

FARKLI GELİŞ ZAMANLI ÖĞRENME ETKİLİ PARALEL MAKİNELİ ÇİZELGELEME PROBLEMİ

Tamer EREN

Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü,
71451 Kırıkkale, teren@kku.edu.tr

Geliş Tarihi: 14 Nisan 2008, Kabul Tarihi: 23 Temmuz 2008

ÖZET

Bu çalışmada m-özdeş paralel makineli çizelgeleme problemi farklı geliş zamanlı durumda incelenecektir. Problemin amaç fonksiyonu maksimum tamamlanma zamanı enküçükmektir. NP-zor yapıda olan bu problemin çözümü için, tamsayı programlama modeli geliştirilmiştir. Ayrıca problemin daha büyük boyutlularını çözmek için çizelgelemede çok kullanılan dağıtım kuralları başlangıç çözümü alınarak tabu arama yöntemi geliştirilmiş ve problemin 500 işe kadar çözümleri gerçekleştirilmiştir.

***Anahtar kelimeler:** Paralel Makineli Çizelgeleme Problemi, Öğrenme Etkisi, Dinamik Geliş Zamanı, Maksimum Tamamlanma Zamanı, Tamsayı Programlama, Sezgisel Yöntemler.*

PARALLEL MACHINE SCHEDULING PROBLEM WITH A LEARNING EFFECT AND RELEASE DATES

ABSTRACT

In this study m-identical parallel machine scheduling problem with release date is considered. The objective function of the problem is minimization of the makespan. An integer programming model is developed for the problem which belongs to NP-hard class. To improve the performance of tabu search algorithm the best result of the dispatching rules is taken as an initial solution of tabu search algorithm. According to computational results the tabu search algorithm is effective in finding problem solutions with up to 500 jobs.

***Keywords:** Parallel Machine Scheduling Problem, Learning Effect, Release Date, Makespan, Integer Programming, Heuristic Methods.*

1. GİRİŞ

Araştırmacılar çizelgeleme problemlerinde bazı varsayımları kabul etmişlerdir. Bu varsayımların kullanılması çizelgeleme problemlerinin daha kolay çözümlenmesine imkan sağlarken, uygulamalarda kullanılmasını ise daha zor hale getirmektedir. Çizelgeleme problemlerinde ne kadar az varsayım kullanırsa, neticesinde gerçek hayat problemlerine o kadar çok yaklaşılmaktadır. Çizelgeleme problemlerinde çözmek için özellikle iki varsayım kullanılmıştır. Bunlardan birincisi işlerin sisteme geliş zamanlarının sabit kabul edilmesidir. Halbuki uygulamalarda, işler her zaman aynı zamanda gelmemekte, çoğu zaman işlerin sisteme geliş zamanları birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Diğer varsayım ise işlerin işlem zamanlarının

buldukları pozisyondan bağımsız olmasıdır. Başka deyişle, iş hangi sırada yapılırsa yapılsın işlem zamanı sabit kabul edilmiştir. Uygulamalarda ise, özellikle insanın fiilen içinde olduğu montaj gibi faaliyetlerde aynı ve benzer işlerin tekrarlanmasıyla işlem zamanında bir azalma olduğu görülmektedir. Bu olgu öğrenme etkisi olarak ifade edilmektedir. Bu çalışmada da bu iki varsayım kaldırılarak öğrenme etkili paralel makineli çizelgelemede işlerin geliş zamanları farklı olduğu durumda maksimum tamamlanma zamanını enküçükleme problemi ele alınacaktır. Çünkü maksimum tamamlanma zamanının enküçükleme ile çevrim zamanında azalma meydana gelmekte ve yeni siparişlerin alınmasına imkan sağlamaktadır. Problemi çözmek için tamsayı programlama modeli geliştirilmiş ve geliştirilen modelle 14 iş 4 makineye kadar olan çözümler

yapılmıştır. Ayrıca büyük boyutlu problemler için sezgisel yaklaşımlar geliştirilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde yapılan çalışmalar gözden geçirilecektir. Çalışmanın üçüncü bölümünde ele alınan problem tanımlanacaktır. Önerilen tamsayı programlama modeli ise dördüncü bölümde verilecektir. Sezgisel yöntemler ise beşinci bölümde sunulacaktır. Altıncı bölümde deneysel sonuçlar gösterilecektir. Son bölümde ise yapılan çalışmanın sonuçları ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar tartışılacaktır.

2. LİTERATÜRÜN GÖZDEN GEÇİRİLMESİ

Öğrenme etkili paralel makinelerle ilgili ilk çalışmayı Mosheiov [1] yapmıştır. Toplam tamamlanma zamanının enküçikleme problemini atama modeli ile çözmüştür. Mosheiov ve Sidney [2] aynı problemi öğrenme etkisinin iş-bağımlı olduğu durumda ele almıştır. Eren ve Güner [3-5] ise yaptığı çalışmalarda paralel makineli çizelgeleme problemlerinde iki ölçütlü olarak üç problemi incelemiştir. Bu problemler; toplam tamamlanma zamanı ve maksimum tamamlanma zamanı $(P_2 / LE / \sum C, C_{\max})$, maksimum tamamlanma zamanı ve maksimum gecikme $(P_2 / LE / C_{\max}, T_{\max})$ ile toplam tamamlanma zamanı ve maksimum gecikme $(P_m / LE / \sum C, T_{\max})$ problemleridir. Bu NP-zor yapıda olan problemleri çözmek için matematiksel programlama modeli geliştirmişlerdir. Ayrıca Eren ve Güner [6] yaptığı başka bir çalışmada m-özdeş paralel makineli çizelgelemede toplam tamamlanma zamanı ile toplam gecikmeyi $(P_m / LE / \sum C, \sum T)$ incelemiştir. Eren [7] aynı probleme hazırlık zamanları öğrenme etkili olduğu durum için çözüm yaklaşımı geliştirmiştir. Yapılan çalışmaların hepsinde işlerin sisteme geliş zamanları sıfır kabul edilmiştir. Bu çalışma ile işlerin sisteme geliş zamanları birbirinden farklı olduğu durumda ilk defa ele alınmıştır.

