

PAPER DETAILS

TITLE: ÜRETİM ÇİZELGELEME PROBLEMLERINE BULANIK YAKLASIM

AUTHORS: Merve KAYACI,Vecihi YIGIT

PAGES: 287-296

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/30402>

ÜRETİM ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNE BULANIK YAKLAŞIM

Merve KAYACI^(*)
Vecihi YİĞİT^(**)

Özet: Üretim Planlamada önemli bir yer tutan çizelgeleme problemleri ile ilgili yapılan çalışmaların büyük bir kısmında; işlerin işlem zamanları ve teslim tarihleri sabit kabul edilmiştir. Gerçek hayat problemlerinde ise bu parametrelerin stokastik veya bulanık olması daha tutarlı bir yaklaşım olacaktır. Bununla birlikte bazı üretim sistemlerinde, işlem zamanları dikkate alındığında insan faktörü devreye girdiği için işlemlerin sık sık tekrarlanmasıyla işlem zamanlarında gittikçe bir azalma görülür. Bu olgu literatürde öğrenme etkisi olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada belirtilen söz konusu nedenlerden dolayı, bulanık işlem zamanlı ve teslim tarihli öğrenme etkili tek makine çizelgeleme problemi ele alınacaktır. Ele alınan problemin amaç fonksiyonu ise Erken/Geç tamamlanan iş sayısını en küçükmektir. NP-zor yapıda olan problemi çözmek için model geliştirilmiş ve geliştirilen model bir örnek üzerinde uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çizelgeleme Problemleri, Öğrenme Etkisi, Bulanık işlem zamanı

Abstract: In scheduling studies, most literature assumes that the processing times and due dates of jobs are fixed. However, in some production systems, when processing times need to be considered, human factor becomes influential, that is, processing times decrease by repeating the process. This situation is defined as learning effect in literature. This paper considers a single machine scheduling problem with fuzzy processing times and fuzzy due dates learning effect. The objective function of the problem is minimization number of the Earliness/Tardiness jobs. A model is developed solving the problem that belongs to NP-hard class. Also the model is tested on an example.

Key Words: Scheduling Problems, Learning Effect, Fuzzy Processing Times

I. Giriş

Üretim planlama; imalat ve servis sistemlerinde büyük önem taşımakta olup, çizelgeleme bakımından mümkün kaynakların optimum kullanımını amaçlamaktadır. Ana üretim planından elde edilecek verilerden hareketle oluşturulacak detaylı planlama modelinde yapılacak işlerin sırası ve bu işlerin hangi kaynaklarla yapılacağı bir çizelgeleme problemidir. Üretim Sistemlerinde çizelgeleme teorisi ile elde edilebilecek faydalardan bazıları şöyle sıralanabilir:

- İş merkezlerinin belirlenmesi
- Müşterilerin bekleme zamanlarını minimize etmek
- Proses sürelerini minimize etmek
- Envanter seviyelerini minimize etmek
- Personel ve teçhizatı etkin kullanmak

^(*)Arş. Gör. Atatürk Üniversitesi MF Endüstri M.

^(**)Yrd. Doç.Dr. Atatürk Üniversitesi MF Endüstri M.

Çizelgeleme teorisi ile ilgili literatürün büyük bölümünü toplam akış zamanı, geciken iş sayısı ve toplam gecikme gibi performans ölçütleri oluşturmaktadır. Bu performans kriterlerinden, toplam gecikme ölçütü erken tamamlanan işleri ve cezaları göz ardı ederek sadece geç tamamlanan işler ile ilgilenir. Ancak bu yaklaşım, erken tamamlanmanın da geç tamamlanma kadar önemli kabul edildiği Tam Zamanında Üretim felsefesine (Just-in-Time) artan ilgi ile beraber değişmeye başlamıştır. Teslim tarihinden erken biten işlerde depolama maliyeti, ürünün bozulmasından kaynaklanan maliyet ve benzeri diğer maliyetler ortaya çıkmakta olup, geç tamamlanan işlerde ise müşteri tatminsizliği, sözleşme cezaları, satış ve itibar kayıpları ve bunların getirdiği cezalar söz konusu olmaktadır. Dolayısıyla ideal bir çizelgede tüm işler teslim tarihinde tamamlanmalıdır.

