçükleme probleminin SPT kuralıyla eniyi çözümlerin bulunabileceğini göstermişlerdir. Ayrıca Kuo ve Yang (2006c) yaptıkları diğer bir çalışmada ise tek makineli grup çizelgeleme probleminde maksimum tamamlanma zamanı ve toplam tamamlanma zamanı problemlerinin yine SPT kuralı ile çözülebileceğini göstermişlerdir. Eren (2008) yaptığı çalışmada maksimum gecikme ölçütünün zamana bağımlı öğrenme etkisi durumda EDD (en küçük teslim tarihi) kuralıyla optimal çözümü garanti etmediğini göstermiştir. Ayrıca optimal çözümü bulmak için doğrusal olmayan programlama modeli önermiştir. Wang vd. (2010) yaptıkları çalışmada üssel logaritmik işlem zaman toplam tabanlı öğrenme etkisini tek makinede uygulamış, maksimum tamamlanma zamanı ve toplam tamamlanma zamanı ve tamamlanma zamanı kareleri toplamının SPT kuralı ile optimal çözüm bulunduğunu göstermişlerdir. Wang vd. (2010) ayrıca yaptıkları çalışmada ağırlıklı tamamlanma zamanının toplamı ve maksimum gecikme problemlerinin sırasıyla SWPT (en küçük ağırlıklı işlem zamanı) ve EDD kuralı ile optimal çözümü garanti etmediğini, ancak özel durumda bu yöntemlerle çözülebileceğini göstermişlerdir. Bu çalışmada Wang vd. (2010)'ın modeli kullanılarak geciken iş sayısı kısıtı altında maksimum gecikme ölçütleri ele alınmıştır. Eren (2012a) yaptığı çalışmada logaritmik işlem zaman tabanlı öğrenme etkili problemde geciken iş sayısını minimize etmek için doğrusal olmayan programlama modeli geliştirmiştir. Eren (2012b) aynı öğrenme fonksiyonunun kullanarak çalışmasında ve toplam erken bitirme ve toplam gecikmenin ağırlıklı toplamını problemini ele almış ve optimal çözüm yaklaşımı geliştirmiştir. Eren (2012c) ayrıca geciken iş sayısı ve gecikme aralığı ile ilgili dört problemi ele almış ve çözüm yaklaşımları geliştirmiştir.

Shanthikumar (1983), Nelson vd. (1986), Liao vd. (1992), Chen ve Bulfin (1994), Gupta ve Ramnarayanan (1996), Gupta vd. (1999), Huo vd. (2007) yaptıkları çalışmalarda tek makineli çizelgeleme problemlerinde geciken iş sayısı kısıtı altında maksimum gecikme problemini klasik durumda (öğrenme etkisiz) optimal çözümlerini bulmuşlardır.

Bu çalışmada da geciken iş sayısı kısıtı altında maksimum gecikmeyi üssel işlem zaman taban toplamlı öğrenme etkili durumda minimize etmek için doğrusal olmayan programlama modeli önerilmiş ve önerilen model sayısal örnekle test edilmiştir.

Çalışmanın planı şu şekildedir: İkinci bölümünde ele alınan problemler tanımlanacaktır. Üçüncü bölümde ise problem için önerilen doğrusal olmayan programlama modelleri verilecektir. Verilen model örnek üzerinde dördüncü bölümde gösterilecektir. Son bölümde ise çalışmanın sonuçları verilecek ve gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulacaktır.