Ele alınan problem $P_m / r_j, LE / C_{\max}$ NP-zor yapıdadır. Çünkü bu problemin geliş zamanı aynı $(r_j = 0)$ ve öğrenme etkisi olmadığı $(a = 0)$ durumda $P_m // C_{\max}$ problemi NP-zor yapıdadır [8]. Burada P_m , m paralel özdeş makineyi r_j , işlerin sisteme geliş zamanının farklı olduğunu LE , öğrenme etkisini, C_{\max} 'da maksimum tamamlanma zamanını ifade etmektedir.

3. PROBLEMİN TANIMLANMASI

Atölyeye gelen n iş sisteme herhangi bir zamanda gelebilir. Paralel makineli sistemde gelen işler $(j = 1, 2, \dots, n)$ mevcut paralel makinelerin

$(i = 1, 2, \dots, m)$ herhangi birinde işlem görebilir. r_j ve p_j , j işinin geliş zamanı ve işlem zamanını göstermektedir. Bir işin işlem zamanı öğrenme etkisi olduğunda sıradaki pozisyonun bir fonksiyonu olarak azalır. j işi i makinede k . pozisyonda çizelgeleniyor ise bu işin işlem zamanı $p_{jik} = p_{ji}k^a$ olarak ifade edilir. Burada $a \leq 0$ olan öğrenme indeksi sabitidir ve öğrenme oranının iki tabanına göre logaritması olarak verilir. C_{ji} , j işinin i makinede tamamlanma zamanını ifade etmektedir. Maksimum tamamlanma zamanı ise $C_{\max} = \max_{j=1}^n \{C_{ji}\}$ $i = 1, 2, \dots, m$ ile tanımlanmaktadır. Makineler özdeş makinelerdir. Bu makineler işlerin atanması örneği olarak 10 işli 2 makineli bir durum dikkate alındığında $(n_1, n_2) = (9, 1); (8, 2); (7, 3); (6, 4)$ ve $(5, 5)$ olmaktadır. Burada n_1 ve n_2 birinci ve ikinci makinelere atanan işlerin sayısını göstermektedir.

Çalışmada kullanılan diğer varsayımlar şöyledir: Makine hazırlık zamanları önceden bilinmekte olup işlem zamanına dahil edilmiştir. İş kesintisine izin verilmeyip başlanan bir iş makinede tamamlanmadan başka bir iş başlayamaz ve makinelerin çizelgeleme periyodu süresince sürekli çalıştığı varsayılmaktadır. Ayrıca bir makinede aynı anda tek bir iş yapılabilmektedir.

4. TAMSAYILI PROGRAMLAMA MODELİ

Ele alınan m -paralel makineli çizelgeleme problemi için geliştirilen tamsayı programlama modeli her bir makine atama alternatifi için $n^2 + 3n + 1$ değişkenli ve $6n + m$ kısıtlıdır. Problemde kullanılan parametreler, değişkenler ve model aşağıda açıklanmıştır.

4.1. Parametreler

j	iş indeksi	$j = 1, 2, \dots, n.$
i	makine indeksi	$i = 1, 2, \dots, m.$
r_j	j işinin geliş zamanı	
	$r_j = r_{ji}$ $i = 1, 2, \dots, m$	$j = 1, 2, \dots, n.$
p_j	j işinin işlem zamanı	
	$p_j = p_{ji}$ $i = 1, 2, \dots, m$	$j = 1, 2, \dots, n$
n_i	i makinedeki iş sayısı	
	$\sum_{i=1}^m n_i = n$	$i = 1, 2, \dots, m.$

4.2. Karar değişkeni

$$X_{jik} = \begin{cases} 1 & \text{j. iş i. makinede k. sıradaki işe atanırsa} \\ 0 & \text{dd} \end{cases}$$

$$j, k = 1, 2, \dots, n \quad i = 1, 2, \dots, m.$$

4.3. Matematiksel programlama modeli

Amaç fonksiyonu

$$\text{Min } C_{\max}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n X_{jik} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, m \quad k = 1, 2, \dots, n_i \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^{n_i} X_{jik} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$r_{[ki]} = \sum_{j=1}^n X_{jik} r_j \quad k = 1, 2, \dots, n_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

$$p_{[ki]} = \sum_{j=1}^n X_{jik} p_{ji} \quad k = 1, 2, \dots, n_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

$$C_{ki} \geq C_{k-1,i} + p_{[ki]} \quad k = 1, 2, \dots, n_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

$$C_{ki} \geq r_{[ki]} \quad k = 1, 2, \dots, n_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

$$C_{\max} \geq C_{ki} \quad k = 1, 2, \dots, n_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

$$X_{jik} : 0-1 \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad k = 1, 2, \dots, n_i$$

Kısıt (1) ve Kısıt (2) her bir pozisyona tek iş atanmasını sağlamaktadır. Kısıt (3) ve Kısıt (4) sırasıyla i . makinede k . sıradaki işin sisteme geliş zamanı, işlem zamanı ve tamamlanma zamanını tanımlamaktadır. i . makinede k . sıradaki işin tamamlanma zamanını Kısıt (5) ve Kısıt (6) göstermektedir ($C_{0i} = 0$). Kısıt (7) ise maksimum tamamlanma zamanı ifade etmektedir.

