

İKİ MAKİNE AKIŞ TİPİ ÖĞRENME ETKİLİ ÇİZELGELEMEDE ORTAK TESLİM TARİHİNDEN MUTLAK SAPMALARIN EN KÜÇÜKLENMESİ

Mesut Cemil İŞLER^{*}, Veli ÇELİK^{**} ve Bilal TOKLU^{***}

^{*}Kalite Kontrol Daire Başkanlığı, Devlet Malzeme Ofisi Genel Müdürlüğü, 06041 Yüce-tepe/Ankara

^{**}Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, 71450 Kırıkkale

^{***}Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gazi Üniversitesi, 06570 Ankara

mesutcemilisler@gmail.com, vcelik@kku.edu.tr, btoklu@gazi.edu.tr

(Geliş/Received:25.09.2008 ; Kabul/Accepted:20.03.2009)

ÖZET

Yöneylem araştırmasıyla ilgili pek çok alanda öğrenme etkisinin dikkate alındığı çalışmalar mevcuttur. Buna karşın üretim çizelgelemede bu konuyla ilgili çalışma sayısı az, akış tipinde ise daha azdır.

Erken/Geç (E/G) tamamlanma problemi 1990 yılların başına kadar ağırlıklandırılmış mutlak sapma problemi olarak bilinmekteydi. Hem erken hem de geç tamamlanma zamanı çizelgeleme problemlerinde önemli ölçütlerdir. Toplam gecikme ölçütü teslim tarihlerine uyuma ilişkin göstergeleri sağlarken (erken tamamlanan işlere ilişkin sonuçları göz ardı ederek), sadece geç tamamlanan işlerin cezaları ile ilgilenir. Ancak bu eğilim tam zamanında üretim (TZÜ) konusuna olan artan ilgi ile birlikte değişmeye başlamıştır. TZÜ’de erken tamamlanma geç tamamlanma kadar önemlidir.

Bu çalışmada iki makine akış tipi ortamlı çizelgelemede ağırlıklı erken/geç tamamlanma performans kriteri ve öğrenme etkili işleme özelliği dikkate alınarak bir tamsayılı programlama modeli önerilmiş ve örnek problemlerle çözüm sonuçları değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çizelgeleme, akış tipi, E/G tamamlanma, öğrenme etkisi, tamsayılı programlama.

THE MINIMIZATION OF ABSOLUTE DEVIATION FROM COMMON DUE DATE IN TWO MACHINE FLOWSHOP SCHEDULING WITH LEARNING EFFECT

ABSTRACT

The phenomenon of the learning effect has been extensively studied in many different areas of operational research. However, there have been a few studies in the general context of production scheduling; also there have been fewer studies in flow-shop.

Until the beginning of 1990 Earliness/Tardiness (E/T) problem was known as weighted absolute deviation problem. Not only tardiness but also earliness is very important performance criteria for scheduling problem. While total tardiness criteria provides adaptation for due date (ignoring results of earliness done jobs), it deals with only cost of tardiness. However this phenomenon has been started to change with Just in Time (JIT) production concept. Earliness is as important as tardiness on JIT production.

In this study, the integer programming was suggested to take in to consideration “weighted E/T performance criteria and learning effect process property at the two machine flow-shop scheduling” and solution results was evaluated with sample problems by us.

Keywords: Scheduling, flow-shop, earliness/tardiness, learning effect, integer programming.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde birçok endüstri alanında akış tipi üretim yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu nedenle, akış tipi çizelgeleme problemi, üzerinde dikkatle durulan bir problem olmuştur. Permutasyon akış tipi çizelgeleme problemi, tüm makinelerde bir işin işlem sırasının aynı olduğu, m makine ($j=1,2,\dots,m$) üzerinde belli işlem sürelerine sahip n işin ($i=1,2,\dots,n$) çizelgelenmesinden oluşur. Akış tipi çizelgeleme problemleri birleşik eniyileme problemi özelliğindedir ve NP-zor problem sınıfındadır[1].

Pek çok üretim tesisinde, üretim birimi (işçi veya makine) tarafından aynı veya benzer faaliyetlerin sürekli tekrarlanması sonucu üretim işleminde gelişme kaydedilir. Böylece bir ürün sıralamada ne kadar geç çizelgelenirse üretim zamanı o kadar kısalmır. Bu olgu literatürde öğrenme etkisi olarak bilinmektedir[2,3].

