



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy  
2011, Volume: 6, Number: 1, Article Number: 1A0164

Ömer Akgöbek<sup>1</sup>

Serkan Kaya<sup>2</sup>

Ünal Değirmenci<sup>3</sup>

Orhan Engin<sup>4</sup>

Zirve University<sup>1</sup>

Harran University<sup>2</sup>

Selcuk University<sup>3-4</sup>

omer.ahgobek@zirve.edu.tr

serkankaya@harran.edu.tr

Gaziantep-Turkey

**ENGINEERING SCIENCES**

Received: October 2010

Accepted: January 2011

Series : 1A

ISSN : 1308-7231

© 2010 [www.newwsa.com](http://www.newwsa.com)

**AÇIK ATÖLYE TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN PARALEL DOYUMSUZ METASEZGİSEL ALGORİTMA İLE ÇÖZÜMÜ**

**ÖZET**

Bir iş atölyesinde, her işin önceden belirlenmiş bir rotası vardır. Pratikte, işin gidişatının önemsiz hale gelip karar vermenin programcıya kalması durumu çoğunlukla gerçekleşir. İşin gidişatı açık uçlu olduğu zamanlarda model, bir açık atölye çizelgeleme olarak adlandırılır (Pinedo, 2008). Açık atölye çizelgeleme problemlerinin birçok türü, NP-Zor olarak bilinmektedir. Açık atölye çizelgeleme modeli, birçok gerçek çizelgeleme çevresinde meydana gelmesi nedeniyle oldukça fazla araştırma ilgisi toplamış ve açık atölyelerin seri olmayan çizelgeleri üzerinde birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmada, açık atölye tipi çizelgeleme problemlerinin çözümü için metasezgisel yöntemlerden olan ve yapay zekâ tekniklerinden kabul edilen, paralel doyumsuz algoritma önerilmiştir. Hazırlanan program yardımı ile belirlenen açık atölye tipi çizelgeleme problemi için optimale yakın çözümler araştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Açık Atölye Çizelgeleme, Metasezgisel Yöntemler, Paralel Doyumsuz Algoritma, Kıyaslama Problemleri, Tamamlanma Zamanı

**PARALLEL GREEDY METAHEURISTIC ALGORITHM FOR SOLVING OPEN SHOP SCHEDULING PROBLEM**

**ABSTRACT**

In a job shop each job has a fixed route that is predetermined. In practice, it often occurs that the route of the job is immaterial and up to the scheduler to decide. When the routes of the jobs are open, the model is referred to as an open shop (Pinedo, 2008). Lots types of open shop scheduling problems are known to be NP-hard. Open shop scheduling problem has received much attention due to its practical importance and lots of studies are made in the literature. In this study a parallel greedy metaheuristic algorithm (also known an artificial intelligence method) is proposed. The benchmark open shop scheduling problem is solved by proposed parallel greedy algorithm and the best results are researched.