5. SEZGİSEL YÖNTEMLER

Önerilen matematiksel programlama modeli ile ancak küçük boyutlu problemler çözülebilmektedir. Halbuki uygulamalarda daha büyük boyutlu problemleri çözmek gerekebilir. Bunun için ele alınan büyük boyutlu problemlerin çözümünde rassal arama ve tabu arama yöntemi kullanılacaktır.

5.1. Rassal arama

Belli boyutta bir örnek kümesi seçilir. Bunlar arasında eniyi çözüm referans alınır ve her iterasyonda güncelleştirilir. Rassal aramanın iki parametresi vardır: Örnek büyüklüğü ve iterasyon sayısı [9,10]. Bir sonraki kısımda anlatılacağı gibi tabu arama yöntemi ile aynı sayıda çözümü incelemek için örnek büyüklüğü ($n-1$) ve iterasyon sayısı da $3n$ alınmıştır.

5.2. Tabu arama

İlk olarak Glover [11] tarafından ortaya atılan tabu arama yöntemi, bu çalışmada ele alınan problemin çözümünde kullanılan sezgisel yöntemdir. Bu yöntem, optimal veya optimale yakın çözümleri bulmak için çözüm uzayını araştırır. Kombinatoryal problemlerde kullanılan sezgisel optimizasyon tekniklerinden en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Tabu arama, seçilen herhangi bir başlangıç çözümü ile aramaya başlar. Mevcut çözümün tanımlanan bir hareket mekanizmasına göre komşuluğu oluşturulur ve bu komşuluk içinden en iyi amaç değerine sahip olan çözüm eğer tabu sınıfına girmiyorsa yeni mevcut çözüm olarak seçilir. Yöntemde tabu sınıflarının belirlenmesi için kısa dönemli hafıza (tabu listesi) kullanılır. Belli bir iterasyon seviyesinde veya iyileşme olmadığında arama durdurulur.

Tabu arama yöntemi problem için üç durumda ele alınmıştır. Yöntemin sadece başlangıç çözümleri farklıdır.

Başlangıç çözümleri: Rassal, SPT (en kısa işlem zamanı) ve ERD (en erken geliş tarihi) kuralları kullanılmıştır. Burada başlangıç çözümü rassal olan Tabu-I, SPT olan Tabu-II ve ERD olanda Tabu-III olarak isim verilmiştir.

Komşu arama stratejisi: Komşu arama stratejisi olarak bitişik iş çiftlerinin yer değiştirilmesi (API) kullanılmıştır. API stratejisi iki durumda şu şekilde ele alınmıştır: birincisinde i . makinedeki bitişik işlerin yer değiştirmesi, diğeri ise, i makine ile k . makinedeki işlerin yer değiştirmesidir. Bu iki yöntem rassal olarak kullanılacaktır.

Tabu listesi uzunluğu: Tabu listesi uzunluğu deneysel tasarımla belirlenmiş ve iş sayısı n , makine sayısı m olmak üzere $2\sqrt{n}/m$ 'in tamsayı değeri alınmıştır.

Durdurma kriteri: Problem için $3n$ iterasyonda tabu arama yöntemine son verilmesi istenmektedir. Tabu aramanın parametreleri toplu olarak Tablo 1'de verilmiştir.

6. DENEYSEL SONUÇLAR

Yapılan çalışmada bütün deneysel testler için Pentium IV/2 GHz 512 RAM kapasiteli bilgisayarlar kullanılmıştır. Ele alınan problemin eniyi çözümlerini bulmak için Hyper LINDO/PC 6.01 programı kullanılmıştır. Sezgisel yöntemler C++ Builder ile kodlanmıştır. İşlem zamanları p_j , 1 ile 100 arasında, işlerin sisteme geliş zamanları r_j ise 0 ile

$$\alpha \sum_{r=1}^n r^a p_r \left[\text{sıra} : \min_{r=1}^n p_r \right] \text{ arasında düzgün dağılımdan}$$

üretilmiştir. Parametre α , 4 farklı değer almaktadır: 0.00, 0.50, 1.00 ve 1.50 dir. Deneysel seti toplu olarak Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2’de görüldüğü gibi toplam 360 problem çözülmüştür.

Her bir makineye atanan iş sayıları da Tablo 3’de verilmiştir. Tablo 3’de de görüldüğü gibi 99 farklı alternatifte model kullanılmıştır.

Tablo 4’de ele alınan m -paralel makineli problemin tamsayı programlama çözüm süreleri verilmektedir.

Tablo 4’de de görüldüğü gibi α parametre değeri, makine sayısı ve iş sayısı arttıkça problemde artış görülmektedir.

Şekil 1-3’de 10,12 ve 14 işli 4 makineli durum için makinelere atanan iş sayılarına göre çözüm zamanları verilmiştir. $\alpha = 1.50$ parametre değeri problemin en fazla zaman aldığı açıkça görülmektedir. Ayrıca iş sayıları makinelere ne kadar dengeli dağıtılsa problem daha da zorlaşmaktadır.

Tablo 1. Tabu arama parametreleri

Sezgiseller	Tabu-I	Tabu-II	Tabu-III
Başlangıç çözümü	Rassal	SPT	ERD
Tabu listesi uzunluğu	$2\sqrt{n} / m$	$2\sqrt{n} / m$	$2\sqrt{n} / m$
Komşu arama stratejisi	API	API	API
Durdurma kriteri	$3n$ iterasyon	$3n$ iterasyon	$3n$ iterasyon

