

ÇOK ÖLÇÜTLÜ AKIŞ TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ İÇİN BİR LİTERATÜR TARAMASI

Tamer EREN*, Ertan GÜNER**

*Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 71450/Kırıkkale

**Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06570/Maltepe/Ankara

Geliş Tarihi : 03.10.2002

ÖZET

Çizelgeleme, imalat ve servis endüstrilerinde çok önemli role sahip bir karar verme prosesidir. Bir firmada çizelgeleme fonksiyonu, matematiksel teknikler veya sezgisel yöntemler kullanarak sınırlı kaynakların görevlere tahsis edilmesi işlemini gerçekleştirir. Çizelgeleme literatüründe birden fazla ölçütün bulunduğu çizelgeleme çalışmaları son yıllarda gittikçe artmıştır. Ancak bu tür problemlerin çözümü tek ölçütlü problemler kadar kolay değildir. Çünkü birbirleri ile çelişen amaçların aynı anda eniyilendiği tek bir çizelgeyi oluşturmak oldukça zordur ve bu konudaki literatür tek ölçütlülere göre daha azdır. Son zamanlarda tek makinalı sistemlerin yanı sıra akış tipi çizelgeleme problemlerinde de çok ölçütlü çalışmalar ilgi çekmektedir. Bu çalışmada, çok ölçütlü akış tipi çizelgeleme problemleri için bir literatür taraması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Sıralama, Akış tipi çizelgeleme, Çok ölçüt, Literatür taraması

A LITERATURE SURVEY FOR MULTICRITERIA FLOWSHOP SCHEDULING PROBLEMS

ABSTRACT

Scheduling is a decision making process in manufacturing and service industry which has an important role. Scheduling function in a firm assigns restricted resources to the tasks using mathematical and heuristic techniques. In scheduling literature multicriteria scheduling problems are faced in an increasing manner in recent years. However, the solution of this kind of problems is not as easy as the single criterion problems. Since the objectives are in conflict with each other, it is very difficult to optimize the objectives simultaneously. The area is less than the literature in single criterion scheduling. Recently, the studies on the multicriteria flowshop scheduling have received attention. This study considers a literature survey for multicriteria flowshop scheduling problems.

Key Words : Sequencing, Flowshop Scheduling, Multicriteria, Literature survey

1. GİRİŞ

Çizelgeleme bir çok imalat ve servis endüstrisinde önemli rol oynayan bir karar verme prosesidir. Satın alma ve üretimde, ulaştırma ve dağıtımda, bilgi işleme ve haberleşmede kullanılır. Çizelgeleme fonksiyonu bir şirkette matematiksel veya sezgisel teknikler yardımı ile işlerin gerçekleştirilmesinde

sınırlı kaynakların tahsis edilmesine imkan sağlar. Kaynakların uygun tahsisi, şirketin amaçlarını eniyilenmesine ve hedeflerine erişmesine imkan sağlar (Baker, 1974).

Çizelgeleme problemlerinde birden fazla ölçütün bulunduğu çizelgeleme çalışmaları son dönemlerde gittikçe artmıştır. Ancak bu tür problemlerin çözümü

tek ölçütlü problemler kadar kolay değildir. Çünkü birbirleri ile çelişen amaçların aynı anda eniyilendiği tek bir çizelgeyi oluşturmak oldukça zordur ve bu konudaki literatür tek ölçütlülere göre daha azdır (Gupta and Kyparisis, 1987; Dileepan and Sen, 1988). Son zamanlarda tek makinalı sistemlerin yanı sıra akış tipi çizelgeleme problemlerinde de çok ölçütlü çalışmalar ilgi çekmektedir.

Bir çok imalat veya montaj ortamlarında işler, çok farklı makinalar üzerinde işlemlerini gerçekleştirmek zorundadır. Tüm işlerin rotası aynı ise, yani tüm işler aynı makinaları aynı sırada takip ediyorlar ise, bu ortam akış tipi olarak adlandırılır. Ne zaman bir iş bir makina üzerinde işlemini tamamlarsa bu iş bir sonraki kuyruğa bağlanır. İşlerin sırası makinadan makinaya değişebilir. Ancak bir malzeme taşıma sistemi, işlerin makinadan makinaya transferi için kullanılıyor ise sistemde aynı iş sırası sürdürülür (Pinedo, 1995).

Bu çalışmada çizelgeleme de sıkça kullanılan çözüm yöntemlerinden kısaca bahsedilmiştir. Bu yöntemler en iyileme yöntemleri ve sezgisel yöntemler olmak üzere iki sınıfta incelenmiştir. Sezgisel yöntemler içinde meta-sezgiseller olarak bilinen tavlama benzetimi, tabu arama ve genetik algoritmadan bahsedilmiştir.

Çalışmada daha sonra çok ölçütlü çizelgeleme problemleri hakkında genel bir bilgi verilip bu konuda yapılan çalışmalar gösterilerek sonuçları değerlendirilmiştir.

2. KULLANILAN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Çizelgeleme problemlerini çözmek için bir çok yöntem kullanılmıştır. Genel olarak bakıldığında yöntemleri eniyileme yöntemleri ile sezgisel yöntemler diye ikiye ayırmak mümkündür.

2. 1. Eniyileme yöntemleri

Eniyileme yöntemleri üç grupta toplanabilir:

İlki dinamik programlama tekniği olup bu teknik bir eniyileme tekniğidir. Bu yöntem çizelgeleme ve diğer kombinatoryal problemler için kullanılan çok aşamalı karar problemidir. Bu yöntemle ilgili en önemli ilk çalışmalar, Held and Karp (1962), Lawler (1964) ile Lawler and Moore (1969) tarafından yapılmıştır. Bu teknik belli kısıtlayıcı kuralları akılcı bir şekilde uygulayarak çok sayıda aday çözümü elimine ederler. Ancak bu teknik büyük boyutlu problemler için etkin değildir. Çünkü durum değişkenlerinin sayısı artarken problemleri çözmek

için gereken işlemlerde artar ve bu özellik büyük boyutlu problemlerin çözümünde dinamik programlama yaklaşımının kullanımını kısıtlar (Lenstra, 1985; Morton and Pentico, 1993; Pinedo, 1995).

İkincisi dal-sınır yaklaşımı olup kombinatoryal problemlerin çözümünde en sık kullanılan yöntemlerden biridir. İlk olarak gezgin satıcı probleminde (Eastman 1959) uygulanmıştır. Bu yöntemde, çözüm zamanları farklı veri setlerine göre önemli derecede değişkenlik gösterir. Dallanan değişken ile sınırlama yaklaşımının seçimi algoritmanın performansını önemli derecede etkiler. Dal-sınır tekniği ile çizelgeleme problemlerinin çözümü, problem boyutu arttıkça zorlaşmaktadır (Pinedo, 1995; Morton and Pentico, 1993).

Bir çok araştırmacı, çizelgeleme problemlerinin değişik versiyonları için tamsayı programlama modelleri geliştirmişlerdir. Bir çizelgeleme problemi tamsayı programlama modeli olarak formüle edilebileceği için mevcut tamsayı programlama algoritmalarıyla çözülebilir. Ancak böyle bir yaklaşım sadece küçük ölçekli problemlere uygulanabilir. Çizelgeleme problemlerinin matematiksel programlama formülasyonları genellikle çok sayıda değişken ve kısıta ihtiyaç duyar. Mevcut tamsayı programlama algoritmaları bu tür problemleri etkin bir şekilde çözmede başarılı değildir. Ancak bu tür formülasyonların bir avantajı birden fazla ölçütü tek bir amaç fonksiyonu altında birleştirebilmesidir (Lenstra, 1985; Morton and Pentico, 1993; Pinedo, 1995).