**Keywords:** Open Shop Scheduling, Metaheuristic Methods, Parallel Greedy Algorithm Benchmark Problems, Makespan

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Açık atölye çizelgeleme problemleri birçok şekilde ortaya çıkmaktadır. En çok imalat sektöründe, makine çizelgeleme ve iş sıralama problemleri ile karşılaşılrsa da, imalat endüstrisinin dışında elektrik endüstrisinde, hizmet sektöründe ve yönetim problemlerinde de uygulama alanı bulmaktadır. Açık atölye çizelgeleme problemlerinin birçok türü, NP-zor olarak bilinmektedir. Açık atölyelerin önceliği olmayan çizelgelemeleri üzerinde birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalar aşağıda özetlenmiştir. Munier-Kordon ve diğ. (2010) birim-zaman operasyonları çizelgeleme problemlerini, iki makineli bir açık atölye çevresi üzerinde ve negatif olmayan zaman gecikme faktörleri ile açıklamışlardır. Minimize kriteri olarak, toplam tamamlanma zamanı seçmişlerdir. Roshanaei ve diğ. (2010) tamamlanma zamanının minimizasyonu için her bir makinede sistem zamanları sınırlı-bağımlı olan önceliksiz açık atölye çizelgeleme problemlerini dikkate almışlardır. Araştırmalarında, iki meta sezgisel yöntem önermişlerdir. Bunlar, çok yönlü tavlama benzetimi ve melez tavlama benzetimidir. Literatürde yer alan, Taillard'ın kıyaslama problemlerini önerdikleri yöntemlerle çözmüşlerdir. Naderia ve diğ. (2010), tamamlanma zamanı minimizasyonlu açık atölye çizelgeleme problemini dikkate almışlardır. Dört tane yapısal sezgisel yöntem sunmuşlardır. Önerilen algoritmaların etkililiğini test etmek için iyi bilinen üç kıyaslama problemini dikkate almışlardır. Brasel ve diğ. (2008) toplam tamamlanma zamanlarının ve iş akış zamanlarını minimum yapmak için bir açık atölye ortamında,  $m$  makine ve  $n$  işten oluşan çizelgeleme problemlerini dikkate almışlardır. Polinomal olmayan bu problemler için farklı sezgisel algoritmalar geliştirmişlerdir. Senthilkumar ve Shahabudeen (2006) tamamlanma zamanı kriterli, açık atölye çizelgeleme problemlerinin çözümü için bir genetik algoritma önermişlerdir. Sedeno-Noda ve diğ. (2006) zaman pencereli seri açık atölye çizelgeleme problemlerini dikkate almışlardır. Liaw (2005) toplam gecikmeyi minimize etmek için önceliksiz açık atölye çizelgeleme problemlerini incelemiştir. Bunlar, polinomial olmayan zor (NP-hard) problemler olarak bilinmektedir. Büyük çaplı problemleri çözmek için etkili bir sezgisel yöntem geliştirmiştir. Blazewicz ve diğ. (2004) çizelgeleme problemleri için klasik olmayan performans ölçütlerini kullanmışlardır. Layzewicz ve Pesch (2003) çalışmalarında çizelgeleme problemleri için geç iş kriteri ile klasik olmayan performans ölçütlerini dikkate almışlardır. Akker ve diğ. (2003) İki makineli açık atölye çizelgeleme problemlerini dikkate almışlardır. Cheng ve diğ. (2002) çalışmalarında, toplam tamamlanma zamanı performans kriterli açık atölye çizelgeleme problemlerini dikkate almışlardır. Bu problemler iki makineli durumlar için polinomial olmayan zor problemler olarak bilinmektedirler. Problemlerin çözümü için dal-sınır ve sezgisel algoritmalar önermişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, sezgisel yöntemlerin büyük ölçekli problemlerin çözümünde ve dal-sınır algoritmasının da küçük ölçekli problemlerin çözümünde iyi performans sergilemiştir. Drobouchevitch ve Strusevich (2001) çalışmalarında, açık atölye çizelgeleme problemlerini, her bir işin en çok iki operasyonu kapsadığı ve iki ve daha fazla makineden oluşan ve darboğaz makine olan çizelgeleme problemlerini düşünmüşlerdir. Konno ve Ishii (2000) belirsiz kaynaklı ve sürekli açık atölye çizelgeleme problemini dikkate almışlardır. Problemlerin çözümü için hızlı ve verimli çalışan bir algoritma sunmuşlardır. Liaw (2000) açık atölye çizelgeleme probleminin çözümü için melez bir genetik algoritma önermiştir. Önerilen melez algoritma, tabu araştırmasına dayanan yeni bir gelişim prosedürünü içermiştir. Schuurman ve Woeginger (1999) tamamlanma zamanı kriterli çok aşamalı açık atölye çizelgeleme problemlerini incelemiştir. Drobouchevitch ve Strusevich (1999) toplam tamamlanma süreli performans

kriterli üç makineli açık atölye çizelgeleme problemini dikkate almışlardır.

Bu araştırmada, açık atölye tipi çizelgeleme problemlerinin çözümü için metasezgisel yöntemlerden olan ve yapay zekâ tekniklerinden kabul edilen, paralel doyumsuz algoritma, literatürde ilk defa önerilmiştir. Hazırlanan program yardımı ile belirlenen açık atölye tipi çizelgeleme problemleri için optimale yakın çözümler araştırılmıştır.

## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Açık atölye çizelgeleme problemlerine, en çok imalat sektöründe, makine çizelgeleme ve iş sıralama problemleri olarak karşılaşılmaktadır. Açık atölye çizelgeleme problemleri, imalat endüstrisinin dışında, elektrik endüstrisinde, hizmet sektöründe ve yönetim problemlerinde de uygulama alanı bulmaktadır. Açık atölye çizelgeleme problemlerinin birçok türü, NP-zor olarak bilinmektedir. Bu çalışmada, açık atölye tipi çizelgeleme problemleri için metasezgisel yöntemlerden olan ve yapay zekâ tekniklerinden kabul edilen, paralel doyumsuz algoritma ile optimal veya optimale yakın çözümler araştırılmıştır.

## 3. AÇIK ATÖLYE TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ (OPEN SHOP SCHEDULING PROBLEMS)

Açık atölye çizelgeleme, operasyonları herhangi bir sıra ile yapılabilen genel atölye çizelgeleme problemlerinin bir çeşididir. Açık atölye çizelgeleme modeli, birçok gerçek çizelgeleme çevresinde meydana gelmesi nedeniyle oldukça fazla araştırma ilgisi toplamıştır. Atölye çizelgeleme problemleri, sanayi ürünlerinin süreçlerini modellemede geniş bir şekilde kullanılır. Genel açık atölye çizelgeleme modelinde, verilen makinelerin tümünde veya birkaçında bir kaç operasyonu kapsayan her bir iş süreçlendirilir. Her bir iş için operasyon sırası kısıtlı değildir ve seçilebilir. Müsaade edilen farklı işler, farklı yollara (rotalara) tayin edilebilir. Tüm problemlerde performans kriteri olarak tamamlanma süresinin minimizasyonu dikkate alınır. Modellerde makine numaraları keyfidir ve her bir işin operasyonlarından biri belirli bir makinede süreçlendirilmek zorundadır. Bu problemler Gonzalez ve Sahni tarafından ortaya koyulmuştur (Drobouchevitch ve Strusevich, 2001)

Genel problem karakteristiği aşağıdaki gibidir;  $n$  bağımsız işleri ve  $m$  farklı makineleri verilmiş olsun. Her  $i$  işi ( $i=1, 2, \dots, n$ ),  $P_{ij}$  zaman üniteleri için  $j$  makinesi üzerinde,  $i$  işini  $O_{ij}$  ( $O_{ij}, j=1, 2, \dots, m$ ) operasyonunun süreçlenmesi gereken  $m$  operasyonlarını içerir (Liaw, 2004). Her makine bir zamanda en fazla bir operasyon süreçleyebilir; aynı işin iki operasyonunu aynı anda süreçleyemez. Aynı işin operasyonları herhangi bir düzen içerisinde süreçlenebilir. Önceliğe izin verilebilir, yani herhangi bir operasyonun süreci keyfi olarak sık sık kesilebilir ve başka bir zamanda yeniden süreçlendirilebilir. Her  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) işi sıfır anında mevcuttur ve gerekli bir  $d_i$  teslim tarihine sahiptir. Hedef mümkün bir çizelgeleme bulmaktır. Bu problemler polinomal olmayan zor (NP-hard) problemler olarak bilinirler (Liaw, 2004).

## 4. PARALEL DOYUMSUZ ALGORİTMALAR (PARALLEL GREEDY ALGORITHMS)

Doyumsuz algoritmalar (DA), sadece şu an için elinde olan bilgiyle, bu bilginin gelecekte ne gibi etki doğuracağını tam düşünmeden, karar alan bir algoritmadır. İşlem adımlarında, şu an için mantıklı gözükken bir karar, belki de gelecek durumlar için daha kötü bir sonuç doğurabilecektir. DA çalışırken çözüme küçük adımlarla yaklaşır ve her adım sonunda birden çok seçenek çıkabilir. Algoritma, her adımda bu seçeneklerden en iyi olanını seçer. Her zaman en iyiyi seçerek ilerlemek, sonuçta optimum

çözümün elde edilmesini sağlayabilir. Ama bu her zaman için geçerli olmayabilir (Öztürk, 2007).

Doğrusuz Algoritma genellikle iki aşamada uygulanır. Bunlar; yıkım ve inşa aşamalarıdır. Yıkım aşaması süresince bazı işler, bulunan çözümlerden çıkartılır. İnşa aşamasında ise; önceden çıkartılmış işler, inşa yöntemleri kullanılarak iş sırasına tekrar alınır.

