

ÖĞRENME VE BOZULMA ETKİLİ TEK MAKİNELİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ

Tamer EREN

Kırıkkale Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Ankara Yolu 71451 KIRIKKALE
tameren@hotmail.com

ÖZET

Klasik çizelgeleme problemlerinde işlem zamanları sabit kabul edilmektedir. Halbuki işlem zamanı çeşitli durumlarda bozulma ve öğrenme olgusuyla artar veya azalabilir. Bu makalede bozulma ve öğrenme etkili tek makineli çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Ele alınan problemlerin amaç fonksiyonları: maksimum tamamlanma zamanı, toplam tamamlanma zamanı, tamamlanma zamanlarının k'ıncı kuvvetlerinin toplamı, toplam ağırlıklı tamamlanma zamanı, maksimum gecikme ve geciken iş sayısı şeklindedir. Problemleri çözmek için doğrusal-olmayan programlama modelleri geliştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Tek makineli çizelgeleme, öğrenme etkisi, bozulma etkisi, doğrusal-olmayan programlama

LEARNING AND DETERIORATING EFFECTS ON THE SINGLE MACHINE SCHEDULING PROBLEMS

ABSTRACT

Traditional scheduling models assume that the processing times of jobs are constant. However, there are many situations where the processing time of the job may be subject to change due to deteriorating and learning phenomena. This paper studies the single-machine scheduling problem with deteriorating and learning effects. We consider the following objective functions: the makespan, the total completion time, the sum of the kth power of completion times, sum of weighted completion times, the maximum lateness and number of tardy jobs minimization. Non-linear programming models are developed for solving these problems..

Keywords: Single machine scheduling, learning effect, deteriorating effect, non-linear programming

1. GİRİŞ

Çizelgeleme problemleri üretim sistemleri içinde önemli bir yere sahiptir. Bundan dolayı araştırmacılarında en çok ilgilendiği alanların başlarında gelmektedir. Klasik çizelgeleme problemlerinde işlerin işlem zamanı sabit kabul edilmektedir. Halbuki uygulamalara bakıldığında işlerin işlem zamanı işin tekrarı nispetinde değişim gösterebilmektedir. İşlem zamanlarında pozisyon veya zamana göre artan bir fonksiyon göstermesi halinde bozulmayı, azalan bir fonksiyonla ifade edilmesi durumunda ise öğrenme ile tanımlanmaktadır. Bu olgu literatürde bozulma ve öğrenme etkisi olarak ifade edilmektedir[1-4].

Öğrenme ve bozulmanın aynı anda uygulandığı çalışmalar özellikle son beş yılda artan bir hızla sıklıkla görülmektedir. Araştırmacılar işlem zamanlarındaki öğrenme ve bozulmadaki değişmeyi birbirinden farklı fonksiyonlarla tanımlamışlardır. Wang ve Cheng [5] tek makinede maksimum tamamlanma zamanı problemini polinom zamanlı çözülebilen özel durumları incelemiştir. Wang [6,7], Cheng vd. [8], Sun [9], Wang vd. [10,11], Huang vd. [12], Lee ve Lai [13] ile Wu vd. [14] ise maksimum

