

SIRA BAĞIMLI HAZIRLIK OPERASYONLARI İÇİN TEK EKİPLİ PARALEL MAKİNALARDA ÇİZELGELEME PROBLEMİNE KARMA YAKLAŞIM

A. Kürşad TÜRKER^a, Çağrı SEL^b

^aKırıkkale Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, Türkiye

^bDokuz Eylül Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Buca, 35160 İzmir, Türkiye

kturker@kku.edu.tr, cagri.sel@deu.edu.tr

(Geliş/Received: 13.07.2011; Kabul/Accepted: 03.10.2011)

ÖZET

Bu çalışmada; paralel makinelerde hazırlık süresinin sıra bağımlı olduğu, bir başka ifadeyle işin hazırlık süresinin bir önceki işe bağlı olarak farklılık gösterdiği ve hazırlık operasyonlarının bir ekip tarafından gerçekleştirildiği, iş çizelgeleme probleminin tamamlanma süresini en küçükleyecek sezgisel bir yaklaşım sunulmuştur. Problem çözümü için genetik algoritma ve tabu arama yaklaşımlarını birlikte kullanan bir yaklaşım önerilmiştir. İlk olarak, genetik algoritma ile problemin başlangıç çözümü elde edilmiş ve sonrasında daha iyi çözümler elde etmek için tabu arama yöntemi kullanılmıştır. Bu yaklaşımın performansı, rastgele arama yöntemi sonuçları ile kıyaslanarak analiz edilmiştir. Sonuç olarak, önerilen yaklaşımın, $P2,S|STsd|Cmax$ probleminde etkin olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Paralel makine çizelgeleme, Sıra bağımlı hazırlık süreleri, Tek hazırlık ekibi, Genetik algoritma, Tabu arama

A HYBRIT APPROACH ON SINGLE SERVER PARALLEL MACHINES SCHEDULING PROBLEM WITH SEQUENCE DEPENDENT SETUP TIMES

ABSTRACT

In this paper, a scheduling problem on two identical parallel machines with sequence-dependent setup times and setup operations that performed by a single server is considered. The main objective is to minimize the makespan of the schedule. For solution procedure, an algorithm combining genetic algorithm and tabu search methodology is proposed. Firstly, the algorithm finds an initial solution using genetic algorithm module. Then, tabu search module is applied to the solution of genetic algorithm in order to find better solution. The performance of the algorithm is analyzed by comparing the results with the random search results. It has been seen that the proposed algorithm is effective to solve $P2,S|STsd|Cmax$ scheduling problem in reasonable time, and the results are close to optimum solution values.

Keywords: Parallel machine scheduling, Sequence dependent setup times, Single server, Genetic algorithm, Tabu search

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Döküm, tekstil, gıda, matbaa ve baskı gibi birçok sektörde, paralel makinelerle üretim gerçekleştirilmektedir. İşlerin doğru sırada kaynaklara atanması, bu tip üretim sistemlerinin amaçlarını optimize etmesini ve hedeflerini gerçekleştirmesini mümkün kılmaktadır.

Paralel makine problemlerinde hazırlık süresi içermeyen temel çizelgeleme çözümleri gerçekleştirmek için birçok yaklaşım mevcuttur.

Bunun yanı sıra hazırlık sürelerinin mevcut olduğu paralel makine çizelgeleme problemleri de araştırmalara yaygın şekilde konu olmaktadır. Çalışmaların büyük bir bölümünde araştırmacılar hazırlık operasyonlarını gerçekleştiren ekiplerin

sayısını bir kısıt olarak almadıklarından, hazırlık sürelerini işlem sürelerine dahil ederek çözüm üretmişlerdir. Hazırlık operasyonlarını gerçekleştiren ekiplerin sayısı problem kısıt olarak ilave edildiğinde, ekip aynı anda sadece bir makinenin hazırlık operasyonlarını gerçekleştirebileceğinden, bazen makinenin ekibi beklemesinden kaynaklanan gecikmelere yol açmaktadır. Paralel makinelerde, bu tür hazırlık operasyonlarının çakışması sistemin performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Ekip sayısı kısıtının ilavesi problemin karmaşıklığını daha da arttırmaktadır. Abdekhodae ve diğerleri (2002) sıra bağımsız hazırlık sürelerinin mevcut olduğu tek ekip paralel makine problemi için bir tamsayı programlama modeli sunmaktadır ve problemin ağır bir NP-Hard problem olduğunu vurgulamaktadır.

Son zamanlarda, sıra bağımlı hazırlık sürelerinin mevcut olduğu çizelgeleme problemlerine artan bir ilgi söz konusudur. Fakat çalışmada sunulan özdeş paralel makinelerin, tek işlemcinin, sıra bağımlı hazırlık sürelerinin olduğu çizelgeleme problem üzerine çok az sayıda çalışma mevcuttur.

Bu çalışmada, sıra bağımlı hazırlık sürelerinin mevcut olduğu daha da karmaşık NP-Hard bir probleme genetik algoritma ve tabu arama metodolojilerini birlikte kullanarak çözüm aranmış ve daha kısa zamanda optimum çözüme yaklaşılmıştır. Bu karmaşık problemin çözümünün etkinliğini ortaya koymak için sonuçlar rastgele arama algoritması ile kıyaslanmıştır.

Çalışmanın kalan kısmında; Bölüm 2 de literatür taraması verilmiş, Bölüm 3 de problemin karakteristikleri ortaya koyulmuş, Bölüm 4 de genetik algoritma ve bileşenleri sunulmuştur. Bölüm 5'de tabu arama modülünün yapısı açıklanmıştır, Bölüm 6 da sayısal sonuçlar açıklanmıştır ve son olarak Bölüm 7 de problemin çözüm stratejisini iletirmek için sonuçlar ve ileriki çalışmalar tartışılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE REVIEW)

Hazırlık sürelerinin mevcut olduğu çizelgeleme problemleri üzerine ilk kapsamlı literatür taraması A. Allahverdi ve diğerleri (1999) tarafından gerçekleştirilmiştir. 1960'ların ortalarından 1999'a kadar olan çalışmaların bulunduğu bu çalışmada çizelgeleme araştırmalarının çoğunun hazırlık sürelerini ihmal ettiği veya işlem sürelerinin bir parçası olarak değerlendirildiği ortaya çıkmaktadır. Bu varsayımlar analizi kolaylaştırırken çoğu uygulamada çözüm kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Sonuç olarak paralel makine çizelgeleme problemlerinin genellikle sıra bağımlı hazırlık süreleri olmaksızın çalışıldığı ve sıra bağımlı hazırlık operasyonlarını içeren paralel makine çizelgeleme araştırmalarına ihtiyaç olduğu vurgulanmaktadır.