Diğer bir yaklaşım da tamsayı programlamaya göre modellenmiş bir problemi tamsayı kısıtı olmadan çözmektir. Böylece mevcut doğrusal programlama algoritmalarının kullanımı mümkün olur. Bu algoritmalar aşırı hafızaya ihtiyaç duymaksızın büyük boyutlu problemleri çözülebilir. Ancak bu tür bir yaklaşımın dezavantajı tamsayı olmayan çözümler en yakın tamsayıya yuvarlatılmak zorunda kalmasıdır. Bir çok durumda optimal çözümlerle karşılaştırıldığında bu yuvarlamanın kötü çözümlere yol açtığı gösterilmiştir (Kan, 1976; Pinedo 1995).

2. 2. Sezgisel Yöntemler

Çizelgeleme problemlerinin eniyi çözümü, dal-sınır, dinamik programlama veya tamsayı programlama yöntemleri ile bulunabilir. Ancak bu yöntemler güçlü bir bilgisayara ve çok fazla hesaplama zamanına ihtiyaç duymaktadır ve büyük boyutlu problemlerin çözümünde kullanılmaları uygun olmamaktadır. Son yıllarda yeni sezgisel teknikler geliştirilmiştir. Bu sezgiseller; tavlama benzetimi, tabu arama, genetik algoritma ve karınca kolonisi gibi yaklaşımlardır.

Tavlama benzetimi, kombinatoriyal optimizasyon problemleri için iyi çözümler veren olasılıklı bir arama yöntemidir. "Tavlama Benzetimi" ismi, katıların fiziksel tavlama süreci ile olan benzerlikten ileri gelmektedir. Tavlama benzetimi algoritması, birbirlerinden bağımsız olarak, Kirkpatrick et al. (1983) ve Cherny (1985) tarafından ortaya konmuştur. Günümüze kadar, farklı alanlardaki bir çok eniyileme problemine uygulanmıştır. Tavlama benzetimi, bir katının minimum enerji durumu elde edilene kadar yavaş yavaş soğutulduğu fiziksel tavlama sürecini taklit eden olasılıklı bir arama yöntemidir. Bu yöntem ile üretilen çözümler sırasının amaç fonksiyon değerleri genel bir azalma eğilimindedir. Fakat bazı durumlarda amaç fonksiyonu değerleri yüksek olan çözümler de kabul edilebilmektedir. Bu yolla, yerel bir enküçük etrafında yapılan aramadan çıkılıp, daha iyi bir yerel veya belki de mutlak bir enküçük için aramaya devam etmek amaçlanır. Tavlama benzetiminin kombinatoriyal eniyileme problemleri için eniyiye yakın çözümler veren kullanışlı bir yöntem olarak dikkate alındığı söylenebilir (Aarts and Korst, 1989a,b).

Tabu arama, kombinatoriyal optimizasyon problemlerini çözmek için geliştirilmiş bir sezgisel tekniktir ve başka metotlarla birlikte kullanılarak, bu metotları yerel optimum tuzağına düşmekten koruyan uyarlanabilir bir yaklaşımdır. Tabu aramanın bugünkü modern şeklini Glover (1989; 1990; Glover and Laguna, 1997) ortaya koymuştur.

Tabu arama, başlangıç çözümü, hareket mekanizması, aday liste stratejileri, hafıza, tabu yıkma kriterleri, durdurma koşulları olarak adlandırılan temel elemanlara sahiptir. Tabu aramada başlangıç çözümü rassal olarak seçilebileceği gibi, başlangıç çözümünün belirlenmesinde herhangi başka bir algoritma da kullanılabilir. Hareket mekanizması ise, mevcut çözümde yapılan bir değişiklikle elde edilebilecek yeni çözümleri belirler ve mümkün hareketler, mevcut çözümün tüm komşularını oluştururlar. Hareket mekanizmasının, problem yapısına bağlı olmasının yanı sıra uygun bir şekilde belirlenmesi bu metodun performansı açısından oldukça önemlidir. Komşu arama yönteminde her yeni çizelge amaç fonksiyonun daha düşük bir değerini temsil ettiği için bir iniş tekniği olarak da bilinir (amaç fonksiyonu enküçükleme olduğunda). Çizelge sayısının bir fonksiyonu olarak amaç fonksiyon değeri azalan bir fonksiyonu gösterecektir. Büyük boyutlu problemlerde aramanın erken safhalarında amaç fonksiyon değerinde hızlı bir düşüş olabilirken aramanın sonuna doğru ise bu düşüş daha yavaştır. Komşu arama yöntemlerinin problemlerinden biri, bu yöntemlerin yerel bir eniyi değere yakalanma

eğilimleridir. Çözümleri iyileştiren her yol takip edildiğinde, bu yol mutlak eniyiye gitmeyebilir. Eğer eski çizelgeden daha kötü olan yeni bir çizelge denemesine izin verilirse, yöntem tuzaktan kurtulabilir ve eniyi çözüme giden yolu bulabilir. Daha kötü görünen bir çözüme ara sıra yönelme esnekliği tabu aramanın bir özelliğidir.

Genetik algoritmalar, tavlama benzetimi ve tabu aramadan daha geneldir. Tavlama benzetimi ve tabu arama, genetik algoritmaların özel durumlarıdır. Genetik algoritmaların öncüleri Holland (1975), De Jong (1975) ve Goldberg (1989)'dir. Genetik algoritmada çözüm uzayı, dizi veya kromozom olarak gösterilen aday çözümlerden oluşturulmaktadır. Her kromozomun bir amaç fonksiyonu değeri yani uygunluk değeri bulunmaktadır. Seçilen bir kromozom kümesi ve bunların uygunluk değerleri bir yığın oluşturmaktadır. Genetik algoritmanın her iterasyonunda üretilen bir yığın hacmi, o iterasyonun neslini oluşturur.

Genetik algoritmalar çizelgeleme problemlerine uygulandığında çizelgeler bir yığının üyeleri veya bireyleri olarak dikkate alınır. Her bireyin uygunluğu vardır. Bir bireyin uygunluğu ilgili problemin amaç fonksiyon değeri ile ölçülür. Yöntem iteratif olarak çalışır ve her iterasyon bir nesle karşılık gelir. Bir neslin genişliği önceki nesilden yaşayan bireyler ile önceki neslin çocuklarından (veya yeni çizelgelerden) oluşur. Algoritmada nesile karşılık gelen yığın genişliği bir iterasyondan diğerine genellikle sabittir. Çocuklar önceki neslin bir bölümüne ait bireylerin mutasyonu ve çaprazlaması ile elde edilir. Bireyler, kromozomlar olarak ifade edilir. Çok makinalı bir sistemde bir kromozom alt kromozomlardan oluşur. Bu kromozomların her biri bir makina üzerindeki iş sırası ile ilgilidir. Bir aile kromozomundaki bir mutasyon, ilgili sıradaki eşdeğer iş çiftlerin yer değiştirmesine eşdeğer olabilir. Her nesilde uygunluğu yüksek olan bireyler çoğalırken düşük olanlar ölür. Yeni neslin oluşumunu belirleyen doğum, ölüm, üreme süreçleri karmaşık olabilir ve genellikle mevcut nesil bireylerinin uygunluk seviyelerine bağlıdır.