PROBLEMİN TANIMLANMASI

Bu çalışmada üssel işlem zaman taban toplamlı öğrenme etkili durumda tek makineli çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Wang vd. (2010) çalışmasındaki notasyonlar kullanılmıştır. Model şu şekilde tanımlanmıştır: Tek makineli n işli çizelgeleme problemi ele alınmıştır., j işinin işlem zamanını, p_{jr} ise p_j işinin r. posizyondaki işlem zamanını göstermektedir ve $p_{jr} = p_j\left(\alpha a^{\sum_{i=1}^{r-1} lnp_{[i]}} + \beta\right), (r, j = 1,2,\dots,n)$ dir. Burada $\sum_{i=1}^{0} lnp_{[i]} = 0$ ve parametreler $\alpha, \beta \geq 0,\ \alpha + \beta = 1,\ 0 < a \leq 1$ dir. d_j ve C_j ise j işinin teslim tarihi ve tamamlanma zamanıdır. Maksimum gecikme $L_{\max} = \max_{j=1}^{n}\left(C_j - d_j\right)$ şeklinde ifade edilmektedir. U_r r. pozisyondaki iş gecikmişse 1, gecikmediyse 0 olduğunu göstermektedir. Toplam geciken iş sayısı, $n_T = \sum_{r=1}^{n} U_r$ ile tanımlanmaktadır. Bu çalışmada üssel işlem zaman taban toplamlı öğrenme etkili durumda iki ölçütlü tek makineli çizelgeleme ele alınmıştır. Problemin amacı geciken iş sayısı kısıtı altında maksimum gecikmeyi minimize etmektir. Problem şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$1/p_{jr} = p_j\left(\alpha a^{\sum_{i=1}^{r-1} lnp_{[i]}} + \beta\right)/L_{max}\colon n_T$$

DOĞRUSAL OLMAYAN MATEMATİKSEL PROGRAMLAMA MODELİ

Önerilen modellerde, parametreler, karar değişkenleri ve matematiksel model aşağıda verilmiştir.

Parametreler

j:	iş indeksi	$j = 1,2,\dots,n$
p_j:	j işinin işlem zamanı	$j = 1,2,\dots,n$
d_j:	j işinin teslim tarihi	$j = 1,2,\dots,n$
α:	parametre	α≥0
β:	parametre	β≥0
a:	parametre	
M:	Büyük bir sayı	

Karar değişkenleri

Z_{jr}: Eğer j işi r. pozisyonda işlem görmek için çizelgelenmişse 1, aksi halde 0,

$$j = 1,2,\dots,n \qquad r = 1,2,\dots,n$$

U_r: r. pozisyondaki iş gecikiyorsa 1, aksi halde 0,

$$r = 1,2,\dots,n$$

$p_{[r]}$: r. pozisyondaki işin işlem zamanı

$$r = 1,2,\dots,n$$

$d_{[r]}$: r. pozisyondaki işin teslim tarihi

$$r = 1,2,\ldots,n$$

C_r: r. pozisyondaki işin tamamlanma zamanı

$$r = 1,2,\ldots,n$$

$L_{\max}$: maksimum gecikme

$$L_{max} = max_{j=1}^{n}\{C_j - d_j\}$$

Ele alınan problemi çözmek için önce geciken iş sayısını minimize etme problemi çözülecektir. Bulunan sonuçla ele alınan problemin optimal çözümü bulunacaktır.

Matematiksel Model

Problemin geciken minimum iş sayısının optimal çözümünü bulmak için aşağıdaki doğrusal olmayan programlama modeli önerilmiştir. Model; $6n$ kısıtlı, $n^2 + 4n$ değişkenlidir.

Problem iki aşamada çözülmektedir.

Aşama 1: Geciken iş sayısını bulma.

Model-1
Amaç fonksiyonu:

$$Min \sum_{r=1}^{n} U_r \tag{1}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^{n} Z_{jr} = 1 \qquad r = 1,2,\ldots,n \tag{2}$$

$$\sum_{r=1}^{n} Z_{jr} = 1 \qquad j = 1,2,\ldots,n \tag{3}$$

$$p_{[r]} = \sum_{j=1}^{n} Z_{jr} p_j \qquad r = 1,2,\ldots,n \tag{4}$$

$$d_{[r]} = \sum_{j=1}^{n} Z_{jr} d_j \qquad r = 1,2,\ldots,n \tag{5}$$

$$C_r \geq C_{r-1} + p_{[r]}\left(\alpha a^{\sum_{i=1}^{r-1} \ln p_{[i]}} + \beta\right) \quad r = 1,2,\ldots,n \tag{6}$$