Allahverdi ve diğerleri (2008) tarafından sunulan ikinci literatür araştırması hazırlık süresinin mevcut olduğu modeller için 1999'dan 2006'ya kadar geniş çizelgeleme literatürü ortaya koymaktadır. Sonuç olarak sıra bağımsız, sabit ve eşit hazırlık süreleri ile tek servis ekibinin mevcut olduğu paralel makine çizelgeleme problemleri hesaplanması zor problemler olarak değerlendirilmiş ve sıra bağımlı hazırlık sürelerinin söz konusu olduğu problemleri çözenin, sıra bağımsız hazırlık sürelerine nazaran daha zor olduğu ortaya çıkmıştır.

Sıra bağımlı hazırlık sürelerinin mevcut olduğu hangi işin hangi makineye atanacağını belirli olduğu paralel makine problemleri üzerine yapılan çalışmalardan biri Guinet (1993) tarafından sunulmuştur. Çalışmada tartışılan problem makinelerde duruşuz bir süreç sağlayacak uygun çizelgenin elde edilmesidir. Yani maksimum veya ortalama tamamlanma zamanının minimizasyonu amaçlanmaktadır. Bu amaçla, Macar algoritmasını kullanan yeni bir atama algoritması geliştirilmiştir.

Diğer bir paralel makine problemi Sivrikaya ve Ulusoy (1999) tarafından ele alınmıştır. Erken teslim ve gecikme cezalarının mevcut olduğu bir paralel makine problemi detaylı olarak incelenmiştir. Çalışmanın temel amacı sıra bağımlı hazırlık sürelerinin olduğu çizelgeleme probleminde erken teslim ve gecikmeden kaynaklanan cezaların en küçüklenmesidir. Probleme işlerin teslim zamanları birbirinden farklı ve her bir iş farklı hazır olma zamanına (ready time) sahiptir. Problemin çözümü için iki farklı genetik algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritmaların ilki çok bileşenli kromozom gösterimi ve bu yapı için uygun bir çaprazlama operatörünü içeren bir genetik algoritmadır. İkinci metod ise bir çaprazlama operatörü içermemektedir. 960 rastgele problemin denenmesinin sonucunda genetik algoritmanın problemin çözümü için etkili bir yöntem olduğu bulunmuştur. Sonuç olarak, ilk genetik algoritma yapısının karmaşık ve büyük ölçekli problemlerin çoğu için daha iyi sonuç verdiği ortaya çıkmaktadır.

Kurz ve Aşkın (2001) çoklu işlem istasyonlarının paralel olarak kullanılmasının kesin kapasiteyi belirlemek için yaygın bir strateji olduğunu vurgulamaktadır. Ayrıca, hazırlık operasyonlarının ürün değişimi için önemli olduğunu ortaya atmaktadır. Temel amaç sıfır olmayan hazır olma süresi ve sıra bağımlı hazırlık sürelerinin mevcut olduğu durumda maksimum tamamlanma süresini minimizasyonudur. Bir tamsayı programlama modeli geliştirilmiş ve bu model sezgiseller, genetik algoritmalar ve gezgin satıcı problemi ile kıyaslanmıştır. Sonuç olarak, en iyi sonucu elde etmek için bir sezgisel geliştirilmiştir.

Gendreau ve diğerleri (2001), Mendes ve diğerleri

(2002) benzer bir $P|STsd|Cmax$ hazırlık sürelerinin mevcut olduğu paralel makine problemini ele almışlardır. Gendreau ve diğerleri (2001) parçala ve birleştir sezgiseli kullanmışlardır. Ayrıca, problemleri için alt sınır değerlerinin hesaplanmasında bazı metotlar önermişlerdir. Sezgiselleri tabu arama sezgiseli ile kıyaslanmıştır. Kıyaslamaların sonucunda sezgisellerinin benzer kalitede çözümleri üretmede daha hızlı olduğu belirlenmiştir. Mendes ve diğerleri (2002) iki farklı sezgisel önermişlerdir. Bunlardan ilki tabu arama tabanlı bir algoritmadır ve ikincisi popülasyon tabanlı metotla yerel arama prosedürlerinin birleşimi olan bir memetik algoritmadır. Deneysel testlerin sonuçları memetik algoritmanın hazırlık sürelerinin işlem sürelerinden küçük olduğu durumlarda etkin olduğunu göstermiştir. Ayrıca, çok makine ve büyük hazırlık süreleri içeren problemler için memetik algoritmadan daha iyi sonuçlar veren bir tabu arama algoritması geliştirilmiştir.

Kim ve diğerleri (2003) işlem süreleri, teslim süreleri, ağırlıklar ve sıra bağımlı hazırlık süreleri içeren paralel makine probleminde toplam ağırlıklı gecikmenin en küçüklenmesi için bir sezgisel sunmuşlardır. Bu sezgisel üçüncü aşamasının bir tabu algoritması olduğu dört aşamadan oluşmaktadır. Kıyaslama sonucunda, önerilen sezgisel, diğer mevcut sezgisellerden kayda değer şekilde daha iyi çıkmıştır.

Kim ve Shin (2003) $P|STsd,rj|Lmax$ probleminin özdeş ve özdeş olmayan makinelerin olduğu her iki durumda sonuçlarını elde etmek için kısıtlandırılmış bir tabu arama algoritması geliştirmişlerdir. Çözüm stratejisinin amacı işlerin maksimum gecikmesinin minimum değerini elde etmektir. Her bir işin hazır olma süreleri ve teslim süreleri vardır. Ayrıca değişim operasyonları için sıra bağımlı hazırlık süreleri mevcuttur. Sonuç olarak kısıtlandırılmış arama algoritması, arama performansını etkin olmayan çözümlerin elenmesi ile kayda değer şekilde iyileştirmektedir. Deneysel sonuçlar önerilen algoritmanın diğer sezgisellerden çok daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir.

Bilge ve diğerleri (2004) özdeş paralel makinelerde sıra bağımlı hazırlık süreleri ve bağımsız iş setleri içeren $P|STsd,rj|Tj$ problemi için bir tabu arama algoritması düşünmüşlerdir. Ana amaç toplam gecikme süresinin en küçüklenmesidir. İşlerin özdeş olmayan teslim süreleri ve varış zamanları vardır. Tabu aramanın aday listesi stratejileri, tabu sınıflandırmaları, tabu süresi ve çeşitlilik gibi birkaç anahtar bileşenini incelemişlerdir ve bu bileşenler için en iyi değerleri belirlemişlerdir. Sezgisellerini Sivrikaya-Serifoglu ve Ulusoy (1999) tarafından geliştirilen genetik algoritma ile erken teslim sürelerinin sıfır olduğu durumda kıyaslamışlardır ve sezgiselleri mevcut sezgisellerden daha iyi sonuç vermiştir.