Karınca sistemi, farklı kombinatoriyal optimizasyon problemlerin çözümünde kullanılabilen genel amaçlı sezgisel bir algoritmadır. Karınca sisteminde, arama aktiviteleri, gerçek karıncaların karakteristiklerini taklit eden basit temel yeteneklere sahip "karınca" olarak adlandırılan ajanlara yaptırılmıştır. Gerçek karıncaların davranışlarına ilişkin araştırmalar çalışmanın büyük bir kısmını oluşturur. Bu çalışmalarda üzerinde durulan problemlerden biri de karıncalar gibi neredeyse kör olan hayvanların

kolonileri içinde besin kaynaklarından geriye doğru en kısa yolu nasıl bulduklarıdır. Yolları gösteren ve nereye gidileceğine karar vermekte kullanılan medya, fenomen izden oluşur. Hareket eden bir karınca, yolu belirlemek üzere bir miktar (değişen miktarlarda) fenomeni yüzeye bırakır. Tek başına bir karınca genellikle rassal olarak hareket etmesine rağmen, yola daha önceden bırakılan bir miktar fenomen ize rastlarsa bu karınca bunu inceler ve bunu takip edip etmemeye karar verir bu yolla da fenomeni izi kendi fenomeni ile güçlendirir. Bu kolektif davranış, bir otokatalitik davranış formudur, karıncalar izi daha çok takip ederlerse, bu iz takip edilmek için daha çekici bir hale gelir. Bu proses bu yüzden pozitif geri besleme olarak adlandırılır. Bir karıncanın bir yolu seçme olasılığı, o yoldan daha önceden geçen karıncaların sayısı arttıkça artar (Dorigo et al., 1996; Dorigo et al., 1999).

3. ÇOK ÖLÇÜTLÜ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ VE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Çizelgeleme problemleri kombinatoriyal optimizasyon problemleri sınıfından olduğu için optimal çözümlerini bulmak oldukça zordur. Genellikle küçük boyutlu ve tek ölçütlü problemler için optimal çözümler bulunabilir. Tek makinalı iki ölçütlü bir çizelgeleme problemi için Van Wassenhove and Gelders (1980), (pseudo-polinom algoritma) ve Chen and Bulfin (1990) tarafından (polinom algoritma) iki algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritmaların her ikisi de iki ölçütlü problem için etkin çözüm seti üretir. Van Wassenhove and Gelders (1980)'in yaklaşımı ile 50 işe kadar olan problemlerin çözümü gösterilmiştir.

Dileepan and Sen (1988), Sen and Gupta (1983) ile Sen et al. (1988)'nin algoritmalarında parametrik yaklaşım kullanarak tüm etkin çözümler üretebilir. Fakat dal ve sınır algoritmasının yapısından dolayı bu algoritmalar polinom veya pseudo-polinom algoritmalar değildir.

Çok ölçütlü problemler daha karmaşık olduğu için bu konudaki literatür tek ölçütlülere göre oldukça azdır. Fakat bir çok uygulamalarda bir çizelgenin değişik ölçütlere göre iyi olup olmadığının ölçülmesinde yarar vardır. Optimal çözümlerin bulunmadığı durumda, karar vericiye değişik alt optimum çözümleri sunmak esneklik sağlar.

Çok ölçütlü problemler için geniş çaplı beş literatür tarama makalesi yayınlanmıştır. İki ölçütlü statik çizelgeleme ile ilgili Dileepan and Sen (1988), tarafından yapılan çalışmada onaltı makale

incelenmiştir. Çalışmada, çizelgeleme problemlerini iki sınıfa ayırmışlardır. Birinci sınıfta; ölçütlerden bir tanesi amaç fonksiyonu olarak alınırken diğeri kısıt olarak alınmakta, ikinci sınıfta ise; çizelge uygun olmak şartıyla her iki ölçütte amaç fonksiyonunu oluşturmaktadır. Çok ölçütlü tek makinalı çizelgeleme üzerinde bir başka çalışma Fry et al. (1989) tarafından yapılmıştır. Tek ve paralel makinalı çok ölçütlü çizelgeleme ile ilgili bir literatür taraması da Eren and Güner (2002) tarafından yapılmıştır. Nagar et al. (1995a) ise, tek ve çok makinalı sistemlerde yapılan iki ve çok ölçütlü çizelgeleme çalışmalarına ait bir literatür araştırması yapmışlardır. Çalışmalarında bir sınıflandırma şeması geliştirerek çalışmaları değerlendirmişlerdir. T'kindt and Billaut (2001), çalışmalarında çok ölçütlü çizelgeleme problemlerin çözümünde çok amaçlı optimizasyon teorisi bağlantısına işaret ederek, karar analizi kavramlarına göre üstesinden gelinmesi mümkün, çok ölçütlü çizelgeleme problemlerinin çözümü için genel bir yapı vermişlerdir.

Çok ölçütlü çizelgeleme problemleri üç şekilde çözümlenmektedir. Birincisi, ölçütlerin ağırlıkları eşit olduğunda problemin bütün etkin çözümleri üretilir. Daha sonra çok ölçütlü karar verme teknikleri kullanılır ve çözümler arasında ödünleşimler yapılır. İkincisi, ölçütlerin ağırlık değerleri farklı olduğunda amaç fonksiyonunda toplam ağırlık fonksiyonu tanımlanır. Böylece problem tek ölçütlü çizelgeleme problemine dönüşür. Sonuncusu ise, problemde ölçütler birincil ve ikincil olarak ayrılmakta önce birincil ölçüt, ikincil ölçüt ihmal edilerek eniyilenmekte, sonra ikincil ölçüt birincil ölçütün performansını azaltmama kısıtı altında eniyi edilmektedir. İlk iki problem "iki ölçütlü" sonuncusuna ise "ikincil ölçütlü" çizelgeleme problemi denir. Problem üç değişik notasyon kullanılır. $\alpha/\beta/F(C_1, C_2)$, burada α iş sayısını, β makina sayısını, $F(C_1, C_2)$; C_1 ve C_2 ölçütlerinin etkin çözümlerini göstermektedir. $\alpha/\beta/F_w(C_1, C_2)$ ise, iki ölçütlü çizelgeleme probleminde iki amaç fonksiyonun toplam ağırlıklı değerini ifade etmektedir. $F_w(C_1, C_2)$; C_1 ve C_2 ölçütlerinin ağırlıklı toplamının etkin çözümlerini göstermektedir. $\alpha/\beta/F_h(C_2/C_1)$ ise, ikincil ölçütü ifade etmektedir. $F_h(C_2/C_1)$; C_1 ölçütünün eniyi değeri altında C_2 ölçütünün hiyerarşik olarak eniyilenmesini ifade etmektedir (Gupta et al. 2001).

İki makinalı akış tipi çizelgeleme probleminde maksimum tamamlanma zamanını enküçükleme ($n/2/C_{max}$) problemi Johnson (1954) kuralı ile $O(n \log n)$ hesaplama zamanı ile çözülür. Ancak

$n/2/C_2$ problemi (C_{max} dışındaki diğer performans ölçütleri) için NP-zor problemidir (Garey, 1976; Chen and Bulfin, 1993).

Akış tipi çok ölçütlü problemlerle ilgili yapılan çalışmalar amaç fonksiyonuna göre şöyle sınıflandırılmıştır.

3. 1. Maksimum Tamamlanma Zamanı ve Akış Zamanı ile İlgili Çalışmalar

3. 1. 1. Maksimum Tamamlanma Zamanı (C_{max}) ve Akış Zamanı (F)

Maksimum tamamlanma zamanı (C_{max}) ve ortalama akış zamanının (\bar{F}) enküçükleme problemini karışık tamsayılı hedef programlama ile ilk defa Selen and Hott (1986) formüle etmişlerdir. Modelleri $mn + n + m$ kısıttan oluşmakta, n^2 0-1 tamsayı ve $2mn - 2n + 1$ kadar da sürekli değişken sayısı vardır.

Wilson (1989), Selen and Hott (1986)'ın modelini daha az değişken kullanarak karışık tamsayılı programlama ile çözmüşlerdir. Model, $2mn + n - m$ kısıttan oluşmakta, n^2 0-1 tamsayı ve mn kadar da sürekli değişken sayısında oluşmaktadır. Modeli kullanarak 7 makina 20 işe kadar çözmüşlerdir.