Klasik çizelgeleme problemlerinde her bir operasyon için gerek duyulan zamanları (işlem, hazırlık. vs) sabit bir şekilde tahmin etmek mümkün olmamasına rağmen hep deterministik kabul edilmektedir. Ancak bu durum problemin gerçekliği açısından uygun değildir. Örneğin, aynı işin sürekli yapılmasıyla meydana gelen işlem zamanlarındaki azalmalarla günlük hayatta sık sık karşılaşılabilir. Literatürde Öğrenme Etkisi olarak bilinen bu olgu çizelgelemede ilk kez Biskup tarafından 1999 yılında incelenmiştir (Biskup 1999). Biskup bu çalışmada; çizelgelenecek işleri benzer iş olarak varsaymakta ve çizelgelenen işlerin sırası ilerledikçe işlem zamanları üstel dağılıma bağlı olarak artan şekilde azalma göstereceğini kabul etmektedir. Biskup çalışmalarında tek makineli problemler üzerinde çalışmış ve akış zamanı minimizasyonu, maksimum tamamlanma zamanı, teslim tarihinden en az sapma problemlerini incelemiştir.

Mosheiov ve Sidney (2003) ; Biskup' ın çalışmalarına ilaveten, bazı durumlarda bazı işlerin üretim sürecindeki gelişmelerinin diğer işlere oranla daha hızlı olabileceğini; bu nedenle de her bir işin kendine ait öğrenme zamanı olması gerektiğini savunmuşlardır. Yaptıkları çalışmada toplam akış zamanı minimizasyonu problemini ele almışlardır.

Kuo ve Yang (2006) ise çalışmalarında, öğrenme etkisini zamana bağlı olarak tanımlamışlardır. Aynı zamanda Kuo ve Yang tek makine çizelgeleme problemlerinde toplam tamamlanma zamanının ve tamamlanma zamanının minimizasyonu için polinomial algoritma geliştirmişlerdir.

Cheng ve Wang (2000), maksimum gecikme problemini incelemişlerdir. Eren ve Güner (2007) ise toplam gecikmeyi en küçükleyecek 0-1 tam sayılı program modelini geliştirmişlerdir.

Öğrenme etkisinin E/G performans ölçütlü çizelgeleme problemlerine uygulandığı çalışmalar incelendiğinde; E/G problemleri ile ilgili çalışmaların öğrenme etkili çalışmalardan daha önce olduğu görülmektedir (İşler vd..2009).

Öğrenme Etkisi ve E/G problemi bir arada farklı ölçütlerle; 1999'da Biskup, 2001'de Mosheiov ve Sidney, 2004'te Biskup ve Simons, 2007'de Kuo

ve Yang, 2008'de ise Toksarı ve Güner tarafından yapılan çalışmalarda yer almaktadır (İşler vd. 2009).