Wilson ve diğerleri (2004) mobilya üretiminde kesme ve dikim işlemleri için bir çizelgeleme problemi üzerine çalışmışlardır. Etkili bir çizelge yardımıyla toplam tamamlanma zamanının en küçüklenmesi çalışmanın temel amacıdır. Üretim süreci iki aşama içermektedir ve bu iki aşamadan her birinde akış hattında işlem gören özdeş paralel makineler mevcuttur. Çoklu hazırlık işlemleri içeren ikinci üretim aşaması için bir sezgisel geliştirilmiştir. Sezgisel her bir aşamada her bir grup için tek bir hazırlık süresi ile kıyaslanmış ve bir genetik algoritmaya eklenmiştir. Çalışmanın sonuçları sezgiselin tamamlanma süresini kayda değer şekilde iyileştirirken minimum hazırlık sürelerini çizelgeye etkili bir şekilde eklediğini göstermektedir.

Abdekhodae ve diğerleri (2006) bölünmesine izin verilmeyen işlerin mevcut olduğu durumda iki operasyonlu çizelgeleme problemi için yarı otomatik özdeş iki makine üzerine bir çözüm düşünülmüştür. Hazırlık işlemleri veya ilk operasyonları gerçekleştirmek için yalnızca bir servis ekibi mevcuttur. İkinci operasyon hazırlık işlemi olmadan otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. Çalışmanın temel amacı maksimum tamamlanma zamanının en küçüklenmesidir. İlk olarak eşit işlem ve hazırlık sürelerinin olduğu özel durumlar için çözüm stratejileri sunulmuştur. Bu özel durumlar gerçek problemle baş edebilmek için geliştirilmiştir. Sezgisel metotlar karmaşık problemin normal seviyeye indirilmesi ile kullanılabilir. Çalışmada bu gibi NP-Hard çizelgeleme problemlerini çözmek için önerilen ikinci yöntem ise genetik algoritmadır. Çalışmada ayrıca bu iki algoritmanın performans değerlendirilmesi yer almaktadır.

Huang ve diğerleri (2009) sıra bağımlı hazırlık sürelerinin ve tek servis ekibinin bulunduğu belirli paralel makine (hangi işin hangi makineye atanacağına belirli olduğu durum) çizelgeleme problemlerine çözüm üreten bir genetik algoritma sunmuşlardır. Amaç sistemin en küçük toplam tamamlanma süresini bulmaktır. Problem bir tamsayı programlama modeli olarak formüle edilmiştir. Problemin özel bir durumu çalışmada sunulmuştur. Bu özel durum işlerin gruplandırılması ve belirlenen makinelere atanması yardımıyla problemin karmaşıklığını azaltmaktadır. Genel durumları çözmek için greedy sezgiselini kullanan karma bir genetik algoritma geliştirilmiştir. Algoritma rastgele verilerle ve baskı (matbaa) endüstrisinden elde edilen gerçek veri setleri ile incelenmiştir. Deneylemlerin sonuçları her iki veri seti için de algoritmanın etkin ve verimli olduğunu göstermektedir.

$P2,S|STsd|Cmax$ problemi üzerine gerçekleştirdiğimiz önceki çalışmamızda problemin optimumuna yakın çözümlerle kabul edilebilir sürede çözülmesinde etkin bir genetik algoritma sunulmuştur. Bu çalışmada

Tablo1. Literatür taraması (Literature review)

Tarih	Başlık	Yazar	Problem
1993	Scheduling sequence dependent jobs on identical parallel machines	A. Guinet	$PD STsd Cmax$
1999	Parallel machine scheduling with earliness and tardiness penalties	F. Sivrikaya, G. Ulusoy	$Q STsd,r_j W_E\Sigma E_j + W_T\Sigma T_j$
2000	Tabu search for scheduling on identical parallel machines to minimize mean tardiness	V.A. Armentano, D.S. Yamashita	$P STsd \sim T_j$
2001	Heuristic scheduling of parallel machines with sequence dependent setup times	M. E. Kurz, R. G. Askin,	$P STsd, r_j Cmax$
2001	A divide and merge heuristic for the multiprocessor scheduling problem with sequence dependent setup times	M. Gendreau, G. Leporte, E. M. Guimaraes	$P STsd Cmax$
2002	Comparing meta-heuristic approaches for parallel machine scheduling problems	A. S. Mendes, F. M. Muller, P. M. Franca	$P STsd Cmax$
2003	A due date density based categorizing heuristic for parallel machines scheduling	S. S. Kim, H. J. Shin, D. H. Eom, C. O. Kim	$P STsd \Sigma W_j T_j$
2003	Scheduling jobs on parallel machines: a restricted tabu search approach	S. S. Kim, H. J. Shin	$P STsd, r_j Lmax$
2004	A tabu search algorithm for parallel machine total tardiness problem	U. Bilge, F. Kirac, M. Kurtulan, P. Pekgun	$P STsd, r_j \Sigma T_j$
2004	Scheduling non-similar groups on a flow line: multiple group setups	A. D. Wilson, R. E. King, T. J. Hodgson	$P STsi, r_j Cmax$
2006	Scheduling two parallel machines with a single server: the general case	A. H. Abdekhodae, A. Wirth, H. Gan	$P2,S STsi Cmax$
2009	Parallel dedicated machine scheduling problem with sequence dependent setups and a single server	S. Huang, L. Chai, X. Zhang	$PD,S STsd Cmax$
2010	Scheduling two parallel machines with sequence dependent setups and a single server	A. K. Turker, C. Sel	$P2,S STsd Cmax$

genetik algoritmalar ve tabu arama metodolojilerini birleştiren bir algoritma kullanılarak daha etkili çözümler üretilmiştir. Ayrıca, önerilen yapının çözüm üretmede öncekinden daha iyi olduğu bulunmuştur. Tablo 1 de çizelgeleme literatürü incelenmiş ve özet olarak sunulmuştur.

3. PROBLEMİN TANIMI (PROBLEM DEFINITION)

Bu makalede ele alınan problem sıra bağımlı hazırlık süresi olan ve hazırlık operasyonları için tek servis ekibinin mevcut olduğu, iki özdeş paralel makinede işlerin maksimum tamamlanma süresini minimize etmeyi amaçlayan çizelgeleme problemidir. Bu problem için iki farklı kısıt bulunmaktadır. Bu kısıtlardan biri her iş aynı anda sadece bir makinede işlem görebilmesi, yani her bir iş sadece iki makinenin birine işlem görmek üzere atanabilir.