Gangadharan and Rajendran (1994), maksimum tamamlanma zamanı ve toplam akış zamanını ($\sum F$) enküçükleme için tavlama benzetimi algoritmasını kullanmışlardır. Problemi 25 makine 40 işe kadar çözüp buldukları sonuçları Ho and Chang (1991) ile Ogbu and Smith (1990), algoritmalarının sonuçları ile karşılaştırmışlar ve geliştirdikleri bu sezgiselin daha etkin sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Rajendran (1994a), aynı problem için Nawaz et al. (1983) algoritmasından faydalanarak özel bir sezgisel geliştirmiştir. Sonuçlarını Ho and Chang (1991)'in geliştirdiği algoritma ile 30 makina 50 işe kadar çözmüşlerdir.

Yine Rajendran (1995), maksimum tamamlanma zamanı ve toplam akış zamanı problemini çözmek için Campbell et al. (1970), yöntemini kullanarak bir sezgisel yaklaşım geliştirmiştir. Önerdiği sezgisel yaklaşımı, Ho and Chang (1991)'in yöntemiyle 30 makina 50 işli problemler için karşılaştırmıştır.

Nagar et al. (1995b), iki makinalı akış tipi çizelgelemede ağırlıklı toplam akış zamanı ve ağırlıklı maksimum tamamlanma zamanı ($n/2 / \sum F + C_{max}$) enküçükleme problemini

incelemişlerdir. Problem için dal-sınır yöntemi geliştirmişlerdir. Problemi 10 ve 14 iş için çeşitli ağırlık değerleri vererek çözmüşlerdir.

Sivrikaya-Şerifoğlu and Ulusoy (1998), iki makinalı permütasyon akış tipi probleminde ağırlıklı maksimum tamamlanma zamanı ve ağırlıklı ortalama akış zamanı ve minimize etmek için Rajendran (1992) ve Nagar et al. (1995b)'nin dal-sınır yaklaşımını genişleterek 18 işe kadar çözmüşlerdir. Geliştirdikleri dal-sınır yaklaşımının alt sınırlarını Ignall and Schrege (1965)'den daha iyi sonuç verdiğini göstermişlerdir. Rajendran and Chaudhuri (1991) ve kendi geliştirdikleri sezgisel yöntemi karşılaştırarak da 2 makinalı 500 işe kadar değişik ağırlık değerleri vererek çözmüşlerdir.

Lee and Chou (1998), aynı problem için iki makinalı akış tipi çizelgelemede $n^2 + 2n$ değişkenli ve $3n$ kısıtlı tamsayılı programlama ile modellemişlerdir. Ayrıca problem için karmaşıklığı $O(n^2)$ olan bir sezgisel yaklaşımın eniyiye çok yakın sonuçlar verdiğini 15 işe kadar çözümlenmişlerdir.

Sayın and Karabatı (1999), iki makinalı akış tipi çizelgeleme probleminde maksimum tamamlanma zamanı ve toplam tamamlanma zamanı problemini çözmüşlerdir. Problemi 28 işe kadar çözen bir dal ve sınır algoritmasını Klein and Hannan (1982)'nin geliştirdiği çok amaçlı tamsayılı doğrusal programlama özelliklerinden faydalanmışlardır.

Yeh (1999), ağırlıklı toplam akış zamanı ve ağırlıklı maksimum tamamlanma zamanı problemi için iki makinalı akış tipi çizelgeleme problemi için dal-sınır algoritması geliştirmiştir. Yeh (1999) çalışmasında algoritmasını, Nagar et al. (1995b) algoritması ve Greedy Algoritması ile 200 işe kadar çözümlenmiş sonuçları karşılaştırmışlardır.

Chou and Lee (1999), iki makinalı ağırlıklı toplam akış zamanı ve maksimum tamamlanma zamanı problemini çözmek için bir tamsayılı programlama modeli sunmuşlardır. Modelleri;

$$\text{Min } Z = \alpha \sum_{k=1}^n (C_k - D_k) + \beta C_N$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^n Z_{ik} = 1; k = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{k=1}^n Z_{ik} = 1; i = 1, 2, \dots, n$$

$$\begin{aligned} S_k &\geq D_k ; k = 1, 2, \dots, n \\ S_1 &\geq R_1 ; S_k \geq (S_{k-1} + A_{k-1}) ; \\ k &= 2, 3, \dots, n \\ X_1 &= S_1 + A_1 + Y_1 - R_2 ; \\ X_k &= S_k + A_k + Y_k - R_{k-1} ; k = 2, 3, \dots, n \end{aligned}$$

Burada; n ; iş sayısını, α ve β ; toplam akış zamanı ve maksimum tamamlanma zamanı için ağırlık değerlerini, C_k ; ikinci makinada k . sıradaki işin tamamlanma zamanını, D_k ; k . sıradaki işin sisteme giriş zamanını, Z_{ik} ; i . iş k . sırada çizelgelenmişse $Z_{ik} = 1$ aksi halde $Z_{ik} = 0$, S_k ; birinci makinada k . sıradaki işin başlama zamanını, R_k ; k . makinanın hazır olma zamanını Y_k ise; k . sıradaki iş için o işin birinci makinada tamamlanma zamanı ile ikinci makinada işleme başlanması arasındaki farkı, X_k ; ikinci makinada k . sıradaki işin boş zamanını ifade etmektedir. Chou and Lee (1999), ayrıca geliştirdikleri sezgiselin eniyiye çok yakın sonuçlar verdiğini 15 işe çözerek göstermişlerdir.

Su and Chou (2000), toplam akış zamanı ve maksimum tamamlanma zamanını enküçükleme problemini hazırlık ve işlem zamanları ayrılmış dinamik akış tipi çizelgeleme problemi için tamsayı programlama modeli sunmuşlardır. Modeli;

$$\text{Min } Z = \alpha \sum_{k=1}^n (C_{k2} - D_k) + (1 - \alpha) C_{n2}$$

Kısıtlar:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n Z_{ik} &= 1 ; k = 1, 2, \dots, n \\ \sum_{k=1}^n Z_{ik} &= 1 ; i = 1, 2, \dots, n \\ T_k &\geq D_k ; k = 1, 2, \dots, n \\ T_1 &\geq R_1 ; T_k \geq (T_{k-1} + S_{[k-1]1} + A_{k-1}) ; \\ k &= 2, 3, \dots, n \\ C_{12} &= R_2 + Z_1 + S_{[1]2} + X_1 + B_1 \\ C_{k2} &= C_{k-1,2} + Z_k + S_{[k]2} + X_k + B_k \\ k &= 2, 3, \dots, n \\ Z_1 &= T_1 + S_{[1]1} + A_1 + Y_1 - R_2 - S_{[1]2} - X_1 , \\ Z_k &= T_k + S_{[k]1} + A_k + Y_k - C_{k-1,2} - S_{[k]2} - X_k , \\ k &= 2, 3, \dots, n \\ X_1 &= T_1 + S_{[1]1} + A_1 + Y_1 - R_2 - Z_1 - S_{[1]2} , \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_k &= T_k + S_{[k]1} + A_k + Y_k - C_{k-1,2} - Z_k - S_{[k]2} , \\ k &= 2, 3, \dots, n \end{aligned}$$

şeklinde tanımlamışlar. Burada; n ; iş sayısını, α ve $(1 - \alpha)$; toplam akış zamanı ve maksimum tamamlanma zamanı için ağırlık değerlerini, C_{kj} ; j . makinada k . sıradaki işin tamamlanma zamanını, D_k ; k . sıradaki işin sisteme giriş zamanını, T_k ; birinci makinada k . sıradaki işin başlama zamanını, Z_{ik} ; i . iş k . sırada çizelgelenmişse $Z_{ik} = 1$ aksi halde $Z_{ik} = 0$, $S_{[k]j}$; j . makinada k . sıradaki işin hazırlık zamanı, R_k ; k . makinanın hazır olma zamanını, Y_k ise; k . sıradaki iş için o işin birinci makinada tamamlanma zamanı ile ikinci makinada işleme başlanması arasındaki farkı, X_k ; ikinci makinada k . sıradaki işin boş zamanını ifade etmektedir. Problem için sezgisel bir yaklaşımda sunup 15 işe kadar çözmüşlerdir. Sezgiselin çözüm kalitesi %99'un üzerinde çıkmıştır.