Öğrenme etkisi, öğrenme eğrisi ile tanımlanabilir. Öğrenme eğrisi, aynı işin tekrarlanması bir fonksiyonu olarak performansın gelişim grafiğidir. Öğrenme eğrisi ilk kez Wright tarafından tanımlanmıştır. Wright uçakların üretiminde üretilen uçak sayısı artarken direk işçilik maliyetlerinde nasıl bir azalma olduğunu tespit etmiştir. Bu gözlem ve gelişme oranı, birçok uçak imalatçısı tarafından tutarlı ve doğru kabul edilmiştir[4,5].

Çoğu öğrenme eğrileri, gerekli kaynak ihtiyacının yapılacak işin sıralamasına bağlı olarak azalacağı temeline dayanır[2,3]:

- $P_{[j]}=P_{[1]}*j^a$
 - $P_{[j]}$: j. birimi yapmak için gerekli zaman
 - $P_{[1]}$: 1. birimi yapmak için gerekli zaman
 - LR: Öğrenme eğrisi parametresi (örneğin, %80 öğrenme eğrisi için LR=0.8)
 - $a=\log(LR)/\log(2)$

Örneğin;

Bir montaj işlemine %90 öğrenme eğrisinin tatbik edilebileceği bulunmuştur. Birinci birimi üretmek için gerekli zaman 30 dakikadır. 5'inci birimi üretmek için gerekli zaman ne kadardır? 30'uncu birim için ne kadardır?

- $a = \log(0.9)/\log(2) = -0.152$
- $P_{[5]} = 30*(5^{-0.152})=23.49$
- $P_{[30]} = 30*(30^{-0.152})=17.89$
- $T_{[j]} = j$ adet birimi üretmek için gerekli toplam zaman = $P_{[1]}*[1^a+2^a+\dots+j^a]$
- $C_{[j]} = j$ birimden birini üretmek için gerekli ortalama zaman = $T_{[j]}/j$
- Örneğe devam edersek:
- $T_{[5]}=30*[1^{-0.152}+2^{-0.152}+\dots+5^{-0.152}]=130.18$
- $C_{[5]}= T_{[5]}/5=130.18/5=26.04$

Öğrenme etkisi çizelgelemede ilk kez Biskup tarafından 1999'da incelenmiştir. Biskup, birkalemin üretiminin tekrar sayısının bir fonksiyonu olarak üretim zamanındaki azalma yansımaları öğrenme prosesi olarak kabul etmiştir. Biskup, tek makineli problemler üzerinde çalışmış ve akış zamanlarının minimizasyonunu ve ortak teslim tarihinden tamamlanma zamanlarının sapmalarının ağırlıklı toplamının minimizasyonunu amaç fonksiyonları olarak ele almıştır[2,5,6].

Lee ve Wu 2 makineli akış tipi çizelgeleme probleminde makinelerin ayrı ayrı öğrenme etkisi altında olduğu varsayımında toplam tamamlanma zamanının minimizasyonunu ele almışlar ve NP-zor zorluk derecesindeki problemi baskınlık özelliklerini geliştirerek bir Dal-Sınır algoritmasıyla çözmüşlerdir. Bu algoritma makul sürede 35 işe kadar çözüm üretebilmektedir[7].

Chen ve diğerleri iki kriterli iki makineli akış tipi çizelgeleme probleminde toplam tamamlanma zamanı ve maksimum gecikme performans ölçütlerinin minimizasyonu üzerine çalışmışlar ve NP-zor olan bu problemi çözmek için baskınlık özelliklerini geliştirerek bir Dal-Sınır algoritması ile çözmüşlerdir. Bu algoritma 18 işe kadar optimal çözüm üretebilme kapasitesindedir[8].

Cheng ve diğerleri öğrenme etkili permutasyon akış tipi çizelgeleme problemini baskın makineler arasında aylak zaman olmadığı varsayımı altında 4 durum için maksimum tamamlanma zamanı performans ölçütü yönünden ele almış ve her bir durum için polinom zamanlı çözüm algoritmaları geliştirmişlerdir[9].

Wu ve diğerleri 2 makineli akış tipi çizelgeleme probleminde maksimum gecikmenin minimizasyonu amaç fonksiyonu için, bir Dal-Sınır algoritması ve tavlama benzetimi yoluyla optimal veya yaklaşık optimal sonuçlar elde etmişler ve bu sonuçları Fisher'in[10] sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır[11].