Yukarıda ele alınan bütün bu çalışmalarda parametreler deterministik kabul edilmiştir. Ancak, gerçek hayat problemlerinde bu değerlerin (işlem zamanı, taşıma zamanı, hazırlık zamanı, teslim tarihi gibi) sabit bir şekilde tahmin edilmesi oldukça zordur. Parametre değerlerinin sabit olarak düşünülmesi sıralanacak işlerde ayrı bir çalışma konusu teşkil etmektedir. Bu parametre değerlerinin (işlem, hazırlık zamanı, teslim tarihi vs) bulanık sayılarla (Fuzzy Numbers) ifade edilerek çözüme gidilmesi ise yine son yılların çalışma alanlarından. Söz konusu nedenlerden dolayı, bu çalışmada ilgilenilen çizelgeleme problemlerinden Erken/Geç Tamamlanma problemiindeki belirsizlikleri bulanık sayılar ile ifade etmenin daha doğru olduğu düşünülmüştür. Literatüre bakıldığında çizelgeleme problemlerinde bulanık sayıların alınarak çözüme ulaşıldığı çalışmalar mevcuttur (Tsujimura 1995, McCahon 1992, Zhao-Qiang 2001). Ancak yukarıda bahsedilen bu çalışmalarda sadece parametre değerleri bulanık alınmış olup öğrenme etkisi katılmamıştır. Öğrenme etkili bulanık işlem zamanlı çalışma ilk kez Ahmadizar (2011) tarafından performans ölçütü Cmax olan bir problemde uygulanmıştır. Bu çalışmanın amacı ise öğrenme etkili bulanık işlem zamanlı ve bulanık teslim tarihli farklı performans ölçütlü çizelgeleme problemlerine çözüm getirmek ve literatürde ortaya konmuş diğer araştırmalar çerçevesinde gerçek hayat problemlerine uygunluğunu ortaya koymaktır.

II. Materyal ve Yöntem

Günümüzde yeni yaklaşımlarla çağın gerçeklerine daha uygun sistemler uyarlanmaktadır. Bunlardan biri de Tam Zamanında Üretim (Just in Time) sistemidir. İmalat açısından TZÜ sistemi dağıtım stratejisi açısından birtakım zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Ürünün erken tamamlanması depolama ya da sigorta gibi maliyetleri beraberinde getirirken, geç tamamlanması ise müşteri memnuniyetsizliği, satış ve itibar kayıpları gibi olumsuz durumları ortaya çıkarmaktadır. Dolayısıyla bu strateji ile çalışan işletmelerde işlerin, erken tamamlanması da geç tamamlanması kadar önemlidir. Bu kısımda, takip eden bölümlerde Erken/Geç tamamlanma problemi açıklanacak, bulanık sayılarla ilgili bilgi verildikten sonra da öğrenme etkili bulanık işlem zamanı gösterilecektir. Nihayetinde ise, Bulanık Erken/Geç Tamamlanma Probleminin matematiksel modeli verilecektir.

A. Erken/Geç Tamamlanma Problemi

E/G tamamlanma problemleri, erken tamamlanmanın ve gecikmenin aynı anda en küçüklenmesini amaçlayan çizelgeleme problemleridir. i işinin erken ve geç tamamlanması sırasıyla E_i (Earliness) ve T_i (Tardiness) olarak gösterilecek olursa, bu miktarlar şöyle tanımlanabilir.

$$E_i = \max \{0, d_i - C_i\} = (d_i - C_i)^+$$

$$T_i = \max \{0, C_i - d_i\} = (C_i - d_i)^+$$

D_i ; i. İşin teslim tarihi

C_i ; i. İşin tamamlanma zamanı

Ceza fonksiyonlarının lineer olduğu varsayılarak her bir işin birim erken tamamlanma cezası $\alpha_i > 0$ birim geç tamamlanma cezası $\beta_i > 0$. Bir S çizelgesi için temel E/G amaç fonksiyonu $f(S)$ olarak yazılabilir.

$$f(S) = \sum_{i=1}^n [\alpha_i (d_i - C_i) + \beta_i (C_i - d_i)] \quad (1)$$

Yukarıda verilen tanımlar altında, amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$f(S) = \sum_{i=1}^n (\alpha_i E_i + \beta_i T_i) \quad (2)$$

E/G performans ölçütlü çizelgeleme problemlerinde işlere ait teslim tarihlerinin belirlenmesine ilişkin iki farklı yaklaşım mevcuttur (Pinedo 1995).