Tablo 2. Problemin deneysel seti

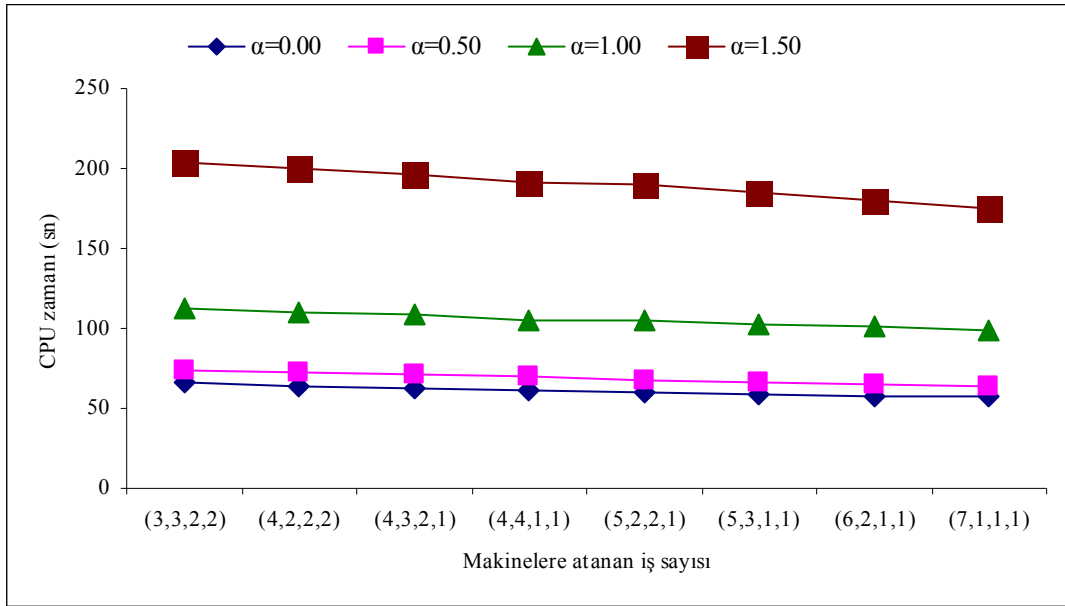
Parametreler	Alternatif	Değerler
İş sayısı, n	3	10,12,14
Makine sayısı m	3	2,3,4
İşlem zamanı p_j	1	$\sim U[1,100]$
Geliş zamanı parametresi α	4	(0.00),(0.50),(1.00),(1.50)
Öğrenme etkisi	1	% 80
Çözülen problem		10
Toplam problem		$3 \times 3 \times 1 \times 4 \times 1 \times 10 = 360$

Tablo 3. Her bir makineye atanan iş sayısı

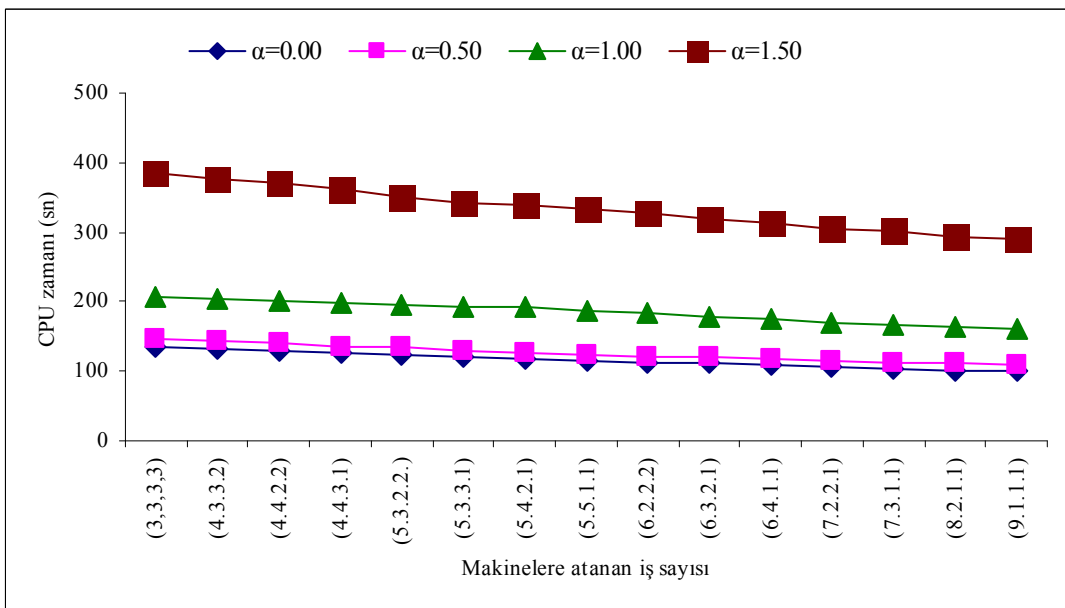
İş sayısı	Makine sayısı	Alternatif	Makinelere atanan işler
10	2	5	(9,1)(8,2)(7,3)(6,4)(5,5)
	3	8	(8,1,1)(7,2,1)(6,3,1)(6,2,2)(5,4,1) (5,3,2)(4,4,2)(4,3,3)
	4	8	(7,1,1,1)(6,2,1,1)(5,3,1,1)(5,2,2,1)(4,4,1,1) (4,3,2,1)(4,2,2,2)(3,3,2,2)
12	2	6	(11,1)(10,2)(9,3)(8,4)(7,5)(6,6)
	3	12	(10,1,1)(9,2,1)(8,3,1)(8,2,2)(7,4,1) (7,3,2)(6,5,1)(6,4,2)(6,3,3)(5,5,2) (5,4,3)(4,4,4)
	4	15	(9,1,1,1)(8,2,1,1)(7,3,1,1)(7,2,2,1)(6,4,1,1) (6,3,2,1)(6,2,2,2)(5,5,1,1)(5,4,2,1)(5,3,3,1) (5,3,2,2)(4,4,3,1)(4,4,2,2)(4,3,3,2)(3,3,3,3)
14	2	7	(13,1)(12,2)(11,3)(10,4)(9,5) (8,6)(7,7)
	3	16	(12,1,1)(11,2,1)(10,3,1)(10,2,2)(9,4,1) (9,3,2)(8,5,1)(8,4,2)(8,3,3)(7,6,1) (7,5,2)(7,4,3)(6,6,2)(6,5,3)(6,4,4) (5,5,4)
	4	22	(11,1,1,1)(10,2,1,1)(9,3,1,1)(9,2,2,1)(8,4,1,1) (8,3,2,1)(8,2,2,2)(7,5,1,1)(7,4,2,1)(7,3,3,1) (7,3,2,2)(6,6,1,1)(6,5,2,1)(6,4,3,1)(6,4,2,2) (6,3,3,2)(5,5,3,1)(5,5,2,2)(5,4,4,1)(5,4,3,2) (5,3,3,3)(4,4,3,3)
Toplam		99	