Bir TZÜ çizelgeleme yapısında, erken biten işler teslim tarihlerine kadar üreticinin elinde kalır. Bu da ürünün bozulmasından kaynaklanan maliyetler ile depolama veya sigorta gibi maliyetler getirir. Buna ilaveten, biten mal stoku dolaylı olarak fırsat maliyeti taşıyan verimsiz bir yatırımdır. Diğer yandan, teslim tarihlerinden sonra tamamlanan işler müşteri tatminsizliği, sözleşme cezaları, satış kayıpları veya itibar kaybına yol açar. Bu nedenle, ideal bir çizelge için tüm işler teslim tarihlerinde tamamlanmalıdır[12].

E/G problemleri erken ve geç tamamlanmanın aynı anda en küçüklenmesini amaçlayan çizelgeleme problemleridir. Teslim tarihinden ağırlıklı sapmaların minimizasyonu ile ilgili literatürde farklı yaklaşımlar ortaya konmuştur. Bunlardan birisi; E/G problemlerle-

rinin önemli bir özel durumu olan ortak teslim tarihinden işlerin tamamlanma zamanlarının mutlak sapmalarının toplamının en küçüklenmesini ele alır. Bu durumda, tüm d_i 'ler d 'ye eşittir. Eğer d yeterince büyükse, yani çözüm takvimi açısından rahatça hareket edebilecek bir alan varsa bu tarz problemler literatürde "kısıtlandırılmamış versiyon" olarak adlandırılır. Aksi durumda, yani d yeterince büyük değilse, yani çözüm alanı rahatça hareket etmeyi engelliyorsa bu tarz problemler literatürde "kısıtlandırılmış versiyon" olarak ifade edilir[12].

E/G literatüründeki problemlerde rastlanan diğer önemli farklılık ise, amaç fonksiyonunda kullanılan ceza maliyet fonksiyonlarının tipini içerir. Araştırmacılar tarafından çalışılan bu maliyet fonksiyonları temel olarak dört grupta incelenebilir. Bunlar, işe bağımlı erken tamamlanma ve gecikme maliyeti, eşit olmayan ceza maliyeti, eşit ceza maliyeti ve işe bağımlı oranlanabilen ceza maliyeti olarak sınıflandırılabilir. Maliyet fonksiyonunun belirlenmesinde erken tamamlanma ve gecikme için farklı ceza maliyet fonksiyonlarının belirlenmesi yaklaşımı daha gerçekçi olacaktır. Çünkü çoğu zaman gecikme ve erken tamamlanma aynı oranda arzu edilmeyebilir[13].

Ventura ve diğerleri kaynağa-bağımlı geliş tarihleri ve kısıtlandırılmamış ortak teslim tarihli bir tek-makine E/G problemini çalışırlar. Bir işin kaynak tüketimi maliyetinin, işin geliş tarihinin azalan bir doğrusal fonksiyonu olduğu ve bu fonksiyonun tüm işler için ortak olduğu varsayılmıştır. Amaç, toplam kaynak tüketimi ile erkenlik ve geçlik cezalarını en küçükleyen çizelgeyi ve işlerin geliş tarihlerini bulmaktır. Problemin NP-zor olduğu gösterilmiştir. Küçük ve orta büyüklükteki problemler için bir dinamik programlama geliştirilmiştir. Büyük boyutlu problemler için de bir sezgisel algoritma önerilmiş ve sezgisel ile en iyi çözümler arasındaki işlemsel karşılaştırma değerlendirilmiştir. En iyi çözümlerin yapısını karakterize etmek ya da önerilen sezgisel algoritma için gelişmiş çözümleri bulmak için bazı özellikler gösterilmiştir. En iyi çözümü bulma garantisi olmamasına rağmen önerilen sezgisel algoritma yüksek kalitede çözümler sağlayabilmiştir[14].

Sakuraba ve diğerlerinin yaptığı çok güncel bir çalışma da ise iki makine akış tipi üretimde ortak teslim tarihinden ortalama mutlak sapma problemi incelenmiş ve bu probleme yönelik tamsayı matematiksel bir model geliştirilmiştir. Ardından geliştirilen üç sezgisel dokuz adet sıralama kuralı monte edilerek sonuçlar alınmış ve 1995 yılında Sarper[15] tarafından yapılan çalışmadan daha iyi sonuçlar elde edildiği gösterilmiştir. Ayrıca her bir operasyon için başlama zamanlarını hesaplayan Hendel ve Sourd'un zamanlama algoritmasından[16] faydalanılmıştır[17].