Framinan et al. (2002) aynı problemi Nawaz et al. (1983)'nin sundukları yöntemin aşamalarını yeniden gözden geçirerek iki ölçütlü probleme uyarlamıştır. Ortalama akış zamanı ve maksimum tamamlanma zamanı arasında ödünleşimler yapmışlar ve diğer sezgisel yöntemlerden (Rajendran and Chaudhuri, 1991; Rajendran, 1992; Rajendran, 1993; Rajendran, 1994a; Rajendran, 1995; Ho, 1995; Woo and Yim, 1998) daha etkin çözümler verdiğini 20 makina 200 işe kadar çözerek göstermişlerdir.

T'Kindt et al. (2002a), iki makinalı akış tipi çizelgeleme probleminde toplam tamamlanma zamanı ve maksimum tamamlanma zamanını $n/2/C_{\max}$, $\sum F_i$ enküçükleme için karınca kolonisi yöntemi ile 200 işe kadar çözmüştür.

Allahverdi and Aldowasian (2002), aynı problemi m makinalı durum için 18 işe kadar çözen bir dal-sınır yöntemi geliştirmiştir. Ayrıca problem için özel bir sezgisel geliştirerek, Gangadharan and Rajendran (1993), Rajendran (1994b), Rajendran and Chaudhuri (1990) ve Chen et al. (1996)'in geliştirdikleri sezgisellere karşılaştırarak 20 makina 120 işe kadar çözmüşlerdir.

Allahverdi (2002), akış tipi çizelgeleme problemlerinde ağırlıklı maksimum tamamlanma zamanı ve ortalama akış zamanı problemin 2 makinalı ve m makinalı durum için daha önce geliştirilen sezgisel yöntemlerle (Nagar et al., 1995a; Nagar et al., 1995b; Sivrikaya-Şerifoğlu and Ulusoy, 1998; Lee and Chou, 1998) kendisinin geliştirdiği

sezgiseli 2 makina için 600 işe kadar, 20 makinalı durum için ise 300 işe kadar çözmüştür.

3. 1. 2. Maksimum Tamamlanma Zamanı (C_{max}) Kısıtı Altında Toplam Akış Zamanı ($\sum F$)

Rajendran (1992), iki makinalı maksimum tamamlanma kısıtı altında toplam akış zamanını enküçükleme problemini dal-sınır yöntemi kullanarak 10 işe kadar çözmüştür. Problem için ayrıca iki özel sezgisel algoritma geliştirmiştir. Geliştirdiği yöntemi 24 işe kadar çözüp, sonuçlarını Johnson (1954) algoritması ile karşılaştırmışlardır.

Neppalli et al. (1996)'de iki makinalı akış tipi çizelgelemede aynı problemi incelemişlerdir. Problem çözmek için genetik algoritmayı kullanmışlar. Geliştirdikleri algoritma ile de 80 işe kadar çözmüşlerdir.

Maksimum tamamlanma zamanı kısıtı altında toplam akış zamanını minimize etme problemini Gupta et al. (1999) de incelemişlerdir. Problem için tabu arama sezgiseli geliştirmişlerdir. 4 farklı faktöre göre performansını değerlendirmişlerdir. Bunlar başlangıç çözümü, hareket tipi, komşu büyüklüğü ve tabu listesi uzunluğudur. Gupta et al. (1999) geliştirdikleri sezgiselin Rajendran (1992) yönteminden daha iyi sonuç verdiğini 2 makina 80 işe kadar çözüp göstermişlerdir.

T'Kindt et al. (2001), maksimum tamamlanma zamanı kısıtı altında toplam akış zamanını enküçükleme problemini yaptıkları çalışmada iki makinalı akış tipi problemde 35 işe kadar çözen bir dal-sınır algoritması geliştirmiştir. Problem için ayrıca özel bir sezgisel geliştirerek 150 işe kadar çözmüşlerdir. Geliştirdiği sezgisel yaklaşımın eniyiye çok yakın çözümler verdiğini göstermişlerdir.

Gupta et al. (2001), iki makinalı akış tipi çizelgeleme problemi için maksimum tamamlanma kısıtı altında toplam akış zamanını enküçükleme probleminde için sezgisel yaklaşımlar önermişlerdir. Sezgiselleri; yapısal (constructive), kontrollü eklenen (controlled insertion), ve iteratif düzelme gösteren (iterative improvement) olmak üzere üçe ayırmıştır. Her birinden de üçer sezgiseli ele almıştır. (Gupta, 1972; Nawaz et al. 1983; Rajendran 1993, Neppalli et al. 1996, Gupta et al. 1999).

Maksimum tamamlanma kısıt altında toplam akış zamanını enküçükleme probleminde T'kindt et al. (2002b), 35 işe kadar çözen bir dal-sınır algoritması geliştirmişlerdir. Ayrıca problemi yine kesin sonuç

veren karışık tamsayı programlama ile 27 işe kadar ve dinamik programlama ile de 17 işe kadar çözmüşler ve performansını karşılaştırmışlardır. Problemi 150 işe kadar çözen sezgisel sunup, iki, sezgisel (Rajendran, 1992; Gupta et al. 2002) yöntem ile karşılaştırmışlardır.

Gupta et al. (2002), iki makinalı akış tipi çizelgeleme problemi için maksimum tamamlanma kısıt altında toplam akış zamanı ve maksimum tamamlanma kısıt altında ağırlıklı toplam akış zamanı, enküçükleme için tavlama benzetimi, Dueck and Scheuer (1990)'in geliştirdiği yöntem, tabu arama, çok dereceli (multi-level) sezgiseller ve genetik algoritmayı kullanarak 80 işe kadar çözmüştür.

3. 2. Maksimum Tamamlanma Zamanı ve Geç Bitirme ile İlgili Çalışmalar

3. 2. 1. Maksimum Tamamlanma Zamanı (C_{max}) ve Maksimum Geç Bitirme (T_{max})

Daniels and Chambers (1990), iki makinalı akış tipi çizelgeleme problemi için maksimum tamamlanma zamanı ve maksimum geç bitirme ölçütlerini küçük boyutlu problemler için ödünleşim eğrileriyle etkin çizelgeler bulmuşlardır. Büyük boyutlu problemler için de Van Wassenhove ve Gelders (1980), algoritmasından yararlanarak bir sezgisel yaklaşım geliştirmişler ve 20 işe kadar çözmüşlerdir. Ayrıca algoritmayı m makinalı akış tipi çizelgeleme problemi içinde uyarlayıp 10 makina 10 işe kadar çözmüşlerdir.

Murata et al. (1996) ve Ishibuchi and Murata (1998), ağırlıklı maksimum tamamlanma zamanı ve ağırlıklı maksimum geç bitirme problemini Schaffer (1985)'in VEGA (vektör değerlendirme) yöntemini kullanarak 20 iş 10 makinaya genetik algoritma ile çözmüşlerdir:

Maksimum tamamlanma zamanı ve maksimum geç bitirmeyi enküçükleme problemini Chakravarthy and Rajendran (1999)'da incelemişlerdir. Problemi çözmek için sezgisel bir yaklaşım olan tavlama benzetimini kullanarak 25 makine 50 işe kadar çözüp sonuçları Daniels and Chambers (1990)'ın geliştirdiği yaklaşımla karşılaştırmışlardır.