$$C_r - d_r \leq MU_r \qquad r = 1,2,\ldots,n. \tag{7}$$

Z_{jr}: $0\ veya\ 1$ $C_0 = 0$ ve diğerleri negatif olmayan değişkenler

$$j = 1,2,\ldots,n.\ r = 1,2,\ldots,n.$$

Kısıt (2), r. pozisyona sadece bir tek işin atanmasını, Kısıt (3), her bir işin sadece bir kez çizelgelenmesini ifade etmektedir. Kısıt (4) ve Kısıt (5) sırasıyla r. pozisyondaki işin işlem zamanı ve teslim tarihini göstermektedir. Kısıt (6), r. pozisyondaki işin tamamlanma zamanının bir önceki işin tamamlanma zamanı ve r. pozisyondaki işin işlem zamanından büyük veya eşit olmasını göstermektedir. r. pozisyondaki işin gecikmesinin, tamamlanma zamanı ve teslim tarihi arasındaki farktan büyük veya eşit olduğunu da Kısıt (7) tanımlamaktadır.

Aşama 2: Geciken iş sayısı kısıtı altında maksimum gecikmeyi bulma.

Geciken iş sayısı kısıtı altında maksimum gecikme problemini minimize eden çözümü bulmak için aşağıdaki doğrusal olmayan programlama modeli önerilmiştir. Model, $7n+1$ kısıtlı, $n^2 + 4n + 1$ değişkenlidir. Kısıt (9) maksimum gecikmeyi ifade etmektedir. Kısıt (10) ise bir önceki aşamada bulunan minimum geciken iş sayısıdır.

Model-2
Amaç fonksiyonu:

$$Min \quad L_{max} \tag{8}$$

Kısıtlar:

Kısıt (2)-(7)

$$L_{\max} \geq C_r - d_{[r]} \qquad r = 1,2,\ldots,n \tag{9}$$

$$\sum_{k=1}^{n} U_k = m \tag{10}$$

Z_{jr}: $0\ veya\ 1$ $C_0 = 0$ ve diğerleri negatif olmayan değişkenler

$$j = 1,2,\ldots,n. \qquad r = 1,2,\ldots,n.$$

Modelde verilen optimal çözüm geciken iş sayısı m kısıtı altında maksimum gecikmeyi vermektedir. Geciken iş sayısı m birer birer arttırılarak diğer maksimum gecikme değerleri bulunur. Bu m'i arttırma, iş sayısı toplamında değişim olmayıncaya kadar devam eder. Aşağıdaki sayısal örnekle bu durum gösterilecektir.

SAYISAL ÖRNEK

Tek makinede 10 işli bir problemin işlem zamanları ve teslim tarihleri saat olarak Tablo 1'de verilmiştir. Parametrelerden α=0.0,0.1,…0.9,1.0 olmak üzere 11 farklı durumda ve a=0.9 alınmıştır.

Tablo 1. Örnek verileri

j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
p_j	1	4	6	9	5	7	5	2	2	5
d_j	3	23	13	16	20	25	6	5	11	12

Problem GAMS 22.5 (2007) paket programı ile çözüldüğünde bulunan sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Sayısal örneğin optimal çözüm sonuçları