Literatür incelendiğinde çizelgelemede E/G problemleri ile ilgili çalışmaların başlangıcı öğrenme

etkili çalışmalardan daha öncedir. Çizelgelemede öğrenme etkisinin 1999'da Biskup tarafından yapılan çalışmanın ardından yoğunluk kazandığı görülmüştür. Öğrenme etkisi ve E/G problemi bir arada farklı şekillerde 1999'da Biskup, 2001'de Mosheiov, 2003'te Mosheiov ve Sidney, 2004'te Biskup ve Simons ve 2007'de Kuo ve Yang ve 2008'de Toksarı ve Güner tarafından ele alınmıştır[2,6,18-22].

2.PROBLEMİN VARSAYIMLARI, NOTASYONLARI VE FORMÜLASYONU (ASSUMPTIONS, NOTATIONS AND FORMULATION OF PROBLEM)

Atölyeye gelen n iş sıfırıncı zamanda işleme hazırdir. Bu işler önce birinci makinede sonra ikinci makinede işlem görecektir. P_{ik} ; i işinin k makinesindeki öğrenme etkisiz işlem zamanını göstermektedir ($i=1, \dots, n$; $k=1,2$). Yani bu iş çizelgede birinci sırada çizelgelense i işinin işlem zamanıdır (hangi makinede olursa olsun). Daha önce de açıklandığı gibi bir işin işlem zamanı sıradaki pozisyonun bir fonksiyonu olarak azalır. Biskup'un çalışmalarında verildiği gibi herhangi bir i işi eğer j . pozisyonda çizelgelense ise $P_{ij}=P_i*j^a$ olarak verilir[2,6]. Burada $a \leq 0$ olan sabit bir öğrenme indeksidir. İncelenen amaç, ortak teslim tarihinden ağırlıklı mutlak sapmaların minimizasyonudur. Buna göre problem $n/2/P_{ij}=P_i*j^a, d_i=d/\sum(\alpha E_j+\beta T_j)$ şeklinde gösterilebilir. Burada n iş sayısını, 2 makine sayısını, $P_{ij}=P_i*j^a$ öğrenme etkisinin şeklini, $d_i=d$ problemin ortak teslim tarihli olduğunu, $\sum(\alpha E_j+\beta T_j)$ amaç fonksiyonunu ve buradaki ise α erken teslim ceza katsayısını, β ise geç teslim ceza katsayısını göstermektedir.

Çalışmada kullanılan diğer varsayımlar şöyledir:

- Makine hazırlık zamanları önceden bilinmekte olup işlem zamanına dahil edilmiştir.
- İş kesintisine izin verilmeyip, başlanan iş makinede tamamlanmadan başka bir iş başlayamaz.
- Makinelerin çizelgeleme periyodu süresince sürekli çalıştığı varsayılmaktadır.
- Bir makinede aynı anda tek iş yapılabilir.
- İki makine arasında sınırsız ara stok tutulabilmektedir.
- Ortak teslim tarihi d literatürdeki kullanımına uygun olarak işlerin işlem sürelerinin bir fonksiyonu

olarak alınmıştır. $d = \left[\frac{\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^n P_{ik}}{k} \right] * h$; h : ortak teslim tarihi belirleme katsayısı.)

Modelde kullanılan parametreler ve değişkenler aşağıda verilmektedir:

Parametreler (Parameters)

- n : Çizelgelenecek iş sayısı
- d : Ortak teslim tarihi
- P_{ik} : i işinin k makinesindeki işlem zamanı

α : İşlerin erken tamamlanma cezası
 β : İşlerin geç tamamlanma cezası
 LR: Öğrenme eğrisi parametresi (örneğin, %80 öğrenme eğrisi için LR=0.8)
 a : $a = \log(LR) / \log(2)$ (öğrenme indeksi)

Değişkenler (Variables)

x_{ij} : Eğer i işi j . pozisyona atanırsa 1, aksi takdirde 0
 $C_{j,2}$: 2. makinede j . pozisyondaki işin tamamlanma zamanı
 E_j : j . pozisyondaki işin erken tamamlanma zamanı
 T_j : j . pozisyondaki işin geç tamamlanma zamanı
 I_{jk} : Pozisyon j ile $j+1$ arasında k makinesinin aylak zamanı
 W_{jk} : Pozisyon j 'deki işin 1. ve 2. makineler arasında bekleme zamanı

2.1. Tamsayı Programlama Modeli (Integer Programming Model)

İki makineli akış tipi çizelgeleme probleminin öğrenme etkisini dikkate alan ve ortak teslim tarihinden sapmaları en küçükleyen model aşağıda verilmiştir. Bu model Sakuraba ve diğerlerinin [17] yaptığı çalışmadan faydalanılarak hazırlanmıştır.