Tablo 4. Problemin optimal çözüm süreleri

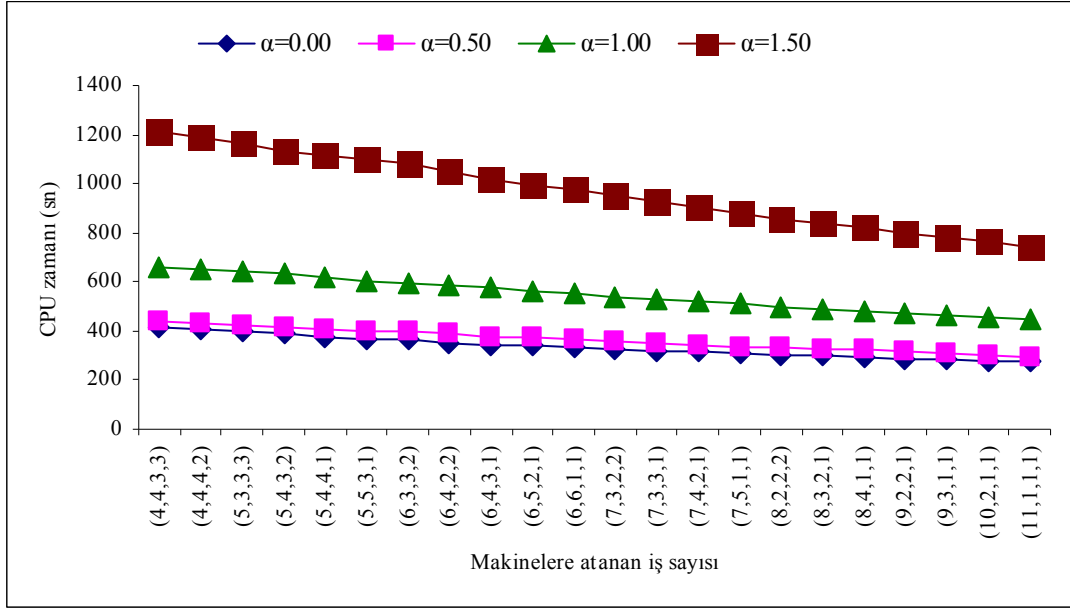
n	m	$\alpha=0.00$	$\alpha=0.50$	$\alpha=1.00$	$\alpha=1.50$
10	2	10.13	21.25	29.78	35.54
	3	69.31	107.26	152.88	241.43
	4	496.92	542.84	836.49	1500.12
12	2	28.22	37.73	34.95	143.89
	3	227.40	291.77	340.56	808.24
	4	1773.52	1857.65	2740.34	5021.02
14	2	181.67	247.33	329.51	279.98
	3	1303.93	1458.19	1956.73	2637.26
	4	7308.11	8040.65	11738.01	21870.90



Şekil 1. 10 işli 4 makineli problemin CPU çözüm süreleri (sn)



Şekil 2. 12 işli 4 makineli problemin CPU çözüm süreleri (sn)



Şekil 3. 14 işli 4 makineli problemin CPU çözüm süreleri (sn)

Tablo 5. Sezgisellerin hata değerleri

α	n	m	Rassal	Tabu-I	Tabu-II	Tabu-III	α	n	m	Rassal	Tabu-I	Tabu-II	Tabu-III		
0.00	10	2	0.2129	0.0611	0.0039	0.0452	1.00	10	2	0.1842	0.0565	0.0046	0.0061		
		3	0.1585	0.0597	0.0039	0.03075			3	0.2334	0.0624	0.0032	0.0065		
		4	0.2209	0.0511	0.0038	0.0673			4	0.1697	0.0570	0.0047	0.0057		
	12	2	0.1551	0.0717	0.0057	0.0560		12	2	0.2252	0.0631	0.0040	0.0059		
		3	0.2353	0.0516	0.0036	0.0467			3	0.1568	0.0681	0.0032	0.0054		
		4	0.1646	0.0666	0.0049	0.0664			4	0.2340	0.0686	0.0059	0.0078		
	14	2	0.2154	0.0565	0.0039	0.0676		14	2	0.2148	0.0745	0.0035	0.0064		
		3	0.2020	0.0685	0.0054	0.0666			3	0.2429	0.0604	0.0044	0.0053		
		4	0.1615	0.0647	0.0058	0.0563			4	0.2399	0.0713	0.0039	0.0067		
	0.50	10	2	0.1933	0.0564	0.0038		0.0065	1.50	10	2	0.2321	0.0647	0.0040	0.0070
			3	0.2002	0.0697	0.0052		0.0077			3	0.2206	0.0716	0.0041	0.0076
			4	0.2498	0.0650	0.0031		0.0065			4	0.2242	0.0543	0.0041	0.0060
12		2	0.2380	0.0665	0.0051	0.0080	12	2		0.1649	0.0697	0.0039	0.0063		
		3	0.1811	0.0684	0.0058	0.0069		3		0.1518	0.0647	0.0042	0.0068		
		4	0.2020	0.0708	0.0038	0.0071		4		0.2111	0.0698	0.0042	0.0073		
14		2	0.1763	0.0628	0.0045	0.0065	14	2		0.2412	0.0746	0.0057	0.0076		
		3	0.2010	0.0504	0.0048	0.0055		3		0.2360	0.0633	0.0057	0.0062		
		4	0.2215	0.0638	0.0035	0.0057		4		0.2172	0.0549	0.0051	0.0054		

