

Hazırlık ve taşıma zamanlarının öğrenme etkili olduğu tek makineli çizelgeleme problemi: Geciken iş sayısı minimizasyonu

Tamer EREN

Industrial Engineering Department, Kırıkkale University, Kırıkkale, 71451 Turkey.
Phone: +90 (318) 357-3576; Fax: +90 (318) 357-2459, teren@kku.edu.tr

Özet

Çizelgeleme problemleri ile ilgili yapılan çalışmalarda, işlerin hazırlık ve taşıma zamanları genellikle ya ihmal edilmiş ya da işlem zamanlarına dahil edilerek çözüm yaklaşımları geliştirilmiştir. Ancak, bazı üretim sistemlerinde hazırlık ve taşıma zamanları ihmal edilemeyecek kadar önemli olabilir ve dolayısıyla işlem zamanlarını hazırlık ve taşıma zamanlarından ayrı düşünmek gerekir. Diğer taraftan, üretim sistemlerinde, işler genellikle otomatik makine işlemlerine göre işlem gördüğü için hangi sırada yapılırsa yapılsın işlem zamanlarında bir değişiklik olmaz. Ancak, hazırlık ve taşıma zamanları dikkate alındığında insan faktörü devreye girdiği için bu işlemlerin sık sık tekrarlanmasıyla hazırlık ve taşıma sürelerinde gittikçe bir azalma olmaktadır. Bu olgu literatürde öğrenme etkisi olarak bilinmektedir. Bu çalışmada tek makineli çizelgeleme problemi, hazırlık ve taşıma zamanlarının öğrenme etkili olduğu ortak teslim tarihli durumda geciken iş sayısını enküçüklemedir. Ele alınan problemi öğrenme etkisinin işe bağımlı olduğu durumda polinom zamanda çözüldüğü gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Tek makineli çizelgeleme problemi, hazırlık zamanı, taşıma zamanı, işe-bağımlı öğrenme etkisi, geciken iş sayısı, atama modeli.

Setup and Removal Times with Learning Effect in Single Machine Scheduling Problem: Number of Tardy Jobs Minimization

Abstract

In studies on scheduling problems, generally setup times and removal times of jobs have been neglected or by including those into processing times solution approaches have been developed. However, as setup times and removal times may be too important to be neglected in some production systems, it may also be necessary to consider processing times independent from setup times and removal times. Since, in general jobs are done according to automatic machine processes in production systems processing times do not differ according to process sequence. But, since human factor becomes influential when setup times and removal times are taken into consideration, setup times will be decreasing by repeating setup processes frequently. This fact is defined with learning effect in scheduling literature. In this study, the problem to be examined is minimizing number of tardy when setup times and removal times with learning effect and common due date in single machine scheduling. We show that even when the learning process is assumed to be general and job-dependent, the problem remains polynomially solvable.

Keywords: Single machine scheduling problem, setup times, removal times, job-dependent learning effect, number of tardy, assignment model.

1. GİRİŞ

Çizelgeleme problemleri ile ilgili yapılan çalışmalarda işlerin hazırlık ve taşıma zamanları (yani işlem sonrası makineden alınıp diğer makinedeki işleme aktarılması) genellikle ya ihmal edilmiş ya da işlem zamanına dahil edilerek çözüm yaklaşımları geliştirilmiştir. Ancak bazı üretim sistemlerinde hazırlık ve taşıma zamanları ihmal edilmeyecek kadar önemli olabilir ve işlem zamanlarından ayrı düşünmek gerekebilir. Diğer taraftan, üretim sistemlerinde işler genellikle otomatik makinelerde yapıldığı için işlem zamanları işlem sırasına göre bir değişiklik göstermemektedir. Ancak, hazırlık ve taşıma zamanlarında insan faktörü devreye girdiği için bu işlemlerin sık sık tekrarlanmasıyla hazırlık ve taşıma zamanlarında gittikçe bir azalma olmaktadır. Bu olgu literatürde öğrenme etkisi olarak bilinmektedir[1-6].

Bu çalışmada da hazırlık ve taşıma zamanları işe-bağımlı öğrenme etkili olduğu durumda tek makineli çizelgeleme problemi incelenecektir. Problemin ortak teslim tarihi kısıtı amacı, altında geciken iş sayısını minimize etmektir. Yapılan çalışmada problemin $O(n^3 \log n)$ polinom zamanda çözülebileceği gösterilmiştir.