Diğer bir kısıt ise, aynı anda servis ekibinin sadece bir hazırlık operasyonunu yapabilmesi kısıdıdır. Bu kısıtlar altında, işlerin makinelerdeki sıralaması, iş sırasına bağlı olarak ekibin hazırlık operasyonlarını

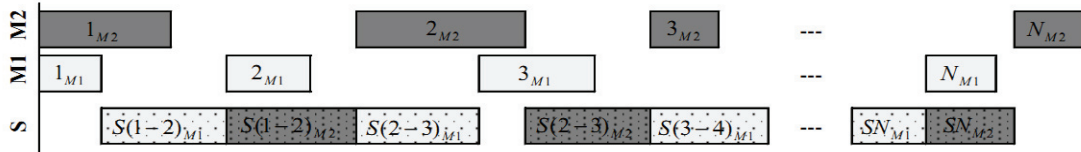
gerçekleştirme sırası ve hazırlık zamanının sıra bağımlı olması problemin önemli bileşenleridir.

Problemin ana amacı tamamlanma süresini minimize etmektir. Paralel makine problemi bir atama ve permütasyon problemidir. n işli bir problemde $n! \cdot 2^n$ alternatif içerisinden en düşük tamamlanma süresini verecek atamanın tespit edilmesine çalışılmaktadır. Optimum çözümde; işlerin makinelere toplam işlem sürelerine göre orantılı dağıtılmaları sağlanmalı, hazırlık süresini sıra bağımlı olduğundan toplamda en düşük hazırlık süresini verecek çizelgeleme bulunmalı ve hazırlık operasyonları için sadece bir ekibin mevcut olmasından dolayı paralel makinelerde aynı anda ihtiyaç duyulan hazırlık operasyonlarını mümkün olan en az noktaya çekebilecek şekilde olmalıdır. Bu durumlar problemin karmaşıklığını daha da arttırmaktadır.

Problemin şematik gösterimi Şekil 1’de gant şeması olarak gösterilmiştir. Kolaylık ve okunabilirlik için, problemin parametreleri ve notasyonları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Parametreler ve notasyonlar (Parameters and notations)

Sembol	Açıklaması	Sembol	Açıklaması
M	Makine seti $M=\{1,2\}$	S	Tek işlemci
J	İş seti $J=\{1,2,\dots,n\}$	r_j	Hazır olma süresi
$m(j)$	j işinin işlendiği makine	ST_{si}	Sıra bağımsız hazırlık zamanı
p_i	j işinin işlem zamanı	ST_{sd}	Sıra bağımlı hazırlık zamanı
s_{ij}	i işinden sonra yapılan j işinin hazırlık zamanı	$\sum E_j$	Toplam erken bitirme
P	Paralel makine	$\sum T_j$	Toplam gecikme
$P2$	Özdeş iki paralel makine	C_{max}	Tamamlanma zamanı
PD	Tahsis edilmiş paralel makineler	L_{max}	En büyük geç bitirme zamanı
Q	Tek tip paralel makine	$\sum w_j T_j$	Toplam ağırlıklı gecikme zamanı

**Şekil 1.** Problemin şematik gösterimi (Schematic representation of the problem)

4. GENETİK ALGORİTMA MEKANİZMASI (GENETIC ALGORITHM MECHANISM)

Genetik algoritma(GA) doğal seçim, doğal genetik ve genel metotlara dayanmaktadır. NP – zor çizelgeleme problemleri bu metot ile çözülebilmektedir. Genetik algoritmanın temeli üç ana bileşene dayanmaktadır. Birincisi çözüm alternatiflerinin tanımlandığı kromozom yapısıdır. İkincisi, her bir kromozomları içeren genler ki bunlar çözümün en küçük parçasıdır. Paralel makine çizelgeleme problemleri için, bu genlerde hem atama hem de permütasyon çözümleri bulunmaktadır. Bütün bu kompozisyonlar modelin örnek alanı olarak üçüncü bileşen olan popülasyonu oluştururlar. Özetle, genlerin kombinasyonu kromozomları, kromozomların kombinasyonu da popülasyonu oluşturmaktadır.

Burada uygulanan genetik algoritma için genel yapısı aşağıdaki gibidir[4,10];

- Adım 1. Popülasyondaki kromozomlara başlangıç değerlerini ata.
- Adım 2. Her bir kromozomun uygunluk değerini hesaplamak için kromozomları değerlendir.
- Adım 3. Eğer durdurma kriteri sağlanmışsa, en iyi çözümü getir, diğer durumlarda adım 4'e geç.
- Adım 4. Kromozomlardan yüksek uygunluk değerine sahip olanların daha büyük seçim şansına sahip olduğu yeniden üretim mekanizması ile yeni popülasyon oluştur,
- Adım 5. Mevcut popülasyona çaprazlama operasyonu uygula,
- Adım 6. Mevcut popülasyona mutasyon operasyonu uygula,
- Adım 7. Adım 2'ye git.

4.1. Kromozom gösterimi (Chromosome representation)

Önerilen yapıda, genler atama ve permütasyon bilgilerini içermektedir. Bundan dolayı, kromozom yapısı çok bileşenli olarak tasarlanmıştır ve bu gösterim işlerin sıralamasını, makine seçimini ifade etmektedir. Her biri işlerden birine karşılık gelen n tane gen bulunmaktadır. Her bir gende iki bilgi bulunmaktadır. Bunlardan biri işleri ifade etmekte ve diğeri işlerin atandığı makineleri ifade etmektedir. Örneğin, $n=10$ tane iş ve $m=2$ tane makine bulunduğu, bir kromozom [7-1;6-2;1-1;5-2;3-1;8-2;9-1;10-2;4-1;2-2] olmaktadır. Bu gösterim 7;1;3;9;4 işlerinin birinci makinede ve 6;5;8;10;2 işlerinin 2. makinede yapılacağını göstermektedir.

4.2. Popülasyon oluşturma (Population generation)

GA performansı kromozom çeşitliliğine bağlıdır. Bundan dolayı, başlangıç popülasyonunun oluşturulması önemli bir süreçtir. Genellikle, başlangıç bireylerini belirlemek için bir sezgisel kullanmak, bireyleri rastgele oluşturmaktan daha uygun bir yaklaşımdır. Bizim yaklaşımımız, 100 adet olarak belirlenen popülasyon büyüklüğünün 10 katı kadar büyük bir kümeden en iyi 100 birey seçilerek başlangıç popülasyonunun oluşturulmasıdır. Bu mekanizma aynı problem üzerinde gerçekleştirdiğimiz önceki çalışmamızda optimuma diğer alternatiflerden daha yakın bir sonuç üretmiştir ve kabul edilebilir değerler üreten etkin bir metottur[21].

$$IdealCmax = \frac{1}{m} \left\{ \sum_{k=1}^n [p_j + \min_{j \in \{1..n\}} S_{jk}] \right\} \quad (1)$$

$$Uygunluk(i) = IdealCmax - Cmax(i) \quad (2)$$

Tablo 3. Uygunluk fonksiyonunun notasyonu (Fitness function notation)