1. Bütün işlerin ortak teslim tarihine sahip olduğu modeller
2. İşlerin farklı teslim tarihine sahip olduğu modeller.

E/G problemleri için basit sonuçlardan bazıları bütün işlerin ortak teslim tarihine sahip olduğu modeller için türetilir. Farklı teslim tarihlerine izin veren daha genel bir model ve bu tür modellere ait çözümler ortak teslim tarihli problemlerin çözümlerinden doğal olarak farklılık gösterecektir.

B. Bulanık Sayılar

Bulanık sistemlerin en temel elemanı bulanık kümelerdir. Bulanık bir küme; üyeleri kesin olarak belirli olmayan ama aday öğelerin bu kümeye üyelik derecelerinin bulunduğu bir kümedir (Klir vd 1997).

Bir bulanık küme, o kümenin elemanları ve elemanların üyelik dereceleri ile oluşturulabilir. A bir bulanık küme olmak üzere aşağıda verildiği gibi tanımlanabilir;

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\}$$

Burada μ_A , A kümesinin bir elemanı, $\mu_A(x)$ üyelik işlevi, X ise A kümesinin tanımlandığı evrendir.

Üyelik işlevi bir kümenin elemanlarının o kümeye hangi üyelik derecesi ile ait olduğunu gösterir ve $[0,1]$ arasında bir değer ile tanımlanır.

Bulanık küme teorisinde klasik küme teorisinde olduğu gibi kümeler üzerinde tanımlanmış toplama, çıkarma, çarpma, birleşim, kesişim işlemleri vardır. Bu çalışmada bulanık sayılarda aritmetik işlemler yeterli görüldüğünden fazla detaya girilmeden toplama ve çıkarma işlemleri Tanım 1'de verilecektir.

Tanım 1. $\tilde{\alpha}$ ve $\tilde{\beta}$ iki üçgensel bulanık sayı olsun. $\tilde{\alpha} = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$ ve $\tilde{\beta} = (\beta_1, \beta_2, \beta_3)$ arasındaki aritmetik işlemler;

$$(\tilde{a} \oplus \tilde{b}) = (a_1, a_2, a_3) \oplus (b_1, b_2, b_3) = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3) \quad (3)$$

$$(\tilde{a} \ominus \tilde{b}) = (a_1, a_2, a_3) \ominus (b_1, b_2, b_3) = (a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 + b_1) \quad (4)$$

C. Öğrenme Etkili Bulanık İşlem Zamanı

Bu bölümde işlem zamanları ve teslim tarihlerinin bulanık sayılarla ifade edildiği n iş tek makineli çizelgeleme problemi ele alınacaktır. $\tilde{P}_i$; i. inci işin işlem zamanını $\tilde{a}_i$; ise i. inci işin teslim tarihini temsil etsin. İşlem zamanları üçgensel bulanık sayılarla (P_{1i}, P_{2i}, P_{3i}) teslim tarihleri ise yamuk bulanık sayılarla $(a_{1i}, a_{2i}, a_{3i}, a_{4i})$ ifade edilecektir.

Ayrıca, yukarıdaki varsayımlara ilave olarak, aynı veya benzer işlerin tekrarlanmasıyla oluşan Öğrenme Etkisi kavramını da göz önüne alalım. Çizelgeleme problemlerine ilk kez 1999 yılında Biskup tarafından uygulanan bu olgu ile işe yönelik belirli bir alışkanlık kazanılarak işlem zamanlarında, işlerin tekrar sayısı nispetinde azalma meydana gelmektedir. Biskup (1999) tarafından Öğrenme etkisinin formülü şu şekilde tanımlanmıştır.

$$P_{ir} = P_i r^a \quad (5)$$

r: işin kaçınıcı pozisyonda (sırada) yapılacağını gösterir.

P_{ir} : i işinin öğrenme etkisi katıldığında elde edilen işlem zamanı. Eğer i işi r.

Sırada çizelgelendiye işin yapılması için gereken süre azalacaktır.