tamamlanma zamanı, toplam tamamlanma zamanı ve tamamlanma zamanları kareleri (veya k'ıncı kuvveti) toplamı probleminin en kısa işlem zamanı (SPT) kuralıyla çözüldüğünü ispatlamıştır. Ayrıca çalışmada ağırlıklı tamamlanma zamanı toplamı probleminin en kısa ağırlıklı işlem zamanı (SWPT) kuralıyla ve maksimum gecikmenin en küçük teslim tarihi (EDD) kuralıyla ancak özel durumlarda optimal çözüm verdiğini göstermiştir. Wang vd. [15] maksimum tamamlanma zamanının en uzun işlem zamanı (LPT) kuralıyla çözülebileceği göstermiştir. Toksarı vd. [16] doğrusal-olmayan bozulma ve zamana-bağımlı öğrenme etkili durumda Cheng vd. [17] orantılı hazırlık zamanlı durumda maksimum tamamlanma zamanı, toplam tamamlanma zamanı ve tamamlanma zamanları kareleri toplamı probleminin SPT kuralıyla çözüldüğünü ispatlamıştır. Yang ve Kuo [18], maksimum tamamlanma zamanı, toplam tamamlanma zamanı ve tamamlanma zamanları arasındaki farkların toplamını minimize etmek için atama modeli geliştirmiştir. Wang ve Guo [19] Wang ve Wang [20] teslim tarihi atama problemini polinom zamanda çözebildiği özel durumları incelenmiştir. Yang ve Yang [21], Huang vd. [22], Yang [23], Bai [24] grup çizelgeleme probleminde maksimum tamamlanma zamanı ve toplam tamamlanma zamanı

problemlerini çözen algoritma sunmuşlardır. Wang vd. [25] modellerinde iki öğrenme indeksinin farklı durumlarına göre polinom zamanda çözebileceği maksimum tamamlanma zamanı, toplam tamamlanma zamanı problemlerini incelemişlerdir. Yang [26] bakım faaliyetini dikkate alarak incelemiş ve zamanının LPT kuralı ile, toplam tamamlanma zamanının SPT kuralıyla ve tamamlanma zamanları arasındaki mutlak sapmaların toplamını ise polinom zamanda çözülebileceğini göstermiştir. Yang [27] yine bakım faaliyetli durumda maksimum tamamlanma zamanı ve toplam tamamlanma zamanı problemlerini çözen algoritma önermiştir. Toksarı [28] geliş zamanlarının farklı olması durumunda maksimum tamamlanma zamanını dal-sınır algoritmasıyla çözmüştür. Ayrıca büyük boyutlu problemleri çözmek için sezgisel yöntem geliştirmiştir. Yang ve Kuo [29] maksimum tamamlanma zamanı ve geciken iş sayısını polinom zamanda çözen algoritma önermişlerdir. Lee [30] geçmiş sıra-bağımlı hazırlık zamanlı durumda maksimum tamamlanma zamanı ve toplam tamamlanma zamanı problemlerini SPT kuralı ile çözerken, toplam ağırlıklı tamamlanma zamanı problemi SWPT ve maksimum gecikme ve toplam gecikmeyi EDD kuralıyla çözebileceği özel durumları göstermiştir.

Bu çalışmada da işlerin bozulma ve öğrenme olduğu durumda tek makineli çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Temel performans ölçütleri olan; maksimum tamamlanma zamanı, toplam tamamlanma zamanı, tamamlanma zamanları karelerinin toplamı, toplam ağırlıklı tamamlanma zamanı, maksimum gecikme ve geciken işlerin sayısıdır. Ele alına altı problemden ilk üçünü optimal çözümü SPT kuralı ile ulaşabileceği Wang [7] tarafından gösterilmiştir. Son üç problemi ise optimal çözümü bulacak bir yöntemler ilk defa bu çalışma gösterilmiştir. Ele alınan ölçütleri minimize etmek için doğrusal-olmayan programlama modelleri önerilmiş ve önerilen modeller 10 işli bir problemde uygulanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde ele alınan problemler tanımlanacaktır. Üçüncü bölümde temel performans ölçütleri için optimal çözüm yöntemleri sunulacaktır. Dördüncü bölümde önerilen modellerin kullanılacağı 10 işli bir örnek verilecektir. Son bölüm olan beşinci bölümde ise ele alınan çalışma değerlendirilecek ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar hakkında önerilerde bulunulacaktır.