Sembol	Açıklama	
Uygunluk(i)	i. kromozom için uygunluk değeri	$i=\{1,2,\dots,popb\}$
Cmax(i)	Tamamlanma zamanı	$i=\{1,2,\dots,popb\}$
İdealCmax	En iyi çözüm alternatifi	

Tablo 4. Rulet Tekerleğinin Notasyonu (Roulette Wheel Notation)

Sembol	Açıklama	
Uygunluk(i)	i. kromozom için uygunluk değeri	$i=\{popb*\%10+1, popb*\%10+2, \dots,popb\}$
Cmax(i)	Tamamlanma zamanı	$i=\{1,2,\dots,popb\}$

4.3. Uygunluk Fonksiyonu (Fitness Function)

GA bir maksimizasyon algoritmasıdır. Ancak, çalışan problemin amaç fonksiyonu maksimum tamamlanma süresi olan Cmax'ın minimizasyonudur. GA'yı minimizasyon yapısında kullanmak için uygunluk fonksiyonu Cmax değerini kullanan transfer fonksiyonu ile oluşturulmuştur. Transfer için diğer bir notasyon ise İdealCmax'tır. İdealCmax tek işlemci kısıdından dolayı oluşan bekleme süreleri ihmal edildiğinde makineler için en iyi çözüm alternatiflerinden biridir. İdealCmax (formül 1) toplam minimum proses süresi ve toplam minimum sıra bağımlı hazırlık süresinin toplanması ile hesaplanmaktadır. Bu tamamlanma süresi için alt sınır değeri Kurz ve Aşkın (2001) tarafından önerilen hesaplama kullanılarak elde edilmiştir[16].

Uygunluk fonksiyonu (formül 2) sistemin maksimum tamamlanma zamanını en aza indirmek için elde edilir. Fonksiyon tüm makinelerin en az tamamlanma zamanını tanımlar. Transfer fonksiyonu aşağıda gösterilmiştir.

4.4.Durdurma kriteri (Stopping criteria)

Algoritmanın durdurma kriteri iterasyon limitidir. Maksimum nesil sayısı durdurma kriteri olarak belirlenir. Maksimum nesil sayısı sağlandığında, genetik algoritma durdurulur ve elde edilen sonuç tabu arama algoritmasının başlangıç değeri olarak tanımlanır.

4.5.Seçim mekanizması (Selection Mechanism)

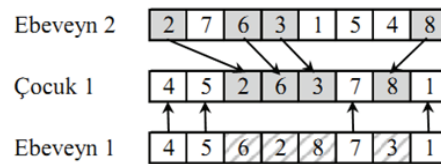
Yeni nesil oluşturmak için bireylerin belirlendiği mekanizma, yeniden üretim operatörü olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada, rulet tekerleği mekanizması kullanılmıştır. Rulet tekerleği mekanizmasında, bireyler uygunluk değerine bağlı olarak belirlenen şansa sahiptirler. Kullanılan yeniden üretim operatöründe uygunluk değerine göre ilk %10'luk kısmı oluşturan bireyler seçme işlemine katılmadan diğer popülasyona aktarılmaktadır. Böylelikle en iyi değere sahip bireylerin diğer popülasyona kesin olarak aktarılması sağlanmaktadır. Seçim mekanizması ise kalan % 90'luk kısım için

çalıştırılmaktadır. Seçim mekanizması (formül 3) uygunluk değerine göre bireyleri belirlemektedir. Rulet tekerleği seçim mekanizması için kullanılan formülasyon aşağıda verilmiştir.

$$Rulet(i) = \frac{Uygunluk(i)}{\sum_{j=popb*\%10}^{popb} Uygunluk(j)} \quad (3)$$

4.6 Çaprazlama operatörü (Crossover operator)

Kellegöz ve diğerleri(2008) toplam ağırlıklı gecikme süresini en küçükleyen tek makine problemini ele almışlardır. Bu problem bir makine ve n adet bağımsız işin bulunduğu NP-zor bir problem olarak bilinmektedir. Diğer çözümlenme problem tiplerinde çok kullanılan 11 genetik çaprazlama operatörü test problemleri ile karşılaştırılmıştır. Deneyler sonucunda, sıra bağımlı çaprazlama (OBX) ve pozisyon bağımlı çaprazlama (PBX) operatörleri makine çözümlenme problemleri için etkin operatörler olarak bulunmuştur [12]. Bu sonuçlar doğrultusunda, OBX algoritması önerilen GA'da kullanılmıştır. OBX metodunda, işlerin sırası ilk ebeveynden 0,5 olasılık ile seçilir ve ilk yavrunun uygun pozisyonlarına yerleştirilir. Sonra, seçilmeyen diğer işler ikinci ebeveynden alınır ve mevcut sırasını koruyarak yavruya aktarılır. Ebeveynlerin rolleri değiştiğinden sonra, aynı prosedür diğer yavru bireylerin oluşturulması için tekrarlanır. OBX metodunun şematik gösterimi Kellegöz ve diğerleri (2008) tarafından oluşturulmuş ve Şekil 2'de gösterilmiştir[12]. Ancak, makine atamalarını içeren bileşenlerin çaprazlaması farklı bir mekanizma kullanılarak yapılmıştır. Bu yaklaşımda, makine dizisinden bir nokta seçilir ve kromozomlar rastgele değiştirilir. Çaprazlama olasılığı, makinelerin çaprazlama mekanizması için 0,5 olarak belirlenmiştir.

**Şekil 2.** Sıra bağımlı çaprazlama operatörü (OBX) (Order based crossover operator)

4.7. Mutasyon operatörü (Mutation operator)

Mutasyon operatörü daha çok çeşitlilik oluşturmak için ortaya koyulmuş, çeşitliliği artırmaya yönelik bir prosedürdür. Yeni nesilde oluşturulan bireyler bit mutasyonu kullanılarak düşük olasılıkla mutasyona tabi tutulmuşlardır. Kromozomlar, mutasyon prosedüründe 0,25 olasılıkla seçilirler. Aynı olasılık kromozomu oluşturan genlerin mutasyonu için de kullanılır. Makinelere biri rastgele seçilir ve yeni makine, pozisyonundaki iş için yeniden rastgele atanır.

5. TABU ARAMA MEKANİZMASI (TABU SEARCH MECHANISM)

Tabu arama (TA) optimal çok yakın sonuçlar sağlayan etkin bir metottur. Tabu aramanın temel prensibi ilerleme sağlamayan yerel optimumla karşılaşıldığında çeşitliliği artırarak başka arama bölgelerinde de arama yapmaktır. TA algoritması daha önceden ulaşılmış olan iyi çözümleri tabu listesinde hafızada tutarak bu çözümlerin tekrar edilmesini engeller. TA'nın çözüm uzayı arama boyunca ulaşılabilen mümkün tüm çözümleri içerir [9]. Bu mekanizma arama uzayında herhangi bir komşu çözüme ilerlemeyi sağlayan ve taşıma adı verilen bir yaklaşımla çalışır. TA sınıflandırılmış bazı kesin taşımaları yasaklayarak veya tabu listesine alarak arama uzayını azaltır. Ayrıca, eğer bir hareket o an için iyi bir çözüm içeriyorsa, aspirasyon (tabu yıkma) kriteri hareketin tabu durumunu ortadan kaldırır [5].