Matematiksel programlama modeli sonuçlarına göre problemin ancak küçük boyutlu çözümleri yapılabilmektedir. Büyük boyutlu problemlerin çözümlerini yapabilmek için geliştirilen sezgisel yöntemler, ilk önce küçük boyutlu optimal çözümler ile karşılaştırılacaktır. Tablo 5’de de kullanılan sezgisel yöntemlerin hataları verilmiştir. Sezgisellerin hataları şu şekilde hesaplanmıştır:

$$\text{hata} = \frac{\text{sezgisel çözüm değeri} - \text{optimal çözüm değeri}}{\text{optimal çözüm değeri}}$$

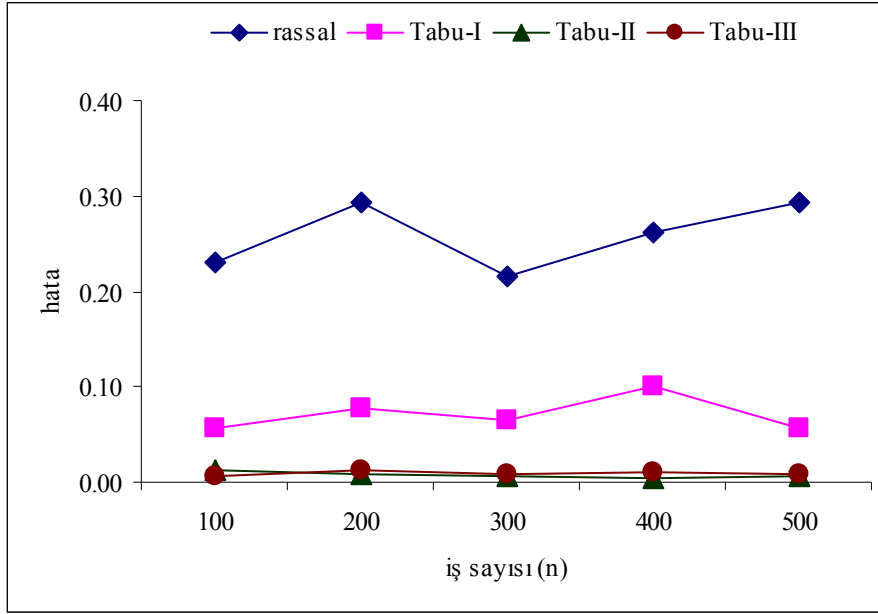
Tablo 5’de görüldüğü gibi en iyi çözümü Tabu-II ve Tabu-III yöntemi verirken rassal arama yöntemi de en kötü sonuçları vermiştir. Yalnız Tabu-III yöntemi $\alpha = 0.00$ olduğunda geliş zamanları aynı olduğundan

dolayı başlangıç çözümü rassal aramaya döndüğünden diğer parametrelere göre daha kötü sonuç vermiştir. Sezgisel yöntemlerle büyük boyutlu problemler çözülecektir. Büyük boyutlu problemler için deney

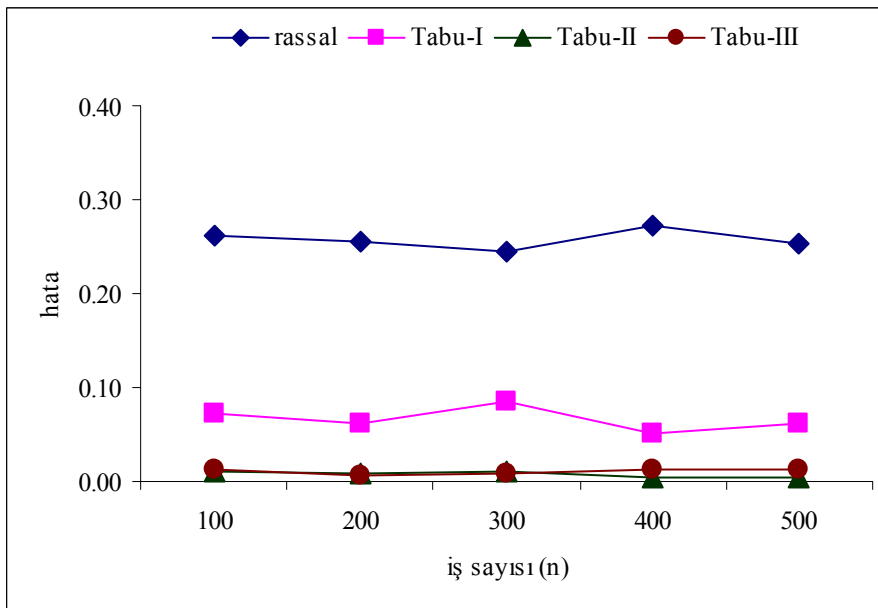
seti Tablo 6'da verilmiştir. Tablo 6'da da görüldüğü gibi toplam 600 problem çözülmüştür.