Çizelgelemede öğrenme etkili ile Alidaee ve Womer [7], Cheng vd. [8] ile Biskup [9] kapsamlı literatür taraması ile yapılan çalışmaları değerlendirmişlerdir. Çizelgelemede öğrenme etkisi ile ilgili ilk çalışma Biskup [10] tarafından yapılırken, Mosheiov [11] ise temel çizelgeleme problemlerini incelemiştir. Mosheiov ve Sidney [12] ise ilk defa işlerin öğrenme etkili olduğu durumda ele almıştır. Tek makineli öğrenme etkili çizelgelemede son yıllarda yapılan birçok çalışma ile araştırmacıların ilgi odağı olmaya devam etmektedir [13-20].

Tek makineli çizelgelemede geciken iş sayısı problemi öğrenme etkisi olmadığı durumda Moore algoritması [21] ile polinom zamanda çözülebilirken, problem öğrenme etkili olduğu durumda Moore algoritması [21] ile çözülemediği Eren [22] tarafından gösterilmiş ve matematiksel programlama modeli önerilmiştir.

Yapılan çalışmanın planı şu şekildedir. Çalışmanın ikinci bölümünde, ele alınan işe-bağımlı öğrenme etkili hazırlık ve taşıma zamanlı tek makineli çizelgeleme problemi tanımlanacaktır. Çözüm algoritması üçüncü bölümde anlatılacaktır. Son bölümde ise elde edilen sonuçlar değerlendirilecek ve gelecekte yapılacak çalışmalar hakkında bilgi verilecektir.

2. PROBLEMİN TANIMLANMASI

Atölyeye gelen n iş sıfırinci zamanda işlem için hazırır. Gelen işler ($j = 1, 2, \dots, n$) tek makinede sırasıyla işlem görmektedir. s_j , p_j ve r_j sırasıyla j işinin hazırlık zamanı, işlem zamanı ve taşıma zamanını göstermektedir. Bir işin hazırlık zamanı ve taşıma zamanı işe-bağımlı öğrenme etkisi olduğunda sıradaki pozisyonun bir fonksiyonu olarak azalır. j işi k . pozisyonda çizelgeleniyor ise bu işin hazırlık zamanı $s_{jk} = s_j k^{a_{sj}}$, taşıma zamanı $r_{jk} = r_j k^{a_{rj}}$, olarak ifade edilir. Burada a_{sj} ve a_{rj} sırasıyla hazırlık ve taşıma zamanlarının işe-bağımlı öğrenme indeksi sabitidir ve öğrenme oranının iki tabanına göre logaritması olarak verilir. Örneğin % 80 öğrenme oranına göre öğrenme indeksi $\log_2 0.80 = -0.322$ dir. C_j , j işinin tamamlanma zamanını d ise ortak teslim tarihini göstermektedir. j işinin tamamlanma zamanı, teslim tarihinden büyük ise işin gecikmesini göstermektedir. U_j , j işi gecikmişse 1, gecikmemişse 0'ı göstermektedir. Ele alınan problem $1/s_{jk} = s_j k^{a_{sj}}, r_{jk} = r_j k^{a_{rj}}, d_j = d / \sum U_j$ ile gösterilmektedir. $\sum U_j$ literatürde n_T ile de gösterilmektedir.

Çalışmada kullanılan diğer varsayımlar şöyledir: Makine hazırlık ve taşıma zamanları önceden bilinmekte ve işlem zamanına dâhil edilmemiştir. İş kesintisine izin verilmemiştir. Başlanan iş makinede tamamlanmadan başka bir iş başlamamakta ve makinenin çizelgeleme periyodu süresince sürekli çalıştığı varsayılmaktadır. Ayrıca makinede aynı anda tek bir iş yapılabilmektedir.

3. ÇÖZÜM ALGORİTMASI

Yapılan çalışmada çözüm algoritması Mosheiov ve Sidney [23]'in işe-bağımlı öğrenme etkili çizelgeleme probleminden uyarlanmıştır. Mosheiov ve Sidney [23]'in çalışmasında ortak teslim tarihi kısıtı altında maksimum tamamlanma zamanı enküçüklenirse geciken işlerin sayısının da minimize edileceğini göstermişler. Problemin çözüm algoritması şu şekildedir. Eğer t işlerinin minimum tamamlanma zamanı ile ortak teslim tarihi d arasındaki fark daha küçük veya eşit ise $P(t)$ t işlerinin geciktiğini göstermektedir. Maksimum tamamlanma zamanı problemi $O(n^3)$ polinom zamanda atama modeli ile çözülebilmektedir[23]. Ele alınan problemde aşağıda verilecek atama modeli ile çözüm bulmak mümkündür. Modelde verilen x_{jk} , 0-1 karar değişkenidir. Eğer j işi k . pozisyona atanırsa $x_{jk} = 1$ diğer durumda $x_{jk} = 0$, $j, k = 1, 2, \dots, n$.