Yıkım aşaması,  $n$  tane işin  $\pi$  iş sırasında uygulanır ve algoritma,  $n$  tane işten rastgele ve tekrarlansız bir şekilde  $d$  tane iş seçer. Bu  $d$  tane iş,  $\pi$  iş sırasından sırayla çıkartılır (Ruiz ve Stütze 2007). Bu sürecin sonucunda iki alt küme elde edilir. İlk alt küme,  $n-d$  iş sayılı  $\pi_D$  iş sırasından oluşur. İkinci alt küme ise  $d$  iş sayılı  $\pi_R$  iş sırasından oluşur. Bu  $\pi_R$  iş sırası,  $\pi_D$  iş sırasının içine tekrar ve sırayla yerleştirilir (Ruiz ve Stütze, 2007).

Doğrusuz algoritmanın çizelgeleme problemlerinde kullanımı ile ilgili son yıllarda yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir. Kahraman ve diğ. (2010) çok prosesli esnek akış tipi çizelgeleme problemlerinin çözümünde paralel doğrusuz algoritmayı kullanmışlardır. Baraz ve Mosheiov (2008) makine aylak zamanlarının olmadığı ve tamamlanma zamanlı akış tipi çizelgeleme problemlerinin çözümü için doğrusuz bir sezgisel algoritma önermiştir. Ruiz ve Stütze (2007) permütasyon akış tipi çizelgeleme problemlerinin çözümü için iteratif bir doğrusuz algoritma önermişlerdir. Önermiş oldukları algoritma iki aşamalı olarak işlem görmektedir. Bunlar yıkım ve inşa aşamasıdır. Suriyaarachchi ve Wirth (2004), yaygın teslim zamanları için toplam en erken ve geç teslim zaman maliyetlerinin minimize edilmesi için tek işlemci üzerinde iş çizelgeleme probleminin doğrusuz algoritma ve genetik algoritma ile yapılan çözümlerini karşılaştırmışlardır. Aiex ve diğ. (2003), iş çizelgeleme problemlerinin çözümü için döngüsel rotalı paralel doğrusuz arama işlemli bir metot kullanmışlardır.

##### 5. UYGULAMA (APPLICATION)

Açık atölye tipi çizelgeleme problemlerinin çözümü için önerilen paralel doğrusuz algoritma adımları aşağıda kısaca özetlenmiştir:

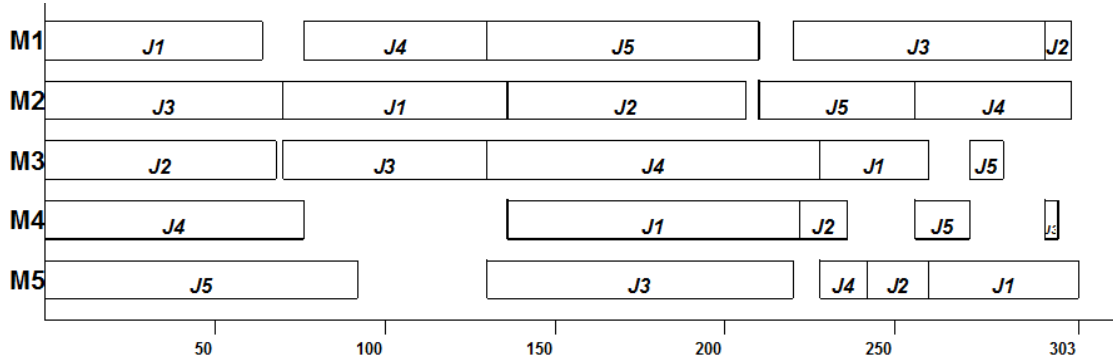
1. **Adım:** Çözüm parametrelerinin belirlenmesi; Başlangıç popülas-yonu, alt grup sayısı, iterasyon sayısı.
2. **Adım:** Başlangıç popülâsyonun oluşturulması
3. **Adım:** Popülâsyonun iki alt popülâsyona ayrıştırılması
4. **Adım:** Yıkım işleminin gerçekleştirilmesi
5. **Adım:** İnşa işleminin gerçekleştirilmesi
6. **Adım:** Amaç fonksiyonunu gerçekleştiren en iyi stratejinin seçimi
7. **Adım:** İterasyon sayısı kadar işlemleri tekrarlayıp uygun sonuca ulaşma.