Model (Model)

Amaç Fonksiyonu:

$$\min \sum_{j=1}^n (\alpha E_j + \beta T_j) \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$C_{j,2} = d - E_j + T_j \quad , j=1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$C_{1,2} = \sum_{i=1}^n (P_{i,1} * x_{i,j}) + \sum_{i=1}^n (P_{i,2} * x_{i,j}) + I_{1,1} + I_{1,2} \quad (3)$$

, $j=1, 2, \dots, n$

$$C_{j,2} = C_{j-1,2} + I_{j-1,2} + \sum_{i=1}^n (P_{i,2} * x_{i,j} * j^a) \quad (4)$$

, $j=1, 2, \dots, n$

$$I_{j,1} + \sum_{i=1}^n [P_{i,1} * x_{i,j+1} * (j+1)^a] + W_{j+1,2} = W_{j,2} + \sum_{i=1}^n (P_{i,2} * x_{i,j} * j^a) + I_{j,2} \quad (5)$$

, $j=1, 2, \dots, n$

$$\sum_{i=1}^n x_{i,j} = 1 \quad , j=1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{i,j} = 1 \quad , i=1, 2, \dots, n \quad (7)$$

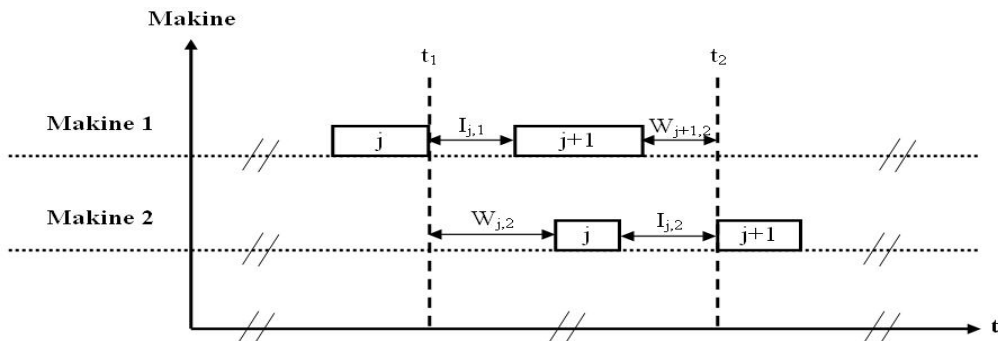
$$I_{j,k} \geq 0 \quad j=1, 2, \dots, n; k=1, 2$$

$$W_{j,2} \geq 0 \quad j=1, 2, \dots, n$$

$$E_j, T_j \geq 0 \quad j=1, 2, \dots, n$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, n$$

Amaç fonksiyonu (1) ortak teslim tarihinden sapma cezalarının ağırlıklı toplamının minimizasyonunu ifade etmektedir. Kısıtlardan ilki (2) işlerin erken ve geç tamamlanma değerlerini hesaplar. İkinci kısıt fonksiyonu (3) ilk sırada çizelgelenen işin ikinci makinede tamamlanma zamanının, 1 ve 2 makinelerindeki işlem sürelerine bağlı olduğunu ifade etmektedir (Öğrenme etkisi ikinci sırada çizelgelenecek işleberaber görüleceğinden) ve özellikle problemlerin kısıtlandırılmış versiyonlarında ihtiyaç duyulmaktadır. (4)'teki kısıt işlerin ikinci makinede tamamlanma zamanlarını hesaplar. (5) kısıtı değişkenlere yönelik problemin fiziksel kısıtlarını ifade etmektedir. Bu fiziksel kısıtı daha iyi anlamak için Şekil 1 incelenebilir. Bu şekil t_1 (j . işin makine 1'deki tamamlanma zamanı) ve t_2 ($j+1$ pozisyonundaki işin makine 2'de başlama zamanı) arasındaki aylak, bekleme ve işlem süreleri arasındaki ilişkiyi gösteren gantt şemasıdır. (6) ve (7) kısıtları her bir pozisyona sadece bir işin atanmasını sağlar. Diğer kısıtlar değişkenler için pozitif değer almayı ve x_{ij} için 0,1 değerlerinden birini almayı sağlarlar.