α	β	n_T	L_{max} (sa)	Optimal sıralama
0.0	1.0	4	23.00	8-1-10-9-5-2-7-3-4-6
		5	21.00	9-1-8-10-2-7-3-4-5-6
0.1	0.9	4	21.49	8-1-9-10-2-5-7-3-4-6
		5	19.01	8-1-9-10-2-7-3-4-5-6
		6	18.97	8-9-10-2-7-1-3-4-5-6
0.2	0.8	3	26.00	8-1-9-10-2-5-6-7-3-4
		4	19.98	8-1-9-10-2-5-7-3-4-6
		5	17.03	9-1-8-10-2-7-3-4-5-6
		6	16.95	8-9-10-2-7-1-3-4-5-6
		7	16.94	9-8-2-7-10-1-3-4-5-6
0.3	0.7	3	24.00	9-1-8-10-2-5-6-7-3-4
		4	18.46	9-1-8-10-2-5-7-3-4-6
		5	15.04	8-1-9-10-2-7-3-4-5-6
		6	14.92	8-9-10-2-7-1-3-4-5-6
		7	14.91	9-8-2-10-7-1-3-4-5-6
0.4	0.6	3	21.99	8-1-9-10-2-5-6-7-3-4
		4	16.95	9-1-8-10-2-5-7-3-4-6
		5	13.33	8-1-9-10-2-7-3-4-5-6
		6	13.19	9-1-8-10-7-3-4-2-5-6
		7	13.06	8-9-10-7-1-3-4-2-5-6
0.5	0.5	3	20.03	8-1-9-10-2-5-6-7-3-4
		4	15.44	8-1-9-10-2-5-7-3-4-6
		5	12.17	9-1-8-10-2-7-3-4-5-6
		6	11.24	9-1-8-10-7-3-4-5-2-6
		7	11.09	9-8-10-7-1-3-4-5-2-6
0.6	0.4	3	17.94	9-1-8-10-2-5-7-6-3-4
		4	13.97	8-1-9-10-7-5-2-3-4-6
		5	11.00	9-1-8-10-2-7-3-4-5-6
		6	9.29	8-1-9-10-7-3-4-5-2-6
		7	9.17	9-8-10-1-7-3-4-5-2-6
0.7	0.3	3	15.93	9-1-8-10-2-7-5-6-3-4
		4	12.41	8-1-9-10-2-7-5-3-4-6
		5	9.86	8-1-9-10-7-2-3-4-5-6
		6	7.73	8-1-9-10-7-3-4-5-2-6
		7	7.59	8-9-10-1-7-3-4-5-2-6
0.8	0.2	3	13.92	9-1-8-10-2-5-7-6-3-4
		4	10.90	8-1-9-10-2-7-5-3-4-6
		5	8.70	8-1-9-10-7-2-3-4-5-6
		6	7.20	9-1-8-10-7-3-4-5-2-6
		7	6.83	9-1-8-7-10-3-4-5-2-6
		8	6.67	9-8-7-1-10-3-4-5-2-6
0.9	0.1	3	11.80	9-8-10-3-1-7-5-2-6-4
		4	9.43	8-1-9-10-7-2-5-3-4-6
		5	7.54	8-1-9-10-7-2-3-4-5-6
		6	6.98	9-1-8-10-7-3-4-5-6-2
		7	5.93	9-1-8-7-10-3-4-5-6-2
		8	5.84	8-7-1-9-10-3-4-5-2-6
1.0	0.0	3	9.81	9-1-8-2-10-7-5-3-6-4
		4	6.76	9-1-8-10-7-2-3-4-6-5
		5	6.28	9-1-8-2-7-10-3-4-6-5
		6	5.04	8-1-9-7-10-3-4-2-5-6
		7	4.93	8-7-1-9-10-3-4-2-5-6

Tablo 2'de görüldüğü gibi model 1'den 11 ve model 2'den 52 adet olmak üzere toplam 63 problem çözülmüştür. Her bir problemde işlerin sıralamaları farklı olduğu görülmüştür. Ayrıca problemde α değeri arttıkça problemin çözüm süresinin uzadığı gözlemlenmiştir. β=1 olduğunda problem doğrusal programlamaya dönüşmektedir.