Chang et al. (2002), çok amaçlı akış tipi çizelgeleme problemleri için kademeli öncelik ağırlıklandırma yaklaşımı geliştirmişlerdir. İki ölçütlü olarak ağırlıklı maksimum tamamlanma zamanı ve ağırlıklı toplam geç bitmeyi Pareto eniyileme çözüm yöntemi ile bulmuşlardır. Problemlerini 30 iş ve 20 makinaya kadar test problemlerde uygulamışlardır.

Gupta et al. (2002), iki makinalı akış tipi çizelgeleme problemi için maksimum tamamlanma kısıt altında ağırlıklı geç bitirme problemini, enküçükleme için tavlama benzetimi, Dueck and Scheuer (1990)'in geliştirdiği yöntem, tabu arama, çok dereceli (multi-level) sezgiseller ve genetik algoritmayı kullanarak 80 işe kadar çözmüştür.

3. 2. 2. Maksimum Tamamlanma Zamanı (C_{max}) ve Ortalama Geç Bitirme (\bar{T})

Liao et al. (1997), iki makinalı akış tipi çizelgeleme probleminde maksimum tamamlanma zamanı ve ortalama geç bitirme ($n/2/C_{max}, \bar{T}$) problemini Johnson (1954) algoritmalarını kullanarak alt sınır değerlerini bulmuşlardır. Problemi 2 makina 30 işe kadar çözmüşlerdir.

3. 3. Çok Ölçütlü Çalışmalar

Rajendran (1995), maksimum tamamlanma zamanı, toplam akış zamanı ve makina boş zamanı enküçükleme problemini çözmek için özel bir sezgisel geliştirmişlerdir. Önerdiği sezgisel yaklaşımı Ho and Chang (1991) yöntemiyle karşılaştırmış ve daha etkin çözümler verdiğini 50 iş 30 makinaya kadar çözüp göstermiştir.

Murata et al. (1996) ve Ishibuchi and Murata (1998), Ağırlıklı maksimum tamamlanma zamanı, ağırlıklı maksimum geç bitirme ağırlıklı toplam akış zamanı problemini Schaffer (1985)'in VEGA yöntemini kullanarak 20 iş 10 makinaya kadar çözen genetik algoritmayı kullanmışlardır.

Allahverdi (2001), iki makinalı akış tipi çizelgeleme problemlerde en çok kullanılan üç ölçüt olan ağırlıklı maksimum tamamlanma zamanı, ortalama akış zamanı ve maksimum gecikmeyi enküçükleme problemi için dal-sınır algoritması ile 18 işe kadar çözmüştür. Daha sonra daha önce geliştirilmiş sezgisel metodları kullanarak 6 tane sezgisel metod geliştirmiştir (Nawaz et al., 1983; Rajendran and Ziegler, 1997; Johnson, 1954; SPT; EDD). Sezgiselleri kullanarak 800 işe kadar çözüp sonuçları eniyi çözüme çok yakın sonuç verdiğini göstermiştir.

Chang et al. (2002), çok amaçlı akış tipi çizelgeleme problemleri için kademeli öncelik ağırlıklandırma yaklaşımı geliştirmişlerdir. Çok ölçütlü olarak ağırlıklı maksimum tamamlanma zamanı ve ağırlıklı toplam geç bitmeyi ve ağırlıklı toplam akış zamanını enküçükleme problemini Pareto eniyileme çözüm yöntemi ile bulmuşlardır. Problemlerini 30 iş ve 20 makinaya kadar test problemlerde uygulamışlardır.

Lee et al. (2002), toplam akış zamanı, maksimum geç bitirme ve geciken iş sayısını enküçükleme problemi için bulanık mantık ile tabu arama yöntemini kullanmışlardır.

3. 4. Yapılan Diğer Çalışmalar

Liao et al. (1997), iki makinalı akış tipi çizelgeleme probleminde maksimum tamamlanma ve geciken iş sayısı problemini ($n/2/C_{max}, n_T$) Daniels and Chambers (1990) ile Johnson (1954) algoritmalarını kullanarak alt sınır değerlerini bulmuşlardır. Problemi 2 makine 30 işe kadar çözmüşlerdir.

Sharadapriyadarshini and Rajendran (1997), makine boş zamanı ile işin bekleme süresi minimize etme ($n/m/\bar{I}, \bar{W}$) problemini çözmek için sezgisel bir algoritma sunmuşlardır. Problemlerini 40 iş 30 makine için çözüp sonuçları Ho and Chang (1991), Rajendran (1993), Gelders and Sambandam (1978), Widmer and Hertz (1989) ve Miyazaki and Nishiyama (1980) sezgiselleri ile karşılaştırmışlardır.

Lee and Wu (2001), iki makinalı akış tipi problemde ağırlıklı toplam akış zamanı ve ağırlıklı ortalama geç bitirmeyi enazlamak için 18 işe kadar çözen dal-sınır yaklaşımı geliştirmişlerdir.

Ayrıca Allahverdi and Mittenthal (1998), maksimum tamamlanma zamanı ve maksimum gecikme problemini makinanın rasgele bozulma durumuna göre stokastik olarak incelemiştir.

Yapılan çalışmalar Tablo 1 ve Tablo 2'de toplu olarak verilmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada literatürdeki çok ölçütlü akış tipi çalışmalar gözden geçirilmiştir. Bu çalışmaların genel bir değerlendirilmesi yapıldığında şu sonuçlar tespit edilmiştir:

- Akış tipi iki ölçütlü çizelgeleme probleminde en çok kullanılan ölçütler, Maksimum tamamlanma zamanı ve akış zamanı ile ilgili ölçütlerdir.
- Araştırmacılar bu tür problemlerin çözümünde, eniyileme yöntemi olarak en çok dal-sınırı kullanmışlardır.
- En çok kullanılan sezgisel yöntem genetik algoritmadır. Bunu, tavlama benzetimi ve tabu arama takip etmektedir.
- Akış tipi çizelgeleme problemlerinde en çok iki makinalı sistemler kullanılmaktadır.
- Akış tipi çizelgeleme problemlerinde yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu deterministiktir.

Önümüzdeki yıllarda akış tipi çizelgeleme problemlerine olan ilgi daha da artacağı ve iki

makinadan m makinalı sistemlere doğru yaygınlaşacağı düşünülmektedir.

Eniyileme yöntemlerinin kısıtlı imkanlarından dolayı sezgisel yöntemlere olan ilgi daha da artacağı ve karınca kolonisi gibi diğer sezgisellere de yönelme olacağı tahmin edilmektedir.

Gerçek hayat problemlerini daha iyi yansıtması açısından deterministik çalışmaların yanı sıra stokastik problemlere de yönelinmesi gerektiği düşünülmektedir. Ayrıca tam zamanında üretim felsefesinin popüler olduğu günümüzde gecikme tabanlı problemlere de bu kapsamda daha fazla önem verilmesi gerekmektedir.