Şekil 1. Kısıt (5)'in Grafik Gösterimi (Graphic representation of the set of constraints (5)) [17]

Örnek Uygulama (Sample Application)

Önerilen matematiksel model 6 işli 2 makineli akış tipi bir problem için denenmiştir. İşlerin makinelerdeki işlem zamanları Tablo 1’de gösterilmiştir. Bu verilerin yanı sıra örnekte diğer veriler; erken tamamlanma ceza katsayısı $\alpha=0.8$, geç tamamlanma ceza katsayısı $\beta=1.2$, öğrenme eğrisi parametresi $LR=0.8$, buna bağlı olarak $a=-0.322$ ve ortak teslim tarihi belirleme katsayısı $h=0.8$ alındığında $d=27.2$ olarak kullanılmıştır. Bütün bu veriler kullanılarak ortak teslim tarihinden sapmaların toplamının minimize edilmesi hedeflenecektir.

Tablo 1. Problem Verileri (Problem Data)

i	P _{i1}	P _{i2}
1	7	3
2	6	4
3	8	9
4	4	7
5	5	6
6	1	8

Problem önerilen model kullanılarak öğrenme etkisi dikkate alındığında ortak teslim tarihinden sapmaların toplamı 3-4-2-1-5-6 sıralaması ile $\sum(\alpha E_j + \beta T_j) = 27.7049$ şeklinde 180 iterasyonda global optimum olarak çözülmüştür. Problem öğrenme etkisiz düşünüldüğünde ise ortak teslim tarihinden sapmaların toplamı 6-3-5-1-2-4 sıralaması ile $\sum(\alpha E_j + \beta T_j) = 42.16$ şeklinde 55 iterasyonda global optimum olarak çözülmüştür.

3. UYGULAMA (APPLICATION)

Problemleri çözmek için Extended LINGO Release 8.0 kullanılmıştır. LINGO literatürde birçok problemin çözümünde yaygın olarak kullanılan bir paket programdır[22]. Bütün deneysel testler; Pentium 4, 3 Ghz işlemcili 512 RAM kapasiteli kişisel bilgisayarda yapılmıştır. İşlem zamanları Chou ve Lee [23]’deki gibi 1 ile 10 arasında düzgün dağılımdan üretilmiştir. Öğrenme eğrisi parametresi $LR=0.8$ ($a=-0.322$) olarak alınmıştır. Ayrıca bu verilerin yanı sıra erken tamamlanma ceza katsayısı $\alpha=0.8$, geç tamamlanma ceza katsayısı $\beta=1.2$ olarak alınmış ve literatüre uygun olarak $h=0.8$, $h=0.6$, $h=0.4$ ve $h=0.2$ ortak teslim tarihi belirleme katsayıları kullanılarak çözümler elde edilmiştir. İzin verilen maksimum iterasyon sayısı 1.000.000’dir.

Tablo 2’den görüleceği üzere iş sayısı arttıkça çözüm için yapılması gereken iterasyon sayısı ve gerekli çözüm zamanı artmaktadır. Ayrıca ortak teslim tarihi belirleme katsayısı “h” literatürde sıklıkla kullanılan değerler verilerek sonuçlar alındı. Buna göre ortak teslim tarihi belirleme katsayısı “h” azaldıkça problemin çözüm alanı biraz daha daraldığından çözüm için gerekli iterasyon sayısı ve çözüm süresinin artış gösterdiği de tespit edilmiştir. Özellikle

iş sayısı arttıkça teslim tarihi belirleme katsayısı $h=0.2$ değeri kullanılan problemlerin çözümünün çok daha zorlaştığı görülmüştür.

Yapılan çözümlerin hepsinin “Global Optimum” olmasından dolayı elde edilen sonuçların en düşük ortak teslim tarihinden ağırlıklı mutlak sapmayı verdiği ve öğrenme etkisi altındaki iki makine akış tipi problemlerin en iyi çözümünün bir permütasyon çizelgesi olduğu söylenebilir. Bu nedenle bu modelin daha büyük boyutlu problemleri daha kısa sürede çözmek amacıyla geliştirilecek sezgisellerin performanslarını ölçmede kullanılabileceği de söylenebilir.