LR: öğrenme eğrisi parametresi (örneğin %80 öğrenme eğrisi)

a: öğrenme indeksi $\log(LR)/\log(2)$

Öğrenme etkisini göstermek için; bir imalat atölyesinde ilk ürünü üretmek için gerekli zamanın 60 dakika, yapılan işin öğrenme eğrisinin %80 olduğu varsayılın. 10'uncu ürünü üretmek için gerekli zaman aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$a = \log(0.8)/\log(2) = -0.322, \text{ ve } P_{10} = 60 * (10^{-0.322}) = 28.59 \text{ dakika.}$$

Bu makalede, tek makine çizelgeleme problemi için işlem zamanları bulanık sayılarla ifade edildiğinden, öğrenme etkisi katılarak elde edilen işlem zamanları bulanık olup Ahmadizar (2011) tarafından aşağıda verildiği gibidir.

$$\tilde{P}_{ir} = \tilde{P}_i r^a \quad - a \leq 0 \text{ olup} \quad \tilde{P}_{ir} = \tilde{P}_i / r^a \quad i, r = 1, 2, 3, \dots, n \quad (6)$$

Özetle, i'inci işin üçgensel bulanık sayılarla tanımlanan işlem zamanları r'inci pozisyonda çizelgelenirse;

$$\tilde{P}_{ir} = \left(\frac{P_{1i}}{r^a}, \frac{P_{2i}}{r^a}, \frac{P_{3i}}{r^a} \right) \quad i, r = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

elde edilir.

D. Bulanık Erken/Geç Tamamlanma Problemi

Bulanık çizelgeleme problemlerinde işlem zamanı, hazırlık zamanı, teslim tarihleri gibi parametre değerlerinden bir veya birkaçı bulanık sayılarla ifade edilebilir. Yapılan bu çalışmada işlem zamanları $\tilde{P}_i$ ve teslim tarihleri $\tilde{a}_i$

bulanık kabul edilmiştir. Dolayısıyla i işinin bulanık erken tamamlanma ve bulanık geç tamamlanma amaç fonksiyonu aşağıda tanımlandığı gibidir.

$$E_i = \max\{\tilde{0}, \tilde{d}_i \ominus \tilde{C}_i\} \quad \text{ve} \quad T_i = \max\{\tilde{0}, \tilde{C}_i \ominus \tilde{d}_i\}$$

$\tilde{C}_i$ çizelgede yer alan i ' inci işin tamamlanması için gereken zamandır. Bulanık tamamlanma zamanının matematiksel ifadesi aşağıda verildiği gibidir.

$$\tilde{C}_i = \tilde{C}_{i-1} \oplus \beta_i \quad i=1,2,\dots,m \quad (8)$$

Bu durumda; bulanık tamamlanma zamanı da $\tilde{C}_i$ üçgensel bulanık sayılardan oluşur (C_{1i}, C_{2i}, C_{3i}) .

Söz konusu problem için, Wu (2010) çalışmasında tamamlanma zamanı üçgensel, teslim tarihleri yamuk bulanık sayılarla ifade edilen E/G performans ölçütlü problemi için 5 farklı durum açıklamıştır.

Durum1. $C_{3i} \leq d_{1i}$ olduğu durum; i işinin $\tilde{C}$ tamamlanma zamanının teslim tarihinden $\tilde{d}$ oldukça önce tamamlandığını belirtir. Bu durum işin erken tamamlanmasına neden olup aşağıda verildiği gibi ceza maliyet fonksiyonu hesaplanır.

$$\alpha_i E_i + \beta_i T_i = \frac{1}{2} \alpha_i \cdot (d_{1i} + d_{2i} + d_{3i} + d_{4i} - C_{1i} - 2C_{2i} - C_{3i}) \quad (9)$$

Durum2. $C_{2i} \leq d_{2i}$ ve $C_{3i} \geq d_{1i}$ ise $\tilde{C}$ nin solunda kalan alan ile $\tilde{d}$ nin sağındaki alan arasında bir kesişim söz konusudur.