2. PROBLEMLERİN TANIMLANMASI

Ele alınan problemlerdeki notasyonlar Wang [7]'in çalışmasından alınmıştır. Çalışmada, tek makineli çizelgeleme probleminde öğrenme etkisinden dolayı j işi r . pozisyona atandığında işlem zamanı $p_{j,r} = p_j(\alpha a^{r-1} + \beta)$ ve t . zamandaki j işinin bozulma durumunda işlem zamanı $p_j(t) = p_j(bt + c)$ modellerinin birleşimindeki model kullanılmıştır:

$$p_{j,r}(t) = p_j(\alpha a^{r-1} + \beta)(bt + c) \quad (1)$$

Ele alınan 6 problem Graham vd. [31]'in $\delta/\varphi/\gamma$ gösterimi kullanılarak gösterilmiştir. Burada δ makine konfigürasyonunu, φ çizelgelemenin özel durumunu, γ ise performans ölçütünü göstermektedir. Ele alınan problemler sırasıyla tek makineli, işlem zamanları öğrenme ve bozulma fonksiyonlu olarak değişebilen ve sırasıyla; maksimum tamamlanma zamanı, toplam tamamlanma zamanı, tamamlanma zamanlarının k 'inci kuvvetlerinin toplamı, toplam ağırlıklı tamamlanma zamanı, maksimum gecikme ve geciken iş sayısını minimize etme problemidir. Bu problemlerin gösterimi sırasıyla şu şekildedir:

- (i) $1/p_{j,r}(t) = p_j(\alpha a^{r-1} + \beta)(bt + c)/C_{max}$
- (ii) $1/p_{j,r}(t) = p_j(\alpha a^{r-1} + \beta)(bt + c)/\sum C$
- (iii) $1/p_{j,r}(t) = p_j(\alpha a^{r-1} + \beta)(bt + c)/\sum C^k$
- (iv) $1/p_{j,r}(t) = p_j(\alpha a^{r-1} + \beta)(bt + c)/\sum wC$
- (v) $1/p_{j,r}(t) = p_j(\alpha a^{r-1} + \beta)(bt + c)/L_{max}$
- (vi) $1/p_{j,r}(t) = p_j(\alpha a^{r-1} + \beta)(bt + c)/n_T$

Ele alınan bu problemlerin ilk üçü Wang [7]'in yaptığı çalışmada SPT kuralı ile optimal çözüm bulunduğu gösterilmiştir. Son üç problem için ise optimal çözüm veren bir algoritma veya yöntem literatürde sunulmamıştır. Bu çalışmada ilk defa optimal çözüm veren matematiksel modeller sunulmuştur.

Tek bir makinede hazır n tane iş vardır. Ele alınan problemde kullanılan notasyonlar ve değişken aşağıdaki gibidir.

Parametreler:

j	iş indeksi	$j = 1, \dots, n.$
α	parametre	$\alpha \geq 0$
β	parametre	$\alpha + \beta = 1 \quad \beta \geq 0$
a	parametre	$0 < a \leq 1$
b	parametre	$b \geq 0$
c	parametre	$c \geq 0$
w_j	j işinin ağırlığı	$j = 1, \dots, n.$
p_j	j işinin işlem zamanı	$j = 1, \dots, n.$
d_j	j işinin teslim tarihi	$j = 1, \dots, n.$
M	büyük bir sayı	

Karar değişkenleri:

Z_{jr}	eğer j işi r . pozisyona atanırsa 1 aksi halde 0	$j = 1, \dots, n. \quad r = 1, \dots, n.$
$w_{[r]}$	r . pozisyona atanan işin ağırlığı	$r = 1, \dots, n.$
$p_{[r]}$	r . pozisyona atanan işin işlem zamanı	$r = 1, \dots, n.$
$p_{[r]}^*$	r . pozisyona atanan işin öğrenme ve bozulma etkili işlem zamanı	$r = 1, \dots, n.$
$d_{[r]}$	r . pozisyondaki işin teslim tarihi	$r = 1, \dots, n.$

C_r r . pozisyona atanan işin tamamlanma zamanı
 $r = 1, \dots, n$.
 U_r r . pozisyondaki işte gecikme varsa 1 aksi
 halde 0
 $r = 1, \dots, n$.