4.SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada öğrenme etkili iki makineli akış tipi çizelgede ortak teslim tarihinden sapmaların minimizasyonu problemi dikkate alınmıştır. Bu problem daha önce literatürde incelenmemiştir. İncelenen problemin öğrenme etkisiz durumu bile NP-zor problem olup[17], en iyi çözümünü bulmak için tamsayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Model çözümleri Extended LINGO Release 8.0 kullanılarak iş sayısı 5’ten başlamak üzere beşer beşer artarak 100 işe kadar çözülmüştür. Ayrıca 150 ve 200 iş için de problemler çözülmüştür.

Modelin problemlerin çözümünde etkin olduğu görülmüştür. Bu modelin daha büyük boyutlu problemlerin çözümünde kullanılabilecek sezgisel yaklaşımların performanslarının test edilmesinde de yararlı olacağı düşünülmektedir.

Çizelgeleme problemlerinde öğrenme etkisi işleme özelliği ve E/G tamamlanma performans ölçütlerinin dikkate alındığı çalışma sayısı sınırlı olduğundan bu alanda farklı çalışmalar yapılabilir. Ayrıca ikiden fazla makinenin bulunduğu akış tipi ortamlar içinde bu çalışmanın bir başlangıç noktası sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Yağmahan B. ve Yenisey M.M., Akış tipi çizelgeleme problemi için KKE parametre eniyileme, **İTÜ Dergisi**, 5 (2), 133-141, 2006.
2. Biskup D., A State-Of-The-Art Review on Scheduling with Learning Effects, **European Journal Of Operational Research**, 188, 315-329, 2008.
3. Yelle L.E., The Learning Curve: Historical Review and Comprehensive Survey, **Decision Science**, 10, 302-328, 1979.
4. Wright T.P., Factors Affecting The Cost Of Airplanes, **Journal Of The Aeronautical Sciences**, 3, 122-128, 1936.
5. Eren T. ve Güner E., Öğrenme Etkili Akış Tipi Çizelgede Ortalama Akış Zamanının En

Tablo 2. Örnek Problemlerin Çözüm Verileri (Solution Data of Sample Problems)

n	h	Ortalama İterasyon Sayısı	Ortalama CPU Zamanı (sn)	Çözüm Durumu	n	h	Ortalama İterasyon Sayısı	Ortalama CPU Zamanı (sn)	Çözüm Durumu
5	0.8	30	0.002	GO	55	0.8	415	3.889	GO
	0.6	33	0.007	GO		0.6	416	3.892	GO
	0.4	28	0.008	GO		0.4	411	4.002	GO
	0.2	16	0.005	GO		0.2	929	4.615	GO
10	0.8	62	0.121	GO	60	0.8	422	1.368	GO
	0.6	117	0.230	GO		0.6	422	1.413	GO
	0.4	348	0.332	GO		0.4	422	1.658	GO
	0.2	101	0.369	GO		0.2	10694	5.103	GO
15	0.8	199	0.468	GO	65	0.8	494	1.842	GO
	0.6	198	0.519	GO		0.6	495	2.054	GO
	0.4	291	0.522	GO		0.4	496	1.767	GO
	0.2	263	0.564	GO		0.2	12404	5.527	GO
20	0.8	286	0.108	GO	70	0.8	485	1.952	GO
	0.6	215	0.166	GO		0.6	485	2.074	GO
	0.4	418	0.214	GO		0.4	486	2.110	GO
	0.2	311	0.363	GO		0.2	4210	4.516	GO
25	0.8	449	0.226	GO	75	0.8	581	2.526	GO
	0.6	449	0.232	GO		0.6	580	2.627	GO
	0.4	600	0.283	GO		0.4	581	2.603	GO
	0.2	799	0.496	GO		0.2	5134	5.601	GO
30	0.8	163	0.332	GO	80	0.8	645	3.684	GO
	0.6	163	0.468	GO		0.6	646	3.632	GO
	0.4	486	0.562	GO		0.4	645	3.467	GO
	0.2	178	0.511	GO		0.2	15015	7.235	GO
35	0.8	212	1.005	GO	85	0.8	722	3.713	GO
	0.6	212	1.117	GO		0.6	723	3.681	GO
	0.4	211	1.210	GO		0.4	722	3.864	GO
	0.2	2602	1.619	GO		0.2	75015	48.771	GO
40	0.8	263	1.722	GO	90	0.8	793	4.126	GO
	0.6	267	1.885	GO		0.6	792	4.283	GO
	0.4	631	1.992	GO		0.4	799	4.482	GO
	0.2	586	1.995	GO		0.2	227396	85.849	GO
45	0.8	335	2.425	GO	95	0.8	855	4.533	GO
	0.6	334	2.538	GO		0.6	856	4.589	GO
	0.4	334	2,826	GO		0.4	857	4.622	GO
	0.2	1529	4,341	GO		0.2	522137	103.451	GO
50	0.8	367	3.234	GO	100	0.8	1061	4.721	GO
	0.6	367	3.352	GO		0.6	1060	4.675	GO
	0.4	367	3.364	GO		0.4	1062	4.827	GO
	0.2	808	4.220	GO		0.2	İzin verilen iterasyon sayısında çözüme ulaşılamadı.		
150	0.8	2295	14.625	GO	200	0.8	4039	30.894	GO
	0.6	2295	14.821	GO		0.6	4040	31.387	GO
	0.4	2296	14.995	GO		0.4	4040	31.888	GO
	0.2	İzin verilen iterasyon sayısında çözüme ulaşılamadı.				0.2	İzin verilen iterasyon sayısında çözüme ulaşılamadı.		