Tablo 6. Büyük boyutlu problemlerin deney seti

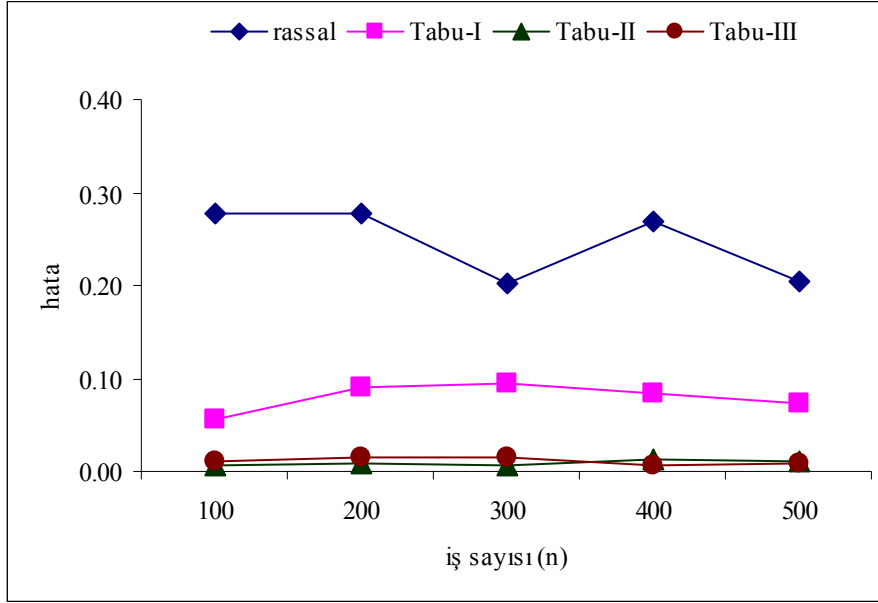
Parametreler	Alternatif	Değerler
İş sayısı, n	5	100,200,300,400,500
Makine sayısı m	3	2,3,4
İşlem zamanı p_j	1	$\sim U[1,100]$
Geliş zamanı parametresi α	4	(0.00),(0.50),(1.00),(1.50)
Öğrenme etkisi	1	% 80
Çözülen problem	10	
Toplam problem		$5 \times 3 \times 1 \times 4 \times 1 \times 10 = 600$



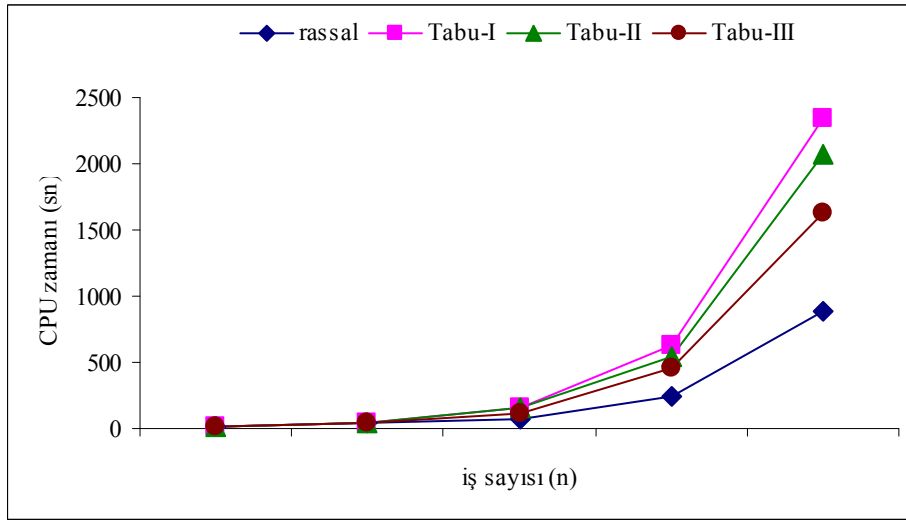
Şekil 4. 2 makineli problemde makinelere sezgisellerin hata değerleri



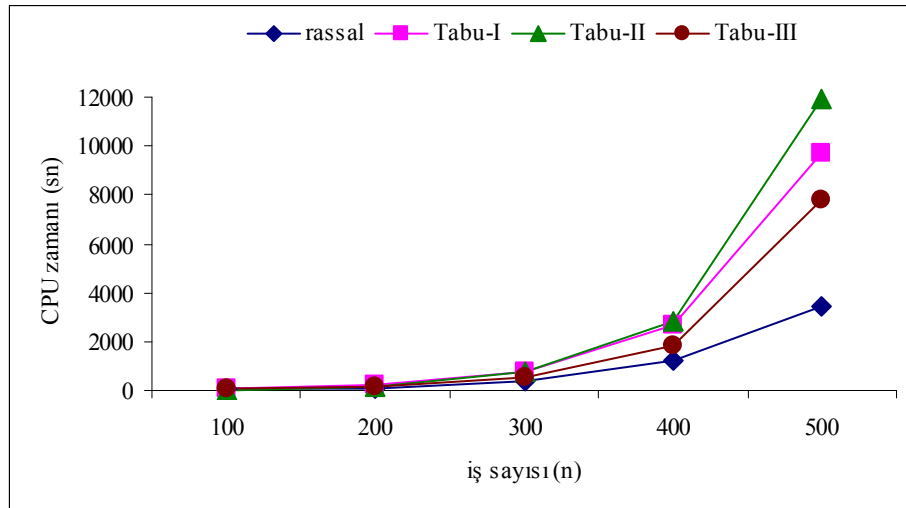
Şekil 5. 3 makineli problemde makinelere sezgisellerin hata değerleri