Tablo 1. Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinde Yapılan Çalışmalar (1)

Problem tanımı	Çalışmayı yapanlar	Eniyileme yöntemi	Sezgisel yöntemler
$n/m/C_{\max}, F$	Selen ve Hott (1986)	matematiksel programlama	-
	Wilson (1989)	matematiksel programlama	-
	Gangadharan and Rajendran (1994)	-	tavlama benzetimi
	Rajendran (1994a)	-	özel sezgisel
	Rajendran (1995)	-	özel sezgisel
	Framinan et al. (2002)	-	özel sezgisel
	Allahverdi ve Aldowaisan (2002) Allahverdi (2002)	dal-sınır -	özel sezgisel özel sezgisel
$n/2/C_{\max}, F$	Nagar et al 1995b	dal-sınır	-
	Sivrikaya-Şerifoğlu ve Ulusoy (1998)	dal-sınır	özel sezgisel
	Lee and Chou (1998)	matematiksel programlama	özel sezgisel
	Sayın ve Karabatı (1999)	dal-sınır	-
	Yeh, (1999)	dal-sınır	özel sezgisel
	Chou and Lee (1999)	matematiksel programlama	özel sezgisel
	Su and Chou (2000) T'Kindt et al. (2002)	dal-sınır -	özel sezgisel karınca kolonisi
$n/2/\sum F: C_{\max}$	Rajendran (1992)	dal-sınır	özel sezgiseller
	Neppalli et al. (1996)	-	genetik algoritma
	Gupta et al. (1999)	-	tabu arama
	T'Kindt et al. (2001)	dal-sınır	özel sezgisel
	Gupta et al. (2001)	-	özel sezgiseller
	T'kindt et al. (2002)	dal-sınır	özel sezgiseller
	Gupta et al. (2002)	-	genetik algoritma, tabu arama, tavlama benzetimi ve özel sezgiseller

Tablo 2. Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinde Yapılan Çalışmalar (2)

Problem tanımı	Çalışmayı yapanlar	Eniyileme yöntemi	Sezgisel yöntemler
$n/m/C_{\max}, T_{\max}$	Daniels and Chambers (1990),	ödüneşim	özel sezgisel
	Chakravarthy and Rajendran (1999)	-	özel sezgisel
	Murata et al. (1996)	-	genetik algoritma
	Ishibuchi and Murata (1998)	-	genetik algoritma
	Chang and. (2002)	pareto eniyileme yöntemi	-
$n/2/C_{\max}, \bar{T}$	Liao et al. (1997)	dal-sınır	-
$n/m/C_{\max}, \sum F, I$	Rajendran (1995)	-	özel sezgisel
$n/m/C_{\max}, T_{\max}, \sum F$	Murata (1996)	-	genetik algoritma
	Ishibuchi and Murata (1998)	-	genetik algoritma
$n/2/C_{\max}, \sum F, L_{\max}$	Allahverdi (2001)	dal-sınır	özel sezgiseller
$n/m/C_{\max}, \sum T, \sum F$	Chang and. (2002)	pareto eniyileme yöntemi	-
$n/m/F/\sum F, T_{\max}, n_T$	Lee et al. (2002)	-	bulanık mantık ve tabu arama
$n/2/C_{\max}, n_T$	Liao et al. (1997)	dal-sınır	-
$n/m/\bar{I}, \bar{W}$	Sharadapriyadarshini and Rajendran (1997)	-	özel sezgisel
$n/2/\sum F + \bar{T}$	Lee and Wu (2001)	dal -sınır	-

KAYNAKLAR

- Aarts, E. H. L., Korst, J. H. 1989a. Simulated Annealing and Boltzmann Machines: A Stochastic Approach to Combinatorial optimization and Neural Computing, Wiley, New York.
- Aarts, E. H. L., Korst, J. H. 1989b. Boltzmann Machines for Traveling Salesman Problems, *European Journal of Operational Research*, Volume 39, No. 1, pp. 79-95.
- Allahverdi, A. 2001. The Tricriteria Two-Machine Flowshop Scheduling Problems, *International Transactions Operational Research*, Vol. 8, pp. 403-425.
- Allahverdi, A. 2002. The Two- and m -Machine Flowshop Scheduling Problems with Bicriteria of Makespan and Mean Flowtime, *European Journal of Operational Research* (in Press).
- Allahverdi, A., Mittenthal, J. 1998. Dual Criteria Scheduling on a Two-machine Flowshop Subject to Random Breakdowns, *International Transactions in Operational Research*, Volume 5, No: 4, pp. 317-324.
- Allahverdi, A., Aldowaisan, T. 2002. No-wait Flowshop with Bicriteria of Makespan and Total Completion Time, *Journal of Operational Research Society*, Volume 53, pp. 1004-1015.
- Baker, K. R. 1974. Introduction to Sequencing and Scheduling, John Wiley and Sons, New York.
- Campbell, H. G., Dudek, R. A., Smith, M. L. 1970. A Heuristic Algorithm for The n -Job, m -Machine Sequencing Problem, *Management Science*, Volume 16, pp. 630-637.
- Chakravarthy, K., Rajendran, C. 1999. A Heuristic for Scheduling in a Flowshop with the Bicriteria of Makespan and Maximum Tardiness Minimization, *Production Planning and Control*, Volume 10, No: 7, pp. 707-714, 1999.
- Chang, P. C., Hsieh, J.-C., Lin, S.-G. 2002. The Development of Gradual Priority Weighing Approach for The Multi-Objective Flowshop Scheduling Problem, *International Journal of Production Economics* (in press).
- Chen, C. L., Bulfin, R.L. 1990. Scheduling Unit Processing Time Jobs on A Single Machine with Multiple Criteria, *Computers and Operations Research*, Volume 17, No: 1, pp. 1-7.
- Chen, C. L., Bulfin, R. L. 1993. Complexity of Single Machine Multi-criteria Scheduling Problems, *European Journal of Operational Research*, Volume 70, pp. 115-125.
- Chen, C., Neppalli, V., Aljaber, N. 1996. Genetic Algorithms Applied to The Continuous Flowshop Problem, *Computers and Industrial Engineering*, Volume 30, pp. 919-929.
- Cherny, V. 1985. Thermodynamical Approach to Traveling Salesman Problem: an Efficient Simulation Algorithm, *Journal of Optimization Theory and Applications*, Volume 45 No: 1, pp. 41-51.
- Chou, F. D., Lee, C. E. 1999. Two-Machine Flowshop Scheduling with Bicriteria Problem, *Computers and Industrial Engineering*, Volume 36, pp. 549-564.
- Daniels, R. L., Chambers, R. J. 1990. Multiobjective flow-Shop Scheduling, *Naval Research Logistics*, Volume 37, pp. 981-995.
- De Jong, K. A. 1975. An Analysis of the Behavior of a Class of Genetic Adaptive Systems, Ph.D. Thesis, University of Michigan.
- Dileepan, P., Sen, T. 1988. Bicriterion Static Scheduling Research For A Single Machine, *OMEGA International Journal of Management Science*, Volume 16, No: 1, pp. 53-59.
- Dorigo, M., Maniezzo V., Colomi A. 1996. Ant System: Optimization by A Colony of Cooperating Agents. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Volume 26, No: 1, pp. 29-41.
- Dorigo, M., Di Caro, G., Gambardella, L. M. 1999. Ant Algorithms for Discrete Optimization, *Artificial Life*, Volume 5, No: 2, pp. 137-172.
- Dueck, G., Scheuer, T. 1990. Threshold Accepting: A General Purpose Optimization Algorithm Appearing Superior to Simulated Annealing, *Journal of Computational Physics*, Volume 90, pp. 161-175.
- Eastman, W. L. 1959. A Solution to the Travelling-Salesman Problem, *Econometrica*, Volume 27, pp. 282.
- Eren, T., ve Güner, E. 2002. Tek ve Paralel Makinada Çok Ölçütlü Çizelgeleme Problemleri için Bir Literatür Taraması”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 17, No: 4, s. 37-70.
- Framinan, J. M., Leisten, R., Ruiz-Usano, R. 2002. Efficient Heuristics for Flowshop Sequencing with The Objectives of Makespan and Flowtime Minimisation, *European Journal of Operational Research*, Volume 141, pp. 559-569.
- Fry, T. D., Armstrong, R. D., Lewis, H. 1989. A Framework for Single Machine Multiple Objective Sequencing Research, *OMEGA*, Volume 17, No: 6, pp. 595-607.
- Gangadharan, R., Rajendran, C. 1993. Heuristic Algorithms for Scheduling in The No-wait Flowshop, *International Journal of Production Economics*, Volume 32, pp. 285-290.
- Gangadharan, R., Rajendran, C. 1994. A Simulated Annealing Heuristic for Scheduling in a Flowshop with Bicriteria, *Computers and Industrial Engineering*, Volume 27, No: 1-4, pp. 473-476.
- Garey, M. R., Johnson, D. S., Sethi, R. 1976. The Complexity of Flowshop and Jobshop Scheduling, *Mathematics of Operations Research*, Volume 1, No: 2, pp. 117-129.
- Gelders, F. L., Sambandam, N. 1978. Four Simple Heuristic for Scheduling a Flowshop, *International Journal of Production Research*, Volume 16, pp. 221-231.