Problem $P(t)$

$$\text{Min } \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^t (s_{jk} + p_j + r_{jk}) x_{jk}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n x_{jk} = 1 \quad k = 1, 2, \dots, t. \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{jk} \leq 1 \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (2)$$

Kısıt 1, her bir t pozisyonuna bir işin atanmasını garanti etmektedir. Kısıt 2 ise, n işten en fazla tek işin atanmasını sağlamaktadır. Eğer $C_{max}(t) \leq d$ ise gecikme olmadığı, aksi takdirde ise gecikme olduğunu göstermektedir. $P(t)$ 'de ki t değeri birer birer arttırarak ortak teslim tarihinin geçilmediği en küçük değere kadar çözüm bulunur.

Her bir optimal t problemi $O(\log n)$ iterasyonla, $P(t)$ problemini çözmek için $O(n^3)$ zamanda, toplamda ise $O(n^3 \log n)$ zamanda çözülmektedir.

Örnek: On işli tek makineli problemdeki hazırlık ve taşıma zamanları 1 ile 10 arasında, işlem zamanları ise 1 ile 25 arasında tamsayı olarak, hazırlık ve taşıma zamanlarında işe-bağımlı öğrenme etkisi bulunmaktadır ve % 60 ($a = -0.737$) ile % 90 ($a = -0.152$) arasında rassal olarak üretilmiştir. Veriler Tablo 1'de pozisyonlara göre hazırlık, işlem ve taşıma zamanları toplamları verilmiştir. Ortak teslim tarihi $d = 100$ ve t değeri $t = n/2 = 10/2 = 5$ olarak ilk $P(5)$ değeri bulunmuştur. Optimal maksimum tamamlanma zamanı $P(5) = 57.69$, $P(6) = 76.10$, $P(7) = 94.19$ dur ve ortak teslim tarihi d 'den daha küçüktür. $P(8) = 115.87$ 'dir. dolayısıyla optimal değer $P(7) = 94.19$ ve işlerin optimal sıralanması 4-7-9-8-1-6-2 ve geciken işler 3-5-10'dur ve $n_T = 3$ 'dir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada hazırlık ve taşıma zamanlarının işe-bağımlı öğrenme etkili olduğu ortak teslim tarihli tek makineli çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Amaç fonksiyonu geciken iş sayısını minimize etmektir. Problemi çözmek için polinom zamanlı atama modeli ile $O(n^3 \log n)$ zamanda çözüldüğü gösterilmiştir.

Bundan sonraki çalışmalarda farklı teslim tarihli durum ele alınabileceği gibi, çok makineli problemlerde araştırmacılar tarafından dikkat çekecek konu olacağı düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR

- [1] T. Eren, E. Güner, "Hazırlık ve taşıma zamanlarının öğrenme etkili olduğu çizelgeleme problemleri", Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8 (1), 7-13, 2007.
- [2] T. Eren, "Human and machine effects in a just-in-time scheduling problem", Human Factors and Ergonomics in Manufacturing, 19 (4), 294-299, 2009.
- [3] T. Eren, E. Güner, "Hazırlık zamanlarının öğrenme etkili olduğu durumda bir akış tipi çizelgeleme problemi", Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22 (2), 353-362, 2007.
- [4] T. Eren, E. Güner, "Hazırlık zamanlarının öğrenme etkili olduğu çizelgeleme problemleri", Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 12 (1), 1-7, 2007.
- [5] T. Eren, E. Güner, "Paralel makineli çizelgeleme problemlerinde öğrenme etkili hazırlık zamanları", Savunma Bilimleri Dergisi, 6 (1), 114-121, 2007.