TA aramada çeşitlendirmeyi sağlamak ve yerel optimuma takılmamak için arama uzayının kısıtlı bir kısmını muhafaza eder [15]. Bu yüzden, TA büyük ölçekli kombinatoriyal problemlere iyi çözümler bulmak için oldukça popüler bir yöntemdir. Ele alınan problemde genetik algoritma ile elde edilen sonuçları daha da iyileştirmek için uygulanan TA algoritmasının genel yapısı şu şekildedir;

Adım 1. Başlangıç çözümünü genetik algoritmadan oku ve bu çözümü en iyi çözüm olarak kaydet.

Adım 2. Komşu arama ve aspirasyon (tabu yıkma) kriteri

- 2.1. Mevcut çözümlerin komşuluğundan tabu olmayan veya aspirasyon kısıdını sağlayan bir komşu çözüme seç.
- 2.2. Komşu çözümü mevcut çözüm olarak ata.
- 2.3. Mevcut çözümün özelliklerini ekleyerek tabu listesini güncelle
- 2.4. Eğer mevcut çözüm o ana kadar bulunan çözümlerden daha iyi ise çözümü en iyi çözüm olarak ata.

Adım 3. Eğer durdurma kriteri sağlandı ise, çözümü kaydet. Değilse adım 2'ye git.

5.1 Başlangıç çözümü (Initial solution)

İşlerin sıralamasını içeren başlangıç çözümü genetik algoritma ile elde edilmiştir. Makine atamaları genetik algoritmanın bir sonucu olarak sabit tutulmuştur. Diğer bir deyişle, TA sadece iş sıralarını düzenlemek için kullanılmaktadır. Çünkü uygun makine atamaları genetik algoritma tarafından belirlendiği gözlenmiştir.

5.2 Komşu arama yapısı (Move structure)

Arama prosedürünün her bir adımında iş çiftlerinin değişimini sağlayan değişim hareketi işletilmiştir. Makine aramalarını sabit tuttuğu için yer değiştirme operatörü, arama için yeterli bir prosedürdür. Bundan dolayı komşuluk, makinelere atanmış olan iş sayısını değiştirmeden farklı iş sıraları oluşturmayı sağlar.

5.3 Hafıza yapısı (Memory structure)

Tabu arama algoritmasında kısa dönemli hafıza yapısı kullanılmıştır. Kısa dönemli hafıza, yakın zamanda yapılan hareket değişikliklerine ait bilgiyi tutar. Tabu liste uzunluğu boyunca elde edilen bilgiler hafızada tutulur. Tabu listesi ilk giren ilk çıkar yapısına sahiptir ve genellikle tabu uzunluğunun yedi alınması uygun olmaktadır. Kısa dönemli tabu listesi genetik algoritma tarafından belirlenen uygunluk değerinin en iyiye daha da yakınsamasını sağlar. Bu yapı sürekli güncellenir.

5.4 Tabu yıkma kriteri (Aspiration criteria)

En çok kullanılan tabu yıkma kriterinde, eğer o ana kadar bulunan en iyi çözümden daha iyi bir çözüm elde edildi ise o çözüm tabu olsa dahi tabu listesinden çıkarılır.

5.5 Durdurma kriteri (Stopping criteria)

Durdurma kriteri temel olarak tabu algoritmasının belirli bir iterasyon sayısına ulaştığında durdurulmasından ibarettir. Algoritmada belirlenen maksimum iterasyon sayısına ulaşıldığında, algoritma sonlanır ve çözüm elde edilir. Genetik algoritmada kullanılan iterasyon limitleri tabu arama algoritmasının tüm problem büyüklükleri için de aynı alınmıştır.

6. PARAMETRELERİN AYARLANMASI (PARAMETER TUNING)

Genetik algoritmaların performansını etkileyen üç faktör bulunmaktadır. Bunlar popülasyon büyüklüğü, çaprazlama ve mutasyon olasılıklarıdır. Popülasyon büyüklüğü üst ve alt sınırı 10 ve üst sınırı 100 olan bir düzgün dağılım kullanılarak ayarlanmıştır, çaprazlama ve mutasyon olasılıkları da sıra ile 0,25; 0,5 ve 0,75 olarak belirlenmiştir. Her bir örnek için algoritma beşer kez çalıştırılmış ve C_{max} değerleri hesaplanmıştır. Sonuçta en iyi parametre

Tablo 5. Problem setleri(Problem sets)

Problem Setleri	İşlem Süreleri	
	Dağılım	Parametreler
1	Normal Dağılım	$\mu=15$ $s=1,666$
2	Düzensiz Dağılım	Alt nokta=10 Üst nokta=15
3	Üçgensel Dağılım	Alt nokta=10 Mod=15 Üst Nokta=50
4	Normal Dağılım	$\mu=20$ $s=3,333$
5	Üçgensel Dağılım	Alt nokta=10 Mod=45 Üst Nokta=50
Sıra Bağımlı Hazırlık Süreleri		
Rastgele Faktör	Düzensiz Dağılım	Alt nokta=10 Üst nokta=15
Hazırlık Süreleri		$S_{ij}=\pi \cdot \text{Rastgele Faktör}$

kombinasyonu popülasyon büyüklüğü, çaprazlama olasılığı ve mutasyon olasılığı için sıra ile 1; 0,5 ve 0,25 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, tabu algoritmasını etkileyen iki önemli faktör tabu listesinin uzunluğu ve maksimum iterasyon sayısıdır. Kısa dönemli tabu listesi için tabu uzunluğunun yedi alınması uygun görülmüştür. Maksimum iterasyon sayısı ise etkin çözümleri oluşturacak kadar büyük seçilmelidir. Algoritmanın çalışma zamanı problemin büyüklüğü ile ilgilidir. Bu yüzden, her bir problem büyüklüğüne bağlı olarak maksimum iterasyon sayısı 10; 20; 30 ve 50 iş büyüklükleri için sırasıyla 5000; 3000; 2000 ve 900 olarak belirlenmiştir.