Model-1, 60 kısıt ve 100'ü 0-1 değişken olmak üzere toplam 140 değişkenden oluşmaktadır. α=0.0 olduğunda model-1'le çözüldüğünde geciken iş sayısı n_T=4 dür. Model 2, (10) no lu denklemde m=4 verildiğinde 71 kısıt ve 100'ü 0-1 olmak üzere 141 değişkenden oluşmaktadır. Problem çözüldüğünde maksimum gecikme L_{max}=23.00 saattir. Model 2'de m=5 yani geciken iş sayısı n_T=5 iken, maksimum gecikme L_{max}=21.00 saattir. İş sayısı 6 ve üzerinde olduğu ise maksimum gecikmenin iyileşmediği görülmüştür.

α=0.1 olduğunda geciken iş sayısı n_T=4 iken L_{max}=21.49 saat olarak bulunmuştur. n_T=6 olduğunda ise L_{max}=18.97 saat olmaktadır.

α=0.2 ile α=0.7 arasında olduğunda geciken iş sayısı 3 ile 7 arasında değişmektedir. α=0.2 iken maksimum gecikme 26.00 ile 16.94 saat, α=0.3 iken, 24.00 ile 14.91 saat, α=0.4 iken 21.99 ile 13.06 saat, α=0.5 iken 20.03 ile 11.09 saat, α=0.6 iken 17.94 ile 9.17 saat ve α=0.7 iken 15.93 ile 7.59 saat arası bulunmuştur.

α=0.8 ile α=0.9 olduğunda geciken iş sayısı 3 ile 8 arasında değişmektedir. α=0.8 iken maksimum gecikme 13.92 ile 6.67 saat arasındayken, α=0.9 da ise 11.80 ile 5.84 saat arası bulunmuştur.

α=1.0 olduğunda geciken iş sayısı 3 ile 7 arasında, maksimum gecikme ise 9.81 ile 4.83 saat arasında bulunmuştur.

SONUÇLAR

Bu çalışmada üssel işlem zaman taban toplamlı öğrenme etkili tek makineli çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Problemin amacı geciken iş sayısı kısıtı altında maksimum gecikmeyi minimize etmektir. Problemi klasik (öğrenme etkisiz) durumda optimal olarak çözen bir algoritma mevcut değildir. Araştırmacılar genellikle dal-sınır yöntemi kullanarak çözüm yaklaşımı geliştirmişlerdir. Ele alınan problem, ilk defa ele alınmış ve optimal çözüme ulaşmak için doğrusal-olmayan programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model 63 problemden oluşan bir örnek üzerinde uygulanmıştır.

Çizelgelemede öğrenme fonksiyonları değişmesiyle problem için geliştirilen çözüm yöntemleri de değişebilmektedir. Bu da her bir problem için araştırmacılara yeni problem tipleri ortaya çıkarmaktadır. Bundan sonraki çalışmalarda farklı öğrenme etkisi fonksiyonlarında çok makineli durumlarda dikkate alınabilir.