3. TEMEL PROBLEMLERİN OPTİMAL ÇÖZÜMLERİ

3.1. Maksimum tamamlanma zamanı minimizasyonu

Tek makineli çizelgelemede klasik durumda maksimum tamamlanma zamanı minimizasyonu sıralamadan bağımsızdır. Öğrenme ve bozulma etkili olduğunda ise maksimum tamamlanma zamanı minimizasyonu $1/p_{j,r}(t) = p_j(\alpha a^{r-1} + \beta)(bt + c)/C_{max}$ ile gösterilir. Bu problemin optimal çözümünün SPT kuralı ile bulunduğu Wang [7] tarafından ispat edilmiştir.

3.2. Toplam tamamlanma zamanı

Tek makineli çizelgelemede klasik durumda toplam tamamlanma zamanı minimizasyonu SPT kuralı ile yapılabilmektedir. Öğrenme ve bozulma etkili olduğunda ise problem $1/p_{j,r}(t) = p_j(\alpha a^{r-1} + \beta)(bt + c)/\sum_{r=1}^n C_r$ ile gösterilir. Problemin optimal çözümünün klasik durumdaki gibi SPT kuralı ile yapılabileceği Wang [7] tarafından gösterilmiştir.

3.3. Tamamlanma zamanlarının k 'inci kuvvetlerinin toplamı

Tek makineli çizelgelemede klasik durumda tamamlanma zamanlarının k 'inci kuvvetlerinin toplamının minimizasyonu SPT kuralı ile yapılabilmektedir. Öğrenme ve bozulma etkili olduğunda ise problem $1/p_{j,r}(t) = p_j(\alpha a^{r-1} + \beta)(bt + c)/\sum_{r=1}^n C_r^k$ ile gösterilir. Problemin optimal çözümünün klasik durumdaki gibi SPT kuralı ile yapılabileceği Wang [7] tarafından gösterilmiştir.

3.4. Toplam ağırlıklı tamamlanma zamanı

Tek makineli çizelgelemede klasik durumda toplam ağırlıklı tamamlanma zamanı minimizasyonu SWPT kuralı ile yapılabilirken, öğrenme ve bozulma etkili olduğunda ise $1/p_{j,r}(t) = p_j(\alpha a^{r-1} + \beta)(bt + c)/\sum_{r=1}^n w_r C_r$ probleminin SWPT kuralıyla optimal çözümü garanti etmediği Wang [7] tarafından ispat edilmiştir. Wang [7] çalışmasında sadece iki özel durumda özel durumlar için SWPT kuralının geçerli olduğunu göstermiştir. Birincisinde $p_j < p_k, w_j \geq w_k$ olması durumunda $1/p_{j,r}(t) = p_j(\alpha a^{r-1} + \beta)(bt + c), p_j < p_k, w_j \geq w_k/\sum_{r=1}^n w_r C_r$ diğeri de işlem zamanlarının hepsinin eşit olması durumunda $1/p_{j,r}(t) = p_j(\alpha a^{r-1} + \beta)(bt + c), p_j = p/\sum_{r=1}^n w_r C_r$ dir.

Problemin optimal çözümü bulmak için doğrusal-olmayan programlama modeli önerilmiştir. Model $n^2 + 4n$ değişkenli ve $6n$ kısıtlıdır.