$$Sapma(\%) = \frac{Cmax^{RS} - Cmax^{GTA}}{Cmax^{RS}} * 100 \quad (4)$$

7. SAYISAL SONUÇLAR (NUMERICAL RESULTS)

NP-hard problemlerin optimal çözümünü uygun çalışma zamanı içerisinde problem büyüklüğü küçük olsa dahi bulmak mümkün değildir. Ayrıca, literatürde $P2, S|STsd|Cmax$ problemlerine kıyaslama yapılacak uygun bir örnek mevcut değildir. Bu nedenlerle, uygulanan genetik ve tabu arama algoritmalarının karma yaklaşımı (GTA), farklı iş için Montoya-Torresve diğerleri (2009) tarafından önerilen rastgele arama sezgiseliyle çalışma süresi ve elde ettikleri sonuçlar arasındaki fark yüzdesine göre mukayese edilmiştir. Ayrıca, başlangıç çözümü rastgele şekilde oluşturulmuş genetik algoritma ve tabu arama algoritması aynı problemin çözümü için ayrı ayrı çalıştırılmış ve elde edilen sonuçlar da bu mukayeseye dâhil edilmiştir. Algoritmalar Visual Basic programlama dili ile Visual Studio 2005 programında kodlanmıştır. Tüm deneysel testler 2 GB RAM; 2,16 Ghz CPU bir IBM PC de gerçekleştirilmiş ve çalışma zamanları saniye cinsinden verilmiştir. Rastgele oluşturulmuş problem setleri günlük hayatta

karşılaşılabilecek verilerle örtüşecek şekilde meydana getirilmeye çalışılmıştır. Bunun için oluşturulmak istenilen problem setlerinde, işlem sürelerinin büyük bir bölümünün işlem sürelerinin sınır değerleri arasındaki orta noktaya yakın olması için normal dağılım, işlem sürelerinin büyük bölümünün görülebilecek sınır değerlere yakın noktalarda toplanması için üçgensel dağılım ve işlem sürelerinin sınır değerler arasında herhangi bir notada daha çok görülmemesi için düzensiz dağılım kullanılmıştır. Kullanılan dağılımlar ve parametreleri Tablo 5'de verilmiştir. Sıra bağımlı hazırlık süreleri belirlenen rastgele faktör ile işlem sürelerinin çarpımından elde edilmiştir. Bu dağılımlardan ilki ortalaması 15 ve standart sapması 1,666 olan işlem sürelerinin çoğunlukla ortalama değer olan 15 etrafında seçilmesini sağlayan normal dağılımdır. İkincisi ise proses süresinin 10 ile 15 arasında eşit olasılıklarla, herhangi bir değer etrafında kümeleşme olmaksızın seçilmesini sağlayan düzensiz dağılımdır. Üçüncüsü ise 15 ile 50 değerleri gibi geniş bir aralıkta en çok rastlanılan değerlerin alt sınıra yakın 15 civarında oluşturulması için üçgensel dağılımdır. Dördüncüsü ortalaması 20 ve standart sapması 3,333 olan daha geniş bir aralıktan seçim yapmayı sağlayan normal dağılımdır. Son olarak da en çok rastlanılan değerlerin üst sınıra yakın 45 civarında olacak 10 ile 50 sınırları arasında değer üretecek üçgensel dağılımdır.

Oluşturulan problem setleri, rastgele arama (RS), tabu arama(TA), genetik algoritma (GA) ve önerilen karma yaklaşım (GTA) ile aynı iterasyon sayısında ilerletilmek suretiyle beş kez bağımsız çözülmüş, elde edilen en iyi $Cmax$ değerleri ve çözüm zamanları Tablo 6'de verilmiştir. Ayrıca aynı tabloda formül 4'de verilen bağıntıyla hesaplanan GTA'nın RS'ye göre performans değerleri verilmiştir.

Tablo 6. Hesaplama süreleri ve kıyaslama sonuçları (Computational times and comparison results)

Problem Setleri	Uygulanan Yaklaşımların Hesaplama Süreleri				Uygulanan Yaklaşımlardan Elde edilen Sonuçları				Sapma (%)
	RS	TS	GA	GTA	RS	TS	GA	GTA	
10x2_1	13,63	2,31	13,69	13,63	72	97	72	72	0
10x2_2	15,85	2,21	12,88	15,85	62	82	61	61	1,61
10x2_3	20,37	2,86	15,73	20,37	154	181	154	154	0
10x2_4	17,58	2,46	15,99	17,58	105	138	105	105	0
10x2_5	19,51	2,9	19,93	19,51	165	197	166	166	-0,6
20x2_1	32,57	13,86	19,72	32,57	152	154	152	147	3,29
20x2_2	31,46	14,81	17,69	31,46	126	126	127	123	2,38
20x2_3	41,83	20,65	21,33	41,83	263	264	264	256	2,66
20x2_4	38,32	17,14	19,59	38,32	202	197	203	196	2,97
20x2_5	44,6	22,24	19,91	44,6	338	328	334	324	4,14
30x2_1	55,31	44,73	19,74	55,31	227	242	228	215	5,29
30x2_2	52,35	36,53	18,86	52,35	183	193	182	175	4,37
30x2_3	87,21	70,37	21,77	87,21	433	411	431	409	5,54
30x2_4	63,53	47,63	21,82	63,53	303	302	302	287	5,28
30x2_5	81,24	57,28	21,72	81,24	558	535	558	532	4,66
50x2_1	107,66	106,8	17,41	107,66	400	384	401	371	7,25
50x2_2	113,82	81,12	16,96	113,82	324	307	324	303	6,48
50x2_3	168,63	145,79	19,58	168,63	689	641	688	639	7,26
50x2_4	115,74	104,91	17,81	115,74	507	480	509	472	6,9
50x2_5	177,54	151,15	18,53	177,54	931	872	928	863	7,3
Ortalama	65,94	47,39	18,53	64,94	309,7	309,45	309,45	293,5	3,84

8. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada paralel makine ve tek ekip üzerinde işlerin çizelgenmesi üzerine çalışılmıştır. Problem her bir işe ilişkin, genel olarak işlerin yapılabilmesi için kullanılan kaynakların sıra bağımlı hazırlık süreleri mevcuttur. Ayrıca bu hazırlık süreleri tek işlemci tarafından gerçekleştirilmektedir. Sıra bağımlı hazırlık süreleri ve tek işlemci kısıdı problemi oldukça karmaşık bir çizelgeleme problemi haline getirmekte ve çözümü zorlaştırmaktadır. Amaç maksimum tamamlanma süresini minimize etmek için makineler üzerinde gerçekleştirilecek işlerin sıralamasını ve tek işlemci üzerinde gerçekleştirilecek olan hazırlık işlemlerinin sıralamasını belirlemektir. Çözüm metodolojisi olarak genetik algoritma ile tabu aramayı birleştiren karma bir yaklaşım sunulmuştur. Önerilen karma yaklaşım iki modülden oluşmaktadır. Bunlar ilki uygun çizelgeyi ve C_{max} değerini aramak için kullanılan genetik algoritmadır. İkinci olarak, aynı makine atamalarının kullanılarak işlerin çizelgesinin iyileştirilmesi için tabu arama algoritması kullanılmıştır. Önerilen algoritmada her bir çözüm alternatifi bu iki bileşenle ilişkili olarak gösterilmiştir. OBX çaprazlama operatörü iş sıralaması bileşeni için verimli ve etkin bir şekilde işlem görebilmektedir. Performans testi için RS, GA, TS yaklaşımları ile mukayese edilmiştir. Dört farklı iş sayısı ve iş süreleri için beş farklı durum üzerinde çalışılmıştır. Sonuçlar genetik algoritma ile birleştirilen tabu arama algoritması istenmeyen komşuluk bölgelerini ayırmada başarılı bir yapı olduğunu göstermiştir. Üstelik bu yapı sadece çözüm hızını artırmakla kalmayıp aynı zamanda iyi sonuç veren bölgelerde arama yapmaya yönlendirmesi sebebiyle çözüm