KAYNAKLAR

1. BISKUP, D., A state-of-the-art review on scheduling with learning effects, European Journal of Operational Research, 188(2), 315-329, 2008.
2. BISKUP, D., Single-machine scheduling with learning considerations, European Journal of Operational Research, 115, 173-178, 1999.
3. CHEN, C.L. BULFIN, R.L., Scheduling a single machine to minimize two criteria: maximum tardiness and number of tardy jobs, IIE Transactions, 26, 76-84, 1994.
4. EREN, T., Öğrenme etkili çizelgeleme problemi: Geciken iş sayısı minimizasyonu, Teknoloji Dergisi, 10(4), 235-238, 2007.
5. EREN, T., Solving scheduling problem with time dependent learning effect to number of tardy jobs and range of lateness criteria, Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 23(2), 459-465, 2008.
6. EREN, T., Hazırlık ve taşıma zamanlarının öğrenme etkili olduğu tek makineli çizelgeleme problemi: Geciken iş sayısı minimizasyonu, International Journal of Engineering Research and Development, 6(6), 34-36, 2011.
7. EREN, T., Logaritmik toplam işlem zaman tabanlı öğrenme etkili tek makineli çizelgeleme: geciken iş sayısı minimizasyonu, Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1, 83-88, 2012a
8. EREN, T., Logaritmik Toplam İşlem Zaman Tabanlı Öğrenme Etkili Tek Makineli Çizelgeleme: Toplam Erken Bitirme Ve Toplam Gecikme Minimizasyonu" Niğde Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 1 (2), 61-68, 2012b.
9. EREN, T., Minimizing the maximum lateness in a schedulıng problem with a time-dependent learning effect: a non-linear programming model, Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 27 (4), 875-879, 2012c.
10. EREN, T. GÜNER, E., Minimizing total tardiness in a scheduling problem with a learning effect, Applied Mathematical Modelling, 31, 1351-1361, 2007a.
11. EREN, T. GÜNER, E., Hazırlık ve taşıma zamanlarının öğrenme etkili olduğu çizelgeleme problemleri, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8(1), 7-13, 2007b.
12. GAMS 22.5 Development CorporationGAMS – the solver manuals, GAMS user notes, Washington, DC USA, 2007.
13. GUPTA, J.N.D. HARIRI, A.M.A. POTTS, C.N., Single-machine scheduling to minimize maximum tardiness with minimum number of tardy jobs, Annals of Operations Research, 92, 107 -123, 1999.
14. GUPTA, J.N.D. RAMNARAYANAN, R., Single Facility Scheduling with Dual Criteria: Minimizing Maximum Tardiness Subject to Minimum Number of Tardy Jobs, Production Planning and Control, 70, 127-143, 1996.
15. HUO, Y. LEUNG, J.Y.T. ZHAO, H., Bi-criteria scheduling problems: Number of tardy jobs and maximum weighted tardiness, European Journal of Operational Research, 177, 116–134, 2007.
16. KUO, W.H. YANG, D.L., Minimizing the total completion time in a single machine scheduling problem with a time-dependent learning effect, European Journal of Operational Research, 174, 1184-1190, 2006a.
17. KUO, W.H. YANG, D.L., Minimizing the makespan in a single machine scheduling problem with a time-based learning effect, Information Processing Letters, 97, 64–67. 2006b.
18. KUO, W.H. YANG, D.L., Single-machine group scheduling with a time dependent learning effect, Computers and Operations Research, 33, 2099-2112, 2006c.
19. LIAO, C.J. HUANG, R.H. TSENG, S.T., Use of Variable Range in Solving Multiple Criteria Scheduling Problems, Computers and Operations Research, 19(5), 453-460, 1992.
20. MOORE, J.M., An n job, one machine sequencing algorithm for minimizing the number of tardy jobs, Management Science, 15, 102–109, 1968.
21. MOSHEIOV, G., Scheduling problems with a learning effect, European Journal of Operational Research, 132, 687-693, 2001.
22. MOSHEIOV, G. SIDNEY, J.B., Note on scheduling with general learning curves to minimize the number of tardy jobs, Journal of the Operational Research Society, 56, 110–112, 2005.
23. NELSON, R.T. SARIN, R.K. DANIELS, R.L. Scheduling with multiple performance measures: the one machine case, Management Science, 32(4), 464–479, 1986.
24. SHANTHIKUMAR, J.G., Scheduling n jobs on one machine to minimize the maximum tardiness with minimum number tardy, Computers Operations Research, 10, 255-266, 1983.
25. WANG, J.B. LINHUI, S. LINYAN, S., Single machine scheduling with exponential sum-of-logarithm-processing-times based learning effect, Applied Mathematical Modelling, 34, 2813–2819, 2010.
26. WU, C.C. LEE, W.C. CHEN, T., Heuristic algorithms for solving the maximum lateness scheduling problem with learning considerations, Computers & Industrial Engineering, 52, 124-132, 2007.
27. ZHAO,C.L. ZHANG,Q.L. TANG, H.Y., Machine scheduling problems with learning effects, Dynamics of Continuous, Discrete and Impulsive Systems, Series A: Mathematical Analysis, 11, 741-750, 2004.