Model-1:

$$\text{Min } \sum_{r=1}^n w_r C_r \quad (2)$$

Kısıtlar:

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

$$\sum_{r=1}^n Z_{jr} = 1 \quad j = 1, \dots, n. \quad (4)$$

$$w_{[r]} = \sum_{j=1}^n Z_{jr} w_j \quad r = 1, \dots, n. \quad (5)$$

$$p_{[r]} = \sum_{j=1}^n Z_{jr} p_j \quad r = 1, \dots, n. \quad (6)$$

$$p_{[r]} * = p_{[r]}(\alpha a^{r-1} + \beta)(bt + c) \quad r = 1, \dots, n. \quad (7)$$

$$C_r - C_{r-1} \geq p_{[r]} * \quad r = 1, \dots, n. \quad (8)$$

$$Z_{jr}: 0 - 1 \quad j = 1, \dots, n. \quad r = 1, \dots, n. \quad (9)$$

Denklem (2) toplam ağırlıklı zamanı minimizasyonunu göstermektedir. Kısıt (3); r . iş önceliğinde sadece bir tek iş çizelgelenmesini kısıt (4); her bir işin sadece bir kez çizelgelenmesini ifade etmektedir. Kısıt (5) ve kısıt (6); r .pozisyona atanan işin ağırlığını ve işlem zamanını vermektedir. Kısıt (7), r .pozisyona atanan işin öğrenme ve bozulma durumundaki işlem zamanını tanımlamaktadır. Kısıt (8) r . pozisyondaki işin tamamlanma zamanı ile bir önceki işin tamamlanma zamanı arasındaki farkın r . pozisyondaki işin öğrenme ve bozulma etkili işlem zamanına büyük veya eşit olduğunu göstermektedir ($C_0 = 0$). Kısıt (9) 0-1 değişkenini tanımlamaktadır.

3.5. Maksimum gecikme

Tek makineli çizelgelemede klasik durumda maksimum gecikme minimizasyonu EDD kuralı ile yapılabilirken, öğrenme ve bozulma etkili olduğunda ise $1/p_{j,r}(t) = p_j(\alpha a^{r-1} + \beta)(bt + c)/L_{max}$ probleminin EDD kuralıyla optimal çözümü garanti etmediği Wang [7] tarafından ispat edilmiştir. Wang [7] çalışmasında dört özel durum için optimal çözümün bulunabileceğini göstermiştir: $p_j < p_k, d_j \leq d_k$ olması durumunda $1/p_{j,r}(t) = p_j(\alpha a^{r-1} + \beta)(bt + c), p_j < p_k, d_j \leq d_k/L_{max}$ probleminin EDD kuralıyla, ikincisi işlem zamanlarının eşit olması durumunda $1/p_{j,r}(t) = p_j(\alpha a^{r-1} + \beta)(bt + c), p_j = p/L_{max}$ EDD kuralıyla, üçüncüsü teslim tarihlerinin eşit olması durumunda $1/p_{j,r}(t) = p_j(\alpha a^{r-1} + \beta)(bt + c), d_j = d/L_{max}$ probleminin SPT kuralıyla ve son olarak teslim tarihlerinin işlem zamanlarının katları ile ifade edilmesi durumunda $1/p_{j,r}(t) = p_j(\alpha a^{r-1} + \beta)(bt + c), d_j = k p_j/L_{max}$ probleminin EDD kuralıyla optimal çözümün bulunduğunu göstermişlerdir.

Problem NP-zor yapıdadır[32,33]. Problemin optimal çözümü bulmak için doğrusal-olmayan programlama modeli önerilmiştir. Model $n^2 + 4n + 1$ değişkenli ve $7n$ kısıtlıdır.

Model-2:

$$\text{Min } L_{max} \quad (10)$$

Kısıtlar:

Kısıt (3), (Kısıt (4), Kısıt (5)- Kısıt (9)

$$d_{[r]} = \sum_{j=1}^n Z_{jr} d_j \quad r = 1, \dots, n. \quad (11)$$

Denklem (10) maksimum gecikme minimizasyonunu göstermektedir. Kısıt (11) r . pozisyona atanan işin teslim tarihini vermektedir.

3.6. Geciken iş sayısı

Tek makineli çizelgelemede klasik durumda geciken iş sayısı ($n_T = \sum_{r=1}^n U_r$) minimizasyonu Moore [34] algoritmasıyla optimal çözümü garanti ederken Öğrenme ve bozulma etkili olduğunda $1/p_{j,r}(t) = p_j(\alpha a^{r-1} + \beta)(bt + c)/n_T$ probleminin Moore [34] algoritmasıyla optimal çözümü garanti etmediği sayısal örnek üzerinde gösterilmiştir.