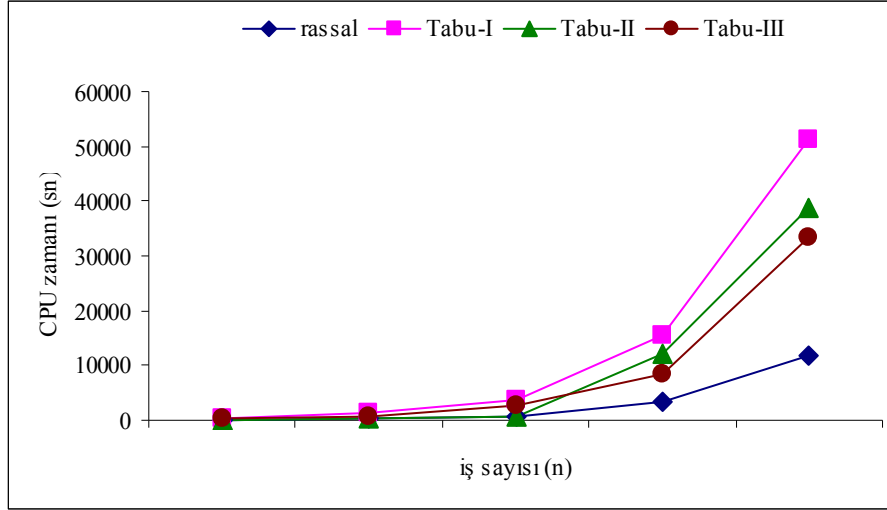
Şekil 6. 4 makineli problemde makinelere sezgisellerin hata değerleri



Şekil 7. 2 makineli problemde sezgisellerin CPU çözüm süreleri (sn)



Şekil 8. 3 makineli problemde sezgisellerin CPU çözüm süreleri (sn)



Şekil 9. 4 makineli problemde sezgisellerin CPU çözüm süreleri (sn)

Büyük boyutlu problemlerde optimal çözüm bilinmediği için sezgisel yöntemlerin hataları eniyi sezgisel yöntem referans olarak alınarak şu şekilde hesaplanmıştır:

$$\text{hata} = \frac{\text{sezgisel çözüm değ.} - \text{eniye sezgisel çözüm değ.}}{\text{eniye sezgisel çözüm değ.}}$$

Sezgisellerin ortalama hataları Şekil 4-6 da verilmiştir. Şekillerde de görüldüğü gibi en az hatayı Tabu-II ve Tabu-III vermiştir. Yalnız ortalama hata hesaplanırken $\alpha = 0.00$ parametresi Tabu-III de dahil edilmemiştir.

Şekil 7-9'da da sezgisel yöntemlerin CPU zamanları (sn) verilmiştir. Tabu-I, Tabu-II ve Tabu-III sezgiselleri uzun zamanlı sonuçları veririrken, rassal aramanın ise daha kısa zamanda çözüm verdiği görülmüştür.

7. SONUÇ

Bu çalışmada öğrenme etkili m -özdeş paralel makineli çizelgeleme problemi dinamik geliş zamanlı durumda ele alınmıştır. Ele alınan performans ölçütü maksimum tamamlanma zamanıdır. NP-zor yapıda olan problemin, optimal çözümlerini bulmak için matematiksel programlama modeli geliştirilmiş ve 14 işli 4 makineli duruma kadar çözülmüştür. Ayrıca büyük boyutlu problemlerin çözüm için dört sezgisel yaklaşım önerilmiş ve sonuçlar gösterilmiştir.

Bundan sonraki çalışmalarda, diğer performans ölçütleri de dikkate alınabileceği gibi çok ölçütlü çalışmaların da araştırmacılar için ilgi çekici bir konu olacağı düşünülmektedir.

8. KAYNAKLAR

- [1] Mosheiov, G., "Parallel machine scheduling with learning effect", Journal of the Operational Research Society, Volume 52, pp. 1165-1169, 2001.
- [2] Mosheiov, G., Sidney, J.B., "Scheduling with General Job-Dependent Learning Curves", European Journal of Operational Research, Volume 147, pp. 665-670, 2003.
- [3] Eren, T., Güner, E., "Öğrenme etkisinin iki ölçütlü paralel makineli çizelgeleme problemlerinde uygulanması", YA/EM'2004, XXIV. Ulusal Kongresi, s. 473-475, Gaziantep – Adana. 15-18 Haziran 2004.
- [4] Eren, T., Güner, E., "Öğrenme etkili iki ölçütlü paralel makineli çizelgeleme problemlerinin çözümü için tamsayı programlama modeli", 4. İstatistik Kongresi, s. 92-93, Antalya, 12-15 Mayıs, 2005.
- [5] Eren, T., Güner, E., "A Bicriteria parallel machine scheduling problem with a learning effect: total completion times and maximum tardiness", 9th International Research/Expert Conference on "Trends in the development of Machinery and associated Technology", pp. 1525-1528, September 26-30, 2005, Antalya, Turkey.
- [6] Eren T., Güner E., "A bicriteria parallel machine scheduling with a learning effect", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, in print.
- [7] Eren T., "A bicriteria parallel machine scheduling with a learning effect of setup and removal times" Applied Mathematical Modelling, in print.
- [8] Lenstra, J.K., Kan Rinnooy, A.H.G., Brucker, P., "Complexity of machine scheduling problems", Annals of Discrete Mathematics, Volume 4, pp. 281-300, 1977.

[9] Fox, R.L., “Optimization methods for engineering design”, Addison Wesley Publishing Company, London, 1971.

[10] Jang, J.-S.R., Sun, C.T., Mizutani, E., “Neuro-fuzzy and soft computing: A computational approach to learning and machine intelligence”, Prentice Hall, USA, 1997.

[11] Glover, F., “Future paths for integer programming and links to artificial intelligence”, Computers and Operations Research, Volume 5, pp. 533-549, 1986.

ÖZGEÇMİŞ

Tamer EREN

Balıkesir’de doğan Tamer Eren, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesinin Endüstri Mühendisliği Bölümünden 1996 yılında mezun oldu. Aynı yıl Kırıkkale Üniversitesinde araştırma görevlisi oldu. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesinin Endüstri Mühendisliği Bölümüne 2000 yılında yüksek lisansını, 2004 yılında doktora bitirdi. 2004 yılından itibaren Kırıkkale üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde Araştırma görevlisi Dr. olarak görev yapmaktadır.