$$\begin{aligned} \alpha_i E_i + \beta_i T_i = & \frac{1}{2} \alpha_i \cdot (d_{1i} + d_{2i} + d_{3i} + d_{4i} - C_{1i} - 2C_{2i} - C_{3i}) \\ & + \frac{1}{2} (\alpha_i + \beta_i) \cdot \frac{(C_{3i} - d_{1i})^2}{C_{3i} - C_{2i} + d_{2i} - d_{1i}} \end{aligned} \quad (10)$$

Durum3. $d_{2i} \leq C_i \leq d_{3i}$ bu durumda $\tilde{C}$ ve $\tilde{d}$ aralığında herhangi bir kesişmenin önemi yoktur.

$$\begin{aligned} \alpha_i E_i + \beta_i T_i = & \frac{1}{2} \alpha_i \cdot (d_{4i} + d_{3i} - C_{1i} - C_{2i}) \\ & + \frac{1}{2} (\beta_i) \cdot (C_{3i} + C_{2i} - d_{1i} - d_{2i}) \end{aligned} \quad (11)$$

Durum4. $C_{2i} \geq d_{3i}$ ve $C_{1i} \leq d_{4i}$, o halde tamamlanma zamanı olan $\tilde{C}$ nin sağında kalan alan ile o işe ait teslim zamanı $\tilde{d}$ nin solundaki alan arasında bir kesişim söz konusudur.

$$\begin{aligned} \alpha_i E_i + \beta_i T_i = & \frac{1}{2} \beta_i \cdot (C_{1i} + 2C_{2i} + C_{3i} - d_{1i} - d_{2i} - d_{3i} - d_{4i}) \\ & + \frac{1}{2} (\alpha_i + \beta_i) \cdot \frac{(d_{4i} - C_{1i})^2}{C_{2i} - C_{1i} + d_{4i} - d_{3i}} \end{aligned} \quad (12)$$

Durum5. $d_{4t} \leq C_{1t}$ bu durum söz konusu ise; o işin teslim tarihinin tamamlanma zamanından önce olduğunu belirtir. Bu durumda i işi geç tamamlanmış olur.

$$\alpha_i E_i + \beta_i T_i = \frac{1}{2} \beta_i (C_{1t} + 2C_{2t} + C_{3t} - d_{1t} - d_{2t} - d_{3t} - d_{4t}) \quad (13)$$

Yukarıda görüldüğü gibi her bir i işi için 5 farklı durum göz önüne alınarak $\alpha_i E_i + \beta_i T_i$ hesaplaması yapılabilir. Dolayısıyla, Optimal bir S çizelgesi için amaç fonksiyonu aşağıda verildiği gibi olacaktır.

$$f(S) = \min \left(\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (\alpha_i E_i + \beta_i T_i) \right) \quad (14)$$

III. Uygulama Bulguları

Bu bölümde geliştirilen matematiksel modelin çözümüne yönelik algoritmanın geçerliliğini göstermek üzere sayısal bir örnek verilerek çözüm sonuçları irdelenecektir. Bölüm II’de geliştirilen matematiksel modelin çözümü için yukarıdaki verilen bilgiler ışığında, problemin optimal sıralamasını elde etmek için geliştirilen algoritma aşağıda gösterildiği gibidir.

Algoritma

Adım1. Başla

Adım2. Her bir çizelge sıralamasındaki işlere öğrenme etkisi kat ve amaç fonksiyonu değerini hesapla.

Adım3. Hiç bir sıralama kalmayana kadar 2. Adımı tekrarla

Adım4. Bütün alternatif sıralamalar arasından optimum çizelgeyi seç

Adım5. Bitir

Sayısal Örnek: Tek makine ve 5 işli bir problemi ele alalım. Problemin parametre değerleri Tablo 1’de verildiği gibidir. Her bir işin öğrenme oranını %80 kabul edilerek geliştirilen modelin amaç fonksiyon değerine göre en iyi alternatifleri bulalım. Aynı zamanda erken tamamlanan işler için ceza maliyeti olarak $\alpha=1$ ve geç tamamlanan işler için ceza maliyeti $\beta=1$ olarak kabul edilmiştir.