Bu çalışmada, literatürde yer alan ve Fang ve diğ. (1993), tarafından kullanılan, 5-iş x 5- makine açık atölye çizelgeleme problemi dikkate alınmıştır. Çözülen problemin işlem süreleri Tablo 1'de sunulmuştur.

Kıyaslama probleminin paralel doğrusuz algoritma ile çözümünde, başlangıç popülasyonu 10, iterasyon sayısı 100 olarak seçilmiştir. Paralel doğrusuz algoritma ile çözülen açık atölye tipi çizelgeleme probleminin Gantt şeması, Şekil 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Örnek problem işlem süreleri (5-iş x 5- makine)  
(Table 1. The processing times for proposed problem (5-jobx5-machine))

İşler \ Makine	Makine				
	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>
J <sub>1</sub>	64	66	31	85	44
J <sub>2</sub>	7	69	68	14	18
J <sub>3</sub>	74	70	60	1	90
J <sub>4</sub>	54	45	98	76	13
J <sub>5</sub>	80	45	10	15	91



Şekil 1. 5x5 Açık atölye tipi çizelgeleme probleminin Gantt diyagramı  
(Figure 1.The Gantt chart for open shop scheduling problem)

5-iş x 5-makine probleminin paralel doyumsuz algoritma ile çözümünde, tamamlanma zamanı,  $C_{max}=303$  olarak hesaplanmıştır. İlgili problem için elde edilen tamamlanma zamanının en iyi çözüme göre %Sapma değeri, aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

$$\%Sapma = \frac{(303 - 300)}{300} \times 100 = 1.00 \quad (1)$$

Açık atölye çizelgeleme probleminin paralel doyumsuz algoritma ile çözümünde optimum değere yakın sonuçlar elde edilmiştir.

## 6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Açık atölye çizelgeleme problemleri, gerçek hayattaki makine çizelgeleme ve iş sıralama problemlerinde çokça karşılaşıldığından dolayı pek çok çizelgeleme araştırmacısının yoğun ilgisini görmüş ve bu çizelgeleme problemleri üzerinde pek çok çalışma yapılmıştır.