Problemin optimal çözümü bulmak için doğrusal-olmayan programlama modeli önerilmiştir. Model $n^2 + 5n$ değişkenli ve $7n$ kısıtlıdır.

Model-3:

$$\text{Min } \sum_{r=1}^n U_r \quad (12)$$

Kısıtlar:

Kısıt (3), (Kısıt (4), Kısıt (5)- Kısıt (11)

$$C_r - d_{[r]} \leq MU_r \quad r = 1, \dots, n. \quad (13)$$

Denklem (12) gecikme iş sayısı minimizasyonunu göstermektedir. Kısıt (13) r . pozisyona atanan işin gecikip gecikmediğini sağlamaktadır.

4. SAYISAL ÖRNEK

Tek makinede iş sayısı 10 olan bir problemin işlem zamanları, ağırlıkları ve teslim tarihleri Tablo 1’de birim zaman olarak verilmektedir.

Tablo 1. Sayısal örnek verileri

j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
w_j	8	2	7	7	6	1	4	8	9	5
p_j	15	14	20	11	7	6	19	11	8	3
d_j	18	21	33	27	20	35	21	31	19	23

Sayısal örnekteki parametreler Wang [7]’in çalışmasından alınmıştır. $\alpha = \beta = a = 0.5$, $b = 0.1$, $c = 1$, $t_0 = 0$ ve $k = 2$ dir. Ele alınan altı problem aynı verilerle çözülmüştür. Önerilen doğrusal-olmayan programlama modellerini çözmek için GAMS 22.5 [35] paket programı kullanılmıştır.

Ele alınan ilk üç problem; maksimum tamamlanma zamanı, toplam tamamlanma zamanı ve tamamlanma zamanlarının kareleri toplamı SPT kuralıyla maksimum tamamlanma zamanı $C_{max} = 145.24$ birim zaman, toplam tamamlanma zamanı $\sum C = 667.97$

birim zaman ve tamamlanma zamanı kareleri toplamı $\sum C^2 = 46695.16$ birim zaman² olarak bulunmuştur. Optimal sıralama ise; 10-6-5-9-4-8-2-1-7-3’tür.

Dördüncü problem; toplam ağırlıklı tamamlanma zamanı; SWPT kuralıyla sıralaması 10-9-5-8-4-1-3-7-6-2 ve $\sum wC = 2768.30$ birim zaman olarak bulunmuştur. Önerilen model-1, 140 değişken ve 60 kısıttan oluşmaktadır. Optimal sıralama 9-10-8-5-4-1-6-3-7-2 ve $\sum wC = 2539.18$ birim zamandır.

Beşinci problem; maksimum gecikme; EDD kuralıyla sıralaması 1-9-5-2-7-10-4-8-3-6-ve $L_{max} = 103.64$ birim zaman olarak bulunmuştur. Önerilen model-2, 141 değişken ve 70 kısıttan oluşmaktadır. Bulunan optimal sıralama 7-10-8-5-2-6-1-9-4-3 ve $L_{max} = 87.28$ birim zamandır.

Altıncı problem; geciken iş sayısı; Moore [34] algoritmasıyla 1-2-7-4-3-8 nolu işler gecikmesiyle ve $n_T = 6$ olarak bulunmuştur. Önerilen model-3, 150 değişken ve 70 kısıttan oluşmaktadır. Bulunan optimal sıralama 5-10-9-8-6-3-2-4-7-1 sıralaması ve $n_T = 5$ bulunmuştur.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada öğrenme ve bozulma etkili tek makineli çizelgelemede 6 tane problem ele alınmıştır. Bu problemler;

- (i) maksimum tamamlanma zamanı,
- (ii) toplam tamamlanma zamanı,
- (iii) tamamlanma zamanlarının k ’ncü kuvvetlerinin toplamı,
- (iv) toplam ağırlıklı tamamlanma zamanı,
- (v) maksimum gecikme,
- (vi) geciken iş sayısıdır.