- [6] T. Eren, E. Güner, "Öğrenme etkili hazırlık ve taşıma zamanlı paralel makineli çizelgeleme problemi", *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 2 (4), 67-72, 2006.
- [7] B. Alidaee, N. K. Womer, "Scheduling with time dependent processing times: Review and extensions", *Journal of the Operational Research Society*, 50, 711-720, 1999.
- [8] T. C. E. Cheng, Q., Ding, B. M. T., Lin, "A concise survey of scheduling with time-dependent processing times", *European Journal of Operational Research*, 152, 1-13, 2004.
- [9] D. Biskup, "A state-of-the-art review on scheduling with learning effects", *European Journal of Operational Research*, 188, 315-329, 2008.
- [10] D. Biskup, "Single-machine scheduling with learning considerations", *European Journal of Operational Research*, 115, 173-178, 1999.
- [11] G. Mosheiov, "Scheduling problems with a learning effect", *European Journal of Operational Research*, 132, 687-693, 2001.
- [12] G. Mosheiov, J.B. Sidney, "Scheduling with general job-dependent learning curves", *European Journal of Operational Research*, 147, 665-670, 2003.
- [13] T.C.E. Cheng, G. Wang, "Single machine scheduling with learning effect considerations. *Annals of Operations Research*", 98, 273-290, 2000.
- [14] G. Mosheiov, "Scheduling problems with a learning effect", *European Journal of Operational Research*, 132, 687-693, 2001.
- [15] W.C. Lee, C.C.Wu, H.J. Sung, "A bi-criterion single-machine scheduling problem with learning considerations", *Acta Informatica*, 40, 303-315, 2004.
- [16] T. Eren, "Minimizing the total weighted completion time on a single machine scheduling with release dates and a learning effect", *Applied Mathematics and Computation*, 208 (2), 355-358, 2009.
- [17] T. Eren, "Zamana-bağımlı öğrenme etkili çizelgeleme probleminde maksimum gecikme minimizasyonu: Doğrusal-olmayan programlama modeli", *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23 (2), 459-465, 2008.
- [18] T. Eren, E. Güner, "A bicriteria scheduling with a learning effect: total completion time and total tardiness", *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 45, (2), 75-81, 2007.
- [19] T. Eren, E. Güner, "Minimizing total tardiness in a scheduling problem with a learning effect", *Applied Mathematical Modelling*, 31 (7), 1351-1361, 2007.
- [20] J.-B. Wang, J.J. Wang, "Single-machine scheduling jobs with exponential learning functions", *Computers & Industrial Engineering*, 60, 755-759, 2011.
- [21] J. M. Moore, "An n Jobs, One Machine Sequencing Algorithm for Minimizing The Number of Late Jobs", *Management Science*, 15 (1), 102-109, 1968.
- [22] T. Eren, "Öğrenme etkili çizelgeleme problemi: Geciken iş sayısı minimizasyonu", *Teknoloji Dergisi*, 10 (4), 235-238, 2007.
- [23] G. Mosheiov, J.B. Sidney, "Note on scheduling with general learning curves to minimize the number of tardy jobs", *Journal of the Operational Research Society*, 56, 110-112, 2005.

Tablo1. Pozisyonlara göre hazırlık, işlem ve taşıma zamanları toplamları

a_{sj}	s_j	p_j	a_{rj}	r_j	pozisyon									
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-0.259	1	8	-0.327	2	11.00	10.43	9.79	9.45	9.36	9.41	9.91	9.29	9.21	9.25
-0.444	7	13	-0.595	2	22.00	19.47	18.22	17.60	17.29	17.51	16.70	16.47	16.38	16.03
-0.666	5	24	-0.702	5	34.00	30.22	28.85	28.41	29.23	27.54	27.21	27.19	26.51	30.08
-0.670	1	18	-0.650	1	20.00	19.27	19.04	19.13	18.78	18.70	18.68	18.54	19.23	19.21
-0.651	1	21	-0.523	2	24.00	23.03	23.06	22.40	22.23	22.20	21.91	23.26	23.24	23.22
-0.343	3	14	-0.218	9	26.00	24.10	21.24	20.28	20.06	18.73	24.54	24.47	24.41	24.36
-0.728	2	6	-0.503	1	9.00	7.91	7.47	7.26	7.00	7.54	7.48	7.44	7.40	7.37
-0.398	4	5	-0.514	5	14.00	11.54	10.62	9.50	12.11	11.96	11.84	11.75	11.67	11.60
-0.335	2	8	-0.454	5	15.00	13.23	11.99	14.26	14.17	14.10	14.04	14.00	13.96	13.92
-0.680	7	19	-0.595	10	36.00	29.99	32.31	31.73	31.34	31.07	30.86	30.70	30.57	30.46