Yapılan bu araştırmaların sonucunda görülmüştür ki açık atölye çizelgeleme problemlerinin büyük bir çoğunluğu polinomal olmayan zor (NP-hard) problemlerdir. Açık atölye çizelgeleme problemlerinde optimum çizelgelemeye ulaşmak oldukça zor bir iştir. Bu nedenle açık atölye çizelgeleme problemlerinde maksimum tamamlanma zamanını minimize etmek için, araştırmacılar tavlama benzetimi algoritması, tabu araştırması, melez genetik algoritması, genetik algoritma ve dal ve sınır algoritmaları olmak üzere bir kaç sezgisel ve kesin yöntemler sunmuşlardır. Bu araştırmada da açık atölye tipi çizelgeleme problemlerinin çözümü için paralel doyumsuz algoritma ilk defa önerilmiştir. Elde edilen sonucun, en iyi çözüme göre %1 sapma gösterdiği belirlenmiştir. Paralel doyumsuz algoritmalarda yapılacak parametre optimizasyonu yardımıyla, açık atölye tipi çizelgeleme problemlerine oldukça başarılı sonuçlar bulunacağı düşünülmektedir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Aiex, R.M., Binato, S., and Resende, M.G.C., (2003). Paralel Druai with Path-Relinking for Job Shop Scheduling, *Parallel Computing*, 29, 393-430.
2. Akker, M.V., Hoogeveen, H., and Woeginger, G.J., (2003). The Two-Machine Open Shop Problem: to Fit or not to Fit, That is the Question, *Operations Research Letters* 31, 219 - 224.
3. Baraz, D. and Mosheiov, G., (2008). A Note on a Greedy Heuristic for Flow Shop Makespan Minimization with no Machine Idle-Time, *European Journal of Operational Research* 184, 810-813.
4. Blazewicz, J., Pesch, E., Sterna, M., and Werner, F., (2004) Open Shop Scheduling Problems with Late Work Criteria, *Discrete Applied Mathematics* 134, 1- 24.
5. Brasel, H., Herms, A., Morig, M., Tautenhahn, .T, Tusch, J., and Werner, F., (2008). Heuristic Constructive Algorithms for Open Shop Scheduling to Minimize Mean Flow Time, *European Journal of Operational Research* 189, 856-870.
6. Cheng, C.Y., Liaw, C.F., and Chen, M., (2002). The Total Completion Time Open Shop Scheduling Problem with a Given Sequence of Jobs on One Machine, *Computers and Operations Research* 29,1251-1266.
7. Drobouchevitch, I.G. and Strusevich, V.A., (1999). A Polynomial Algorithm for the Three-Machine Open Shop with a Bottleneck Machine, *Annals of Operations Research* 92, 185-210.
8. Drobouchevitch, I.G. and Strusevich, V.A., (2001). Two-Stage Open Shop Scheduling with a Bottleneck Machine, *European Journal of Operational Research* 128,159-74.
9. Fang, H.L., Ross, P., and Corne, D., (1993). A Promising Genetic Algorithm Approach to Job-Shop Scheduling, Rescheduling, and Open-Shop Scheduling Problems, *Proceedings of the Fifth International Conference on Genetic Algorithms*, S, Forrest (ed.), San Mateo: Morgan Kaufmann, pages 375-382.
10. Kahraman, C., Engin, O., Kaya, I., and Öztürk, R.E., (2010) Multiprocessor Task Scheduling Hybrid Flow-Shops: A Parallel Greedy Algorithm Approach, *Applied Soft Computing Journal*, Article in press.
11. Konno, T. and Ishii, H., (2000). An Open Shop Scheduling Problem with Fuzzy Allowable Time and Fuzzy Resource Constraint, *Fuzzy Sets and Systems* 109, 141-147.
12. Layzewicza, J.B. and Pesch, E., (2003). Open Shop Scheduling Problems With Late Work Criteria, *Discrete Applied Math* 45-62.
13. Liaw, C.F., (2005). Scheduling Pre-emptive Open Shops to Minimize Total Tardiness, *European Journal of Operational Research* 162,173-183.
14. Liaw C.F., (2000). A Hybrid Genetic Algorithm for the Open Shop Scheduling Problem, *European Journal of Operational Research* 124, 28-42.
15. Liaw, C.F., (2004). Scheduling Two-Machine Pre-emptive Open Shops to Minimize Total Completion Time, *Computers & Operations Research* 31,1349-1363.
16. Öztürk, R.E., (2007). Esnek Akış Tipi ve Çok İşlemcili Esnek Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Paralel Doyumsuz Algoritma ile Çözümü, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi.
17. Munier, K.A. and Rebaine, D., (2010). The Two-Machine Open-Shop Problem with Unit-Time Operations and Time Delays to Minimize the Makespan, *European Journal of Operational Research* 203, 42-49.

18. Naderia, B., Fatemighomia, S.M.T., Aminnayeria, M., and Zandieh, M., (2010). A Contribution and New Heuristics for Open Shop Scheduling, *Computers & Operations Research*, *Computers & Operations Research* 37, 213-- 221
19. Pinedo, M.J., (2008). *Theory, Algorithms, and Systems, Scheduling*, Third Edition.
20. Roshanaei, V., Esfehiani, M.M.S., and Zandieh, M., (2010). Integrating Non-Pre-emptive Open Shops Scheduling with Sequence-Dependent Setup Times Using Advanced Metaheuristics, *Expert Systems with Applications* 37, 259-266.
21. Ruiz, R. and Stützle, T., (2007). A Simple and effective iterated greedy algorithm for permutation flowshop scheduling problem, *European Journal of Operational Research* 177, 2033-2049.
22. Schuurman, P. and Woeginger, G.J., (1999). Approximation Algorithms for the Multiprocessor Open Shop Scheduling Problem, *Operations Research Letters* 24, 157-163.
23. Sedenov, N.A., Alcaide D., and Gonzalez, M.C., (2006). Network Flow Approaches to Pre-Emptive Open-Shop Scheduling Problems with Time-Windows, *European Journal of Operational Research* 174, 1501-1518.
24. Senthilkumar, P. and Shahabudeen, P., (2006). Genetic Based Heuristic for the Open Job Shop Scheduling Problem, *Int J Adv Manuf Technol* 30: 297-301.
25. Suriyaarachchi, R.H. and Wirth, A., (2004). Earliness/Tardiness Scheduling with a common due date and family setups, *Computers & Industrial Engineering*, 47, 275-288.