Ele alınan ilk üç problem SPT kuralıyla çözüldüğü daha önceki çalışmalarda gösterilmiştir. Son üç problem ise optimal çözümü veren bir algoritma şu ana kadar bulunamamıştır. Bu çalışmada optimal çözümlerini bulmak için doğrusal-olmayan programlama modelleri önerilmiştir. Önerilen model 10 işli bir sayısal örnek üzerinde gösterilmiştir.

Optimal çözümler ancak küçük boyutlu problemlerde bulunabilmektedir. Bundan sonraki çalışmalarda, büyük boyutlu problemleri çözmek için sezgisel yaklaşımlar geliştirilebileceği gibi, çok makineli durumlarında araştırmacılar için ilgi çekici konulardan olacağı tahmin edilmektedir.

6. KAYNAKLAR

[1] Cheng, T.C.E., Ding, Q., Lin, B.M.T., (2004) “A concise survey of scheduling with time-dependent processing times”, *European Journal of Operational Research*, 152: 1–13.

- [2] Biskup D (2008) A state-of-the-art review on scheduling with learning effects. *European Journal of Operational Research*, 188: 315–329.
- [3] Eren, T., (2009) “Human and machine effects in a just-in-time scheduling problem”, *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 19 (4): 294-299.
- [4] Eren, T., (2013) “Tek Makineli Çizelgelemede Genel Öğrenme Fonksiyonları: Optimal Çözümler”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19 (2): 76-80.
- [5] Wang, X., Cheng, T.C.E., (2007) “Single-machine scheduling with deteriorating jobs and learning effects to minimize the makespan”, *European Journal of Operational Research*, 178: 57–70.
- [6] Wang, J.B., (2007) “Single-machine scheduling problems with the effects of learning and deterioration”, *Omega*, 35: 397 – 402.
- [7] Wang, J.B., (2009) “Single-machine scheduling with learning effect and deteriorating jobs”, *Computers & Industrial Engineering*, 57: 1452–1456.
- [8] Cheng, T.C.E., Wu, C.C., Lee, W.C., (2008) “Some scheduling problems with deteriorating jobs and learning effects”, *Computers & Industrial Engineering*, 54: 972–982.
- [9] Sun, L., (2009) “Single-machine scheduling problems with deteriorating jobs and learning effects”, *Computers & Industrial Engineering*, 57: 843–846.
- [10] Wang J.B., Huang X., Wang, X.Y. Yin, N., Wang, L.Y., (2009) “Learning effect and deteriorating jobs in the single machine scheduling problems”, *Applied Mathematical Modelling*, 33: 3848–3853.
- [11] Wang, J.B., Hsu, C.J., Yang, D.L., (2012) “Single-machine scheduling with effects of exponential learning and general deterioration”, *Applied Mathematical Modelling*, basımda.
- [12] Huang, X., Wang, J.B., Wang, L.Y. Gao, W.J., Wang, X.R., (2010) “Single machine scheduling with time-dependent deterioration and exponential learning effect”, *Computers & Industrial Engineering*, 58: 58–63.
- [13] Lee, W.C., Lai, P.J., (2011). “Scheduling problems with general effects of deterioration and learning”, *Information Sciences*, 181: 1164–1170.
- [14] Wu, Y.B., Wang, M.Z., Wang, J.B., (2011) “Some single-machine scheduling with both learning and deterioration effects”, *Applied Mathematical Modelling*, 35: 3731–3736.
- [15] Wang, L.Y., Wang J.B., Wang, D., Yin, N., Huang X., Feng, E.M., (2009) “Single-machine scheduling with a sum-of-processing-time based learning effect and deteriorating jobs”, *Int J Adv Manuf Technol*, 45: 336–340.
- [16] Toksarı, M.D., Oron, D., Güner, E., (2009) “Single machine scheduling problems under the effects of nonlinear deterioration and time-dependent learning”, *Mathematical and Computer Modelling*, 50: 401-406