*GO: Global Optimum

- Küçülenmesi, **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.**, 19, 119-124, 2004.
- Biskup D., Single-Machine Scheduling with Learning Considerations, **European Journal Of Operational Research**, 115, 173-178, 1999.
 - Lee W.C. and Wu C.C., Minimizing total completion time in a two-machine flowshop with a learning effect, **International Journal of Production Economics**, 88, 85-93, 2004.
 - Chen P., Wu C.C. and Lee W.C., A bi-criteria two-machine flowshop scheduling problem with a learning effect, **Journal of the Operational Research Society**, 57, 1113-1125, 2006.
 - Cheng M.B., Sun S.J. and Yu Y., A note on flow shop scheduling problems with a learning effect on no-idle dominant machines, **Applied Mathematics and Computation**, 184, 945-949, 2007.
 - Fisher M.L., A dual algorithm for the one-machine scheduling problem, **Mathematical Programming**, 11, 229-251, 1976.
 - Wu C.C., Lee W.C. and Wang W.C., A two-machine flowshop maximum tardiness scheduling problem with a learning effect, **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 31, 743-750, 2007.

12. Baker K.R., Elements of sequencing and scheduling, Dartmouth College, Hanover, 1997.
13. Lauff V. and Werner F., Scheduling with Common Due Date, Earliness and Tardiness Penalties for Multimachine Problems: A Survey, **Mathematical and Computer Modelling**, 40 (5-6), 637-655, 2004.
14. Ventura J.S., Kim D. and Garriga F., Single machine earliness-tardiness scheduling with resource-dependent release dates, **European Journal of Operational Research**, 142, 52-69, 2005.
15. Sarper H., Minimizing the sum of absolute deviations about a common due date for the two-machine flow shop problem, **Applied Mathematical Modelling**, 19 (3), 153-161, 1995.
16. Hendel Y. and Sourd F., An improved earliness-tardiness timing algorithm, **Computers&Operation Research**, 34, 2931-2938, 2007.
17. Sakuraba C.S., Ronconi D.P. and Sourd F., Scheduling in a two-machine flowshop for the minimization of the mean absolute deviation from a common due date, **Computers&Operations Research**, 36 (1), 60-72, 2009.
18. Mosheiov G., Scheduling problems with a learning effect, **European Journal of Operational Research**, 132, 687-693, 2001.
19. Mosheiov G. and Sidney J.B., Scheduling with general job-dependent learning curves, **European Journal of Operational Research**, 147, 665-670, 2003.
20. Biskup D. and Simons, D., Common due date scheduling with autonomous and induced learning, **European Journal of Operational Research**, 159, 606-616, 2004.
21. Kuo W.H. and Yang D.L., Single machine scheduling with past-sequence-dependent setup times and learning effects, **Information Processing Letters**, 102, 22-26, 2007.
22. Toksarı M.D. and Güner E. Parallel machine earliness/tardiness scheduling problem under the effects of position based learning and linear/nonlinear deterioration, **Computers&Operations Research**, 36 (8), 2394-2417, 2008.
23. Chou F.D. and Lee C.E., Two-machine Flowshop Scheduling with Bicriteria Problem, **Computers&Industrial Engineering**, 36 (3), 549-564, 1999.