Tablo 1: Sayısal Örnek Verileri

İşler (i)	$\vec{P}_i$	$\vec{d}_i$
1	(0.5,1,1.5)	(4,5,6,7)
2	(2.5,3,3.5)	(2.5,3,4,4.5)
3	(5.5,6,6.5)	(5.5,7,8.5,10)
4	(9.5,10,10.5)	(22,24,26,28)
5	(4,6,7)	(12,15,23,27)

Çözüm: Problem için geliştirilen algoritma MATLAB programı ile kodlanarak çözülmüştür. Bulunan sonuçlar Tablo 2’de verilmektedir. Ele aldığımız örnek problem için $5! = 120$ alternatif sıralama mevcuttur. Tablo 2’de verilen sonuçlar görüldüğü gibi tüm alternatif sıralamalar arasında en iyi olan 4 alternatifi göstermektedir.

Tablo 2: Sayısal Örneğin Eniyi Çözüm Sonuçları

No	Sıralama	F(S)
1	2-1-3-4-5	22.5241
*2	*2-1-3-5-4	*20.1737
3	2-3-1-4-5	23.0323
4	3-1-2-5-4	22.8568

Tablo 2’den görüldüğü gibi “optimal çizelge” (2-1-3-5-4) ve bu çizelge sırasındaki öğrenme etkili işlerin tamamlanma zamanı $\bar{C}_2(2.5, 3, 3.5)$, $\bar{C}_1(2.9, 3.8, 4.7)$, $\bar{C}_3(6.76, 8.01, 9.26)$, $\bar{C}_5(9.32, 11.85, 13.74)$ ve $\bar{C}_4(14.98, 17.81, 19.99)$ ’ dir. Klasik çizelgeleme problemlerinde erken tamamlanan bir iş şayet öğrenme etkisi katılırsa daha da erken tamamlanacağı için erken tamamlanma maliyetinin artmasına sebep olacaktır. Yine benzer durumda geç tamamlanan bir işe öğrenme etkisi katılarak elde edilen sonuçlara bakıldığında, işlem süresinde ki azalmadan dolayı iş daha erken tamamlanacak olup bu durum geç tamamlanan işin lehine bir sonuç vermekte ve geç tamamlanma maliyetini azaltmaktadır. Dolayısıyla klasik durumda elde edilen sıralama ve amaç fonksiyonu değerleri ile parametre değerlerinin bulanık sayılarla ifade edilip öğrenme etkisinin katılarak elde edilen sonuçlar arasında birtakım farklılıklar ortaya çıkmaktadır.

IV. Sonuç

Bu çalışmada bulanık tanımlanan işlem ve teslim zamanlarının öğrenme etkili olduğu durumda tek makine çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Tanımlanan performans ölçütü ise Erken/Geç tamamlanan işlerin sayısının minimizasyonudur. Üçgensel bulanık sayılarla tanımlanan işlem zamanlarına öğrenme etkisi olgusu da katılarak problemin çözümüne yönelik matematiksel model geliştirilmiştir. Geliştirilen modelle küçük boyutlu problemler çözülebileceğinden dolayı, modelin uygunluğu 5 işe sahip bir örnek problem üzerinde gösterilmiştir. Bu çalışmadan da görülebileceği gibi, problem Np-zor yapıda olduğundan dolayı geliştirilen model ile ancak çok küçük boyutlu problemler çözülebilmektedir. Bundan sonraki çalışmalarda daha büyük boyutlu problemleri çözmek için sezgisel yöntemler geliştirilebilir. Ayrıca farklı performans ölçütleri ve çok makineli çizelgeleme problemleri de incelenebilir.