- [17] Cheng, T.C.E., Lee, W.C., Wu, C.C., (2010) “Scheduling problems with deteriorating jobs and learning effects including proportional setup times”, *Computers & Industrial Engineering* 58: 326–331.
- [18] Yang, D.L., Kuo, W.H., (2010) “Some scheduling problems with deteriorating jobs and learning effects”, *Computers & Industrial Engineering*, 58: 25–28.
- [19] Wang, J.B., Guo, Q., (2010) “A due-date assignment problem with learning effect and deteriorating jobs”, *Applied Mathematical Modelling*, 34: 309–313.
- [20] Wang, J.B., Wang, C., (2011) “Single-machine due-window assignment problem with learning effect and deteriorating jobs”, *Applied Mathematical Modelling*, 35: 4017–4022
- [21] Yang, S.J., Yang, D.L., (2010) “Single-machine group scheduling problems under the effects of deterioration and learning”, *Computers & Industrial Engineering*, 58: 754–758.
- [22] Huang, X., Wang, M.Z., Wang, J.B., (2011) “Single-machine group scheduling with both learning effects and deteriorating jobs”, *Computers & Industrial Engineering*, 60: 750–754.
- [23] Yang, S.J., (2011) “Group scheduling problems with simultaneous considerations of learning and deterioration effects on a single-machine”, *Applied Mathematical Modelling*, 35: 4008–4016.
- [24] Bai, J., Li, Z.R., Huang, X., (2012). Single-machine group scheduling with general deterioration and learning effects, *Applied Mathematical Modelling*, 36: 1267–1274.
- [25] Wang, J.B., Wang, D., Zhang, G.D., (2010). “Single-machine scheduling problems with both deteriorating jobs and learning effects”, *Applied Mathematical Modelling*, 34: 2831–2839.
- [26] Yang, S.J., (2010) “Single-machine scheduling problems with both start-time dependent learning and position dependent aging effects under deteriorating maintenance consideration”, *Applied Mathematics and Computation*, 217: 3321–3329.
- [27] Yang, S.J., (2012) “Single-machine scheduling problems simultaneously with deterioration and learning effects under deteriorating multi-maintenance activities consideration”, *Computers & Industrial Engineering*, 62: 271–275.
- [28] Toksarı, M.D. (2011) “A branch and bound algorithm for minimizing makespan on a single machine with unequal release times under learning effect and deteriorating jobs”, *Computers & Operations Research*, 38: 1361–1365.

- [29] Yang, D.L., Kuo, W.H., (2011). "Scheduling with deteriorating jobs and learning effects", *Applied Mathematics and Computation*, 218: 2069–2073.
- [30] Lee, W.C., (2012) "Single-machine scheduling with past-sequence-dependent setup times and general effects of deterioration and learning", *Optimization Letters*, in press.
- [31] Graham, R.L. Lawler, E.L. Lenstra, J.K. Rinnooy Kan, A.H.G. (1979) "Optimization and approximation in deterministic sequencing and scheduling: a survey", *Annals of Discrete Mathematics*. 5: 287–326.
- [32] Bachman, A. Janiak, A. (2000) "Minimizing maximum lateness under linear deterioration", *European Journal of Operational Research*, 126: 557–566.
- [33] Cheng, T.C.E. Wang, G. (2000) "Single machine scheduling with learning effect considerations", *Annals of Operations Research*, 98: 273–290.
- [34] Moore, J.M., (1968) "An n job, one machine sequencing algorithm for minimizing the number of tardy jobs" *Management Science*, 15: 102–109.
- [35] GAMS 22.5, Development Corporation, GAMS – the solver manuals, *GAMS user notes*, Washington, DC, USA, 2007.