kalitesini artırmaktadır. Bu nedenle yöntem, problemin hem çizelgeleme hem de atama öğeleri için karmaşıklığın üstesinden gelebilmek adına etkin bir yöntemdir. Elde edilen sonuçlar, performans değerleri ve hesaplama zamanları Tablo 6'de verilmiştir. Sonuçlar önerilen GTA'nın $P2, S|STsd|C_{max}$ problemlerinin çözümü için etkin bir yöntem olduğunu göstermektedir. Rastgele arama (RA) küçük ve kolay örnekler için önerilen yaklaşımla hemen hemen aynı performansı göstermesine rağmen GTA büyük boyutlu problemler için daha iyi sonuçlar vermektedir. Sonuç olarak GTA'nın büyüyen problem boyutlarında daha etkin sonuçlar verdiği ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle problemin boyutu ne olursa olsun GTA rahatlıkla uygulanabilmektedir. Gelecek çalışmalara ilişkin birden fazla istikamet mevcuttur. Bunlardan iyi sonuçlar veren GTA karma yaklaşımını performansını geliştirmek ve optimuma daha yakın sonuçlar üretebilmek için çalışmaktır. Ayrıca, probleme hazır olma zamanı ve teslim zamanı kısıtlarının eklenmesi, daha karmaşık işlem zamanları ve hazırlık süreleri ile ikiden daha fazla makine sayısı ile çalışılmasıdır.

9. KAYNAKÇA (REFERENCES)

1. Abdekhodae, A.H., Wirth, A., Gan, H.S. Scheduling two parallel machines with a single server: the general case. **Computers & Operations Research**.33, 994-1009, 2006.
2. Abdekhodae, A. H., Wirth, A. Scheduling parallel machines with a single server: Some solvable cases and heuristics. **Computers and Operations Research**.,29, 295-315, 2002.

3. Allahverdi, A., Gupta, J. N., Aldowaisan, T. A review of scheduling research involving setup considerations. **OMEGA The Int. Journal of Management Sciences**.27,219-239,1999.
4. Allahverdi, A., Mg, C. T., Cheng, T. C., Kovalyov, M. Y. A survey of scheduling problems with setup times or costs. **European Journal of Operational Research**.187,985-1032,2008.
5. Armento, V. A., Yamashita, D. S. Tabu search for scheduling on identical parallel machines to minimize mean tardiness. **Journal of Intelligent Manufacturing**. 11,453-460,2000.
6. Bilge, U., Kirac, F., Kurtulan, M., Pekgun, P.A. Tabu search algorithm for parallel machine total tardiness problem. **Computers and Operations Research**. 31,397-414,2004.
7. Cheng, T., C., E., Gupta, J., N., D., Wang, G. A review of flowshop scheduling research with setup times. **Production and Operations Management**. 9,262-282,2010.
8. Gendreau, M., Laporte, G., Guimaraes, E. M. A divide and merge heuristic for the multiprocessor scheduling problem with sequence dependent setup times. **European Journal of Operational Research**. 133,183-189,2001.
9. Glover, F., Kochenberger, G. A. Handbook of metaheuristics. **Kluwer Academic Publishers**. New York. 2003.
10. Guinet, A. Scheduling sequence dependent jobs on identical parallel machines to minimize completion time criteria. **Int. J. Prod. Res.** 31(7), 1579-1594,1993.
11. Huang, S., Chai, L., Zhang, X. Parallel dedicated machine scheduling problem with sequence-dependent setups and a single server. **Computers & Industrial Engineering**. 58,165-174,2009.
12. Kellegoz, T., Toklu, B., Wilson, J, Comparing efficiencies of genetic crossover operators for one machine total weighted tardiness problem. **Applied Mathematics and Computation**. 199,590-598,2008.
13. Kellegoz, T., Toklu, B., Wilson, J. Elite guided steady-state genetic algorithm for minimizing total tardiness in flowshops. **Computers & Industrial Eng.** 58,300-306,2010.
14. Kim, S. S., Shin, H. J., Eom, D. H., Kim, C. O. A due date density-based categorising heuristic for parallel machines scheduling. **Int J. Adv. Manuf. Technol.** 22,753-760,2003.
15. Kim, C. O., Shin, H. J. Scheduling jobs on parallel machines: a restricted tabu search approach. **Int. J. Adv. Manuf. Technol.** 22,278-287,2003.
16. Kurz, M. E., Askin, R. G. Heuristic scheduling of parallel machines with sequence-dependent set-up times. **Int. J. Prod. Res.** 39(16),3747-3769,2001.
17. McNaughton, R. Scheduling with deadlines and loss functions. **Management Science**.,6,1-12,1959.
18. Montoya-Torres, J.R., Soto-Ferrari, M., Gonzalez-Solano, F., Alfonso-Lizarazo, E. Machine Scheduling with Sequence-dependent Setup Times using a Randomized Search Heuristic. **Proceedings of the 39th International Conference on Computers and Industrial Engineering (CIE-39)**,28-33,2009.
19. Sel, C. Scheduling parallel machines using genetic algorithms with sequence dependent setup times and a single server. Masters thesis, **Kirikkale University**, Kirikkale, August 2010.
20. Sivriaya, F., Ulusoy, G. Parallel machine scheduling with earliness and tardiness penalties. **Computers & Operations Research**.,26,773-787, 1999.
21. Turker, A. K., Sel, C. Scheduling two parallel machines with sequence- dependent setups and a single server. **G.U Journal of Science**.24,1,113-123,2011.
22. Wilson, A. D., King, R. E., Hodgson, T. J. Scheduling non-similar groups on a flow line: multiple group setups. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**,20,505-515,2004.
23. Yang, W., Liao, C. Survey of scheduling research involving setup times. **International Journal of Systems Science**,30,143-155,2010.