Kaynaklar

- Ahmadizar F. And Hosseini L. (2011), "Single machine scheduling with a position-based learning effect and fuzzy processing times"
- Baker, K.R and Scudder, G.D. (1990), "Sequencing with earliness and tardiness penalties: A review", Operations Research, 38(1), ss. 22 36.
- Baker, K.R. (1994), "Elements of Sequencing and Scheduling" Hanover, HN
- Baker, K.R. (1997), "Elements of sequencing and scheduling" Dartmouth College, Hanover,
- Bank, J. And Werner, F. (2001), "Heuristics algorithms for unrelated parallel machine scheduling with a common due date, release dates and linear earliness tardiness penalties", Mathematical and Computer Modelling, (33), ss. 363 383.
- Biskup, D. (1999), "Single-Machine Scheduling with Learning Considerations" European Journal of Operational Research, 115, ss. 89 93.
- Cheng, T.C.E. and Wang, G. (2000), "single machine scheduling with learning effect considerations", Annals Of Operations Research, 98, ss. 273 290.
- Eren, T. ve Güner, E. (2007), "Hazırlık ve Taşıma Zamanlarının Öğrenme Etkili Olduğu Tek Makineli Çizelgeleme Problemleri", Trakya Univ J Sci, 8(1), ss. 7-13.
- İşler M.C, Toklu, B. Çelik V. (2009), "Öğrenme etkili erken/geç tamamlanma çizelgeleme problemleri için bir literatür araştırması", 15, ss. 227 252.
- İşler M.C. (2010), "İmalat sistemlerinde öğrenme etkili akış tipi tam zamanında çizelgeleme probleminin teorik ve uygulamalı incelenmesi"
- İşler, M.C. Çelik, V. Toklu, B. (2009), "İki makine akış tipi öğrenme etkili çizelgelemede ortak teslim tarihinden mutlak sapmaların en küçüklenmesi" 24, ss. 351 357.
- Klir, G. J. Clair, U. Yuan, B. (1997), "Fuzzy Set Theory Foundations and Applications".
- Kuo, W.H Yang (2006), "Minimizing the total completion time in a single machine scheduling problem with a time dependent learning effect"
- McCahon, Lee (1992), "Fuzzy job sequencing for a flow shop" ss. 294 301
- Mosheiov, G. And Shadmon, M. (2001), "Minmax earliness-tardiness costs with unit processing time jobs", ss. 638 652.
- Mosheiov, G. and Sidney, J.B. (2003), "Scheduling with General Job-Dependent Learning Curves", European Journal of Operational Research, 147, ss. 665 670.
- Pinedo, M. (1995) "Scheduling Theory, Algorithms and Systems"
- Sourd, F. (2005), "Earliness/tardiness scheduling with set up considerations"
- Sriyaarachchi, R.H. and Wirth, A. "Earliness/Tardiness scheduling with a common due date and family setups"

- Sun H. And Wang, G. (2003), "Parallel machine earliness and tardiness scheduling with proportional weights" ,Computers and Operations Research, 30, ss. 801 808.
- Tsujimura, (1995), "Solving job shop scheduling problem with fuzzy processing time using Genetic Algorithm"
- Wu Hsien-Chung (2010), "Solving the fuzzy Earliness and Tardiness in Scheduling problems by Using Genetic Algorithms", ss. 4860 4866.
- Zeng,W.X, Nagasawa, H. (1993), "Single-Machine Scheduling For minimizing total cost with identical, asymmetrical earliness and tardiness penalties" ss. 1611 1620.
- Zhao-Qiang Geng and Yi-Ren Zou (2001), "Using HGA to solve E/T scheduling problems with fuzzy processing time and fuzzy due date".
- Zhu,Z.and Heady, R.B. (2000), "Minimizing the sum of earliness/tardiness in multi-machine scheduling: a mixed integer programming approach", Computers&Industrial Engineering, 38 , ss. 297 305.