- Glover, F. 1989. Tabu Search - Part I, ORSA Journal on Computing, Volume 1, No: 3, pp. 190-206.
- Glover, F. 1990. Tabu Search - Part II", ORSA Journal on Computing, Volume 2, No: 1, pp. 4-32.
- Glover, F., and Laguna, M., 1997, Tabu Search, Kluwer Academic Publishers, United States of America.
- Goldberg, D. E. 1989. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley, Reading, M. A.
- Gupta, J. N. D. 1972. Heuristic Algorithm for Multi-Stage Flowshop Scheduling Problem, AIIE Transactions, Volume 3, pp. 11-18.
- Gupta, J. N. D., Hennig, K., Werner, F. 2002. Local Search Heuristic for Two-stage Flow Shop Problems with Secondary Criterion, Computers and Operations Research, Volume 29, pp. 123-149.
- Gupta, S., Kyparisis, J. 1987. Single Machine Scheduling Research, OMEGA International Journal of Management Science, Volume 15, No: 3, pp. 207-227.
- Gupta, J. N. D., Palanimuthu N., Chen C. – L. 1999. Designing and Tabu Search Algorithm for the Two-Stage Flow Shop Problem with Secondary Criterion", Production Planning and Control, Volume 10, No: 3, pp. 251-265.
- Gupta, J. N. D., Neppalli V. R., and Werner, F. 2001. Minimizing Total Flow Time in A Two-Machine Flowshop Problem with Minimum Makespan, International Journal of Production Economics, Volume 69, pp. 323-338
- Held, M., and Karp, R. M. 1962. A Dynamic Programming Approach to Sequencing Problems, SIAM Journal on Applied Mathematics, Volume 10, No: 1, pp. 196-210.
- Ho, J. C. 1995. Flowshop Sequencing with Mean Flowtime Objective, European Journal of Operational Research, Volume 81, pp. 571-578.
- Ho, J. C., Chang, Y. L. 1991. A New Heuristic for The n -Job, m -Machine Flowshop Problem, European Journal of Operational Research, Volume 52, pp. 194-202.
- Holland, J. H. 1975. Adaptation in Natural and Artificial systems, University of Michigan Press.
- Ignall, E., and Schrage, L. E. 1965. Application of The Branch-and-Bound Technique to Some Flowshop Problems", Operations Research, Volume 13, pp. 400-412.
- Ishibuchi, H., Murata, T. 1998. A Multi-Objective Genetic Local Search Algorithm and Its Application to Flowshop Scheduling, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part-C: Applications and Review, Volume 28, No: 3, pp. 392-403.
- Johnson, S. M. 1954. Optimal Two-and Three-Stage Production Schedules with Setup Times Included, Naval Research Logistic Quarterly, Volume 1, pp. 61-68.
- Kan, A. H. G. 1976. Machine Scheduling Problems, Martinus Nijhoff, The Hague.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., Vecchi, M. P. 1983. Optimization by Simulated Annealing, Science, Volume 220, pp. 671-680.
- Klein, D., Hannan, E. 1982. An Algorithm for The Multiple Objective Integer Linear Programming Problem, European Journal of Operational Research, Volume 9, No: 19, pp. 378-385.
- Lawler, E. L. 1964. On Scheduling Problems with Deferral Costs, Management Science, Volume 11, pp. 280-288.
- Lawler, L. E., Moore, J. M. 1969. Functional Equation and Its Application to Resource Allocation and Sequencing Problems, Management Science, Volume 16, pp. 77-84.
- Lee, C. – E., Chou, F. D. 1998. A Two-machine Flowshop Scheduling Heuristic with Bicriteria Objective, International Journal of Industrial Engineering, Volume 5, No:2, pp. 128-139.
- Lee, W. – C., Wu, C. C. 2001. Minimizing The Total Flow Time and the tardiness in a Two-Machine Flow Shop, International Journal of Systems Science, Volume 32, No: 3, pp. 365-373.
- Lee, H. T., Chen, Ş. H., Kang, H. Y. 2002, Multicriteria Scheduling Using Fuzzy Theory and Tabu Search, International journal of Production Research, Volume 40, No: 5, pp. 1221-1234.
- Lenstra, J. K. 1985. Sequencing by Enumerative Method, Second Printing, Mathematisch Centrum.
- Liao, C. J., Yu, W. C., Joe, C. B. 1997. Bicriterion Scheduling in The Two-machine Flowshop, Journal of Operational Research Society, Volume 48, pp. 929-935.
- Morton, T. E., Pentico, D. W. 1993. Heuristic Scheduling Systems, Wiley, New York.
- Miyazaki, S., Nishiyama, 1980. Analysis for Minimizing Weighted Mean Flow-Time in Flow-Shop Scheduling, Journal of Operational Research Society of Japan, Volume 23, pp. 118-132.
- Murata, T., Ishibuchi, H., Tanaka, H. 1996. Multi-Objective Genetic Algorithm and Its Applications to Flowshop Scheduling, Computers and Industrial Engineering, Volume 30, No: 4, pp. 957-968.
- Nagar, A., Haddock, J., Heragu, S. 1995a. Multiple and Bicriteria Scheduling: A Literature Survey, European Journal of Operational Research, Volume 81, pp. 88-104.
- Nagar, A., Heragu, S. S., Haddock, J. 1995b. A Branch-and-Bound Approach for a Two-machine Flowshop Scheduling Problem, Journal of Operational Research Society, Volume 46, pp. 721-734.
- Nawaz, M., Ensore, E. E., Ham, I. 1983. A Heuristic Algorithm for The m -Machine n -Job Flowshop Sequencing Problem, OMEGA, Volume 11, pp. 91-95.
- Neppalli, V. R., Chen C. – L., Gupta J. N. D. 1996. Genetic Algorithms for The Two-Stage Bicriteria Flowshop Problem, European Journal of Operational Research, Volume 95, pp. 356-373.

- Ogbu, F. A. and Smith, D. K. 1990. The Application of Simulated Annealing Algorithm to The Solution of The $n/m/C_{\max}$ Flowshop Problem, *Computers and Operations Research*, Volume 17, pp. 243-253.
- Pinedo, M. L. 1995. *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems*, Prentice-Hall, Englewood.
- Rajendran, C. 1992. Two-Stage Flowshop Sequencing Problem with Bicriteria, *Journal of Operational Research Society*, Volume 43, pp. 871-884.
- Rajendran, C. 1993. Heuristic Algorithm for Scheduling in a Flowshop to Minimize Total Flowtime”, *International Journal of Production Economics*, Volume 29, pp. 65-73.
- Rajendran, C. 1994a. A Heuristic for Scheduling in Flowshop and Flowline-Based Manufacturing Cell with Multi-criteria, *International Journal of Production Research*, Volume 32, No: 11, pp. 2541-2558.
- Rajendran, C. 1994b. A No-wait Flowshop Scheduling Heuristic to Minimize Makespan, *Journal of Operational Research Society*, Volume 45, pp. 472-478.
- Rajendran, C. 1995. Heuristic for Scheduling in Flowshop with Multiple Objectives, *European Journal of Operational Research*, Volume 82, pp. 540-555.
- Rajendran, C. and Chaudhuri, D. 1990. Heuristic Algorithms for Continuous Flowshop Problem, *Naval Research Logistics*, Volume 37, pp. 695-705.
- Rajendran, C., Chaudhuri, D. 1991. An Efficient Heuristic Approach to The Scheduling of Jobs in a Flowshop, *European Journal of Operational Research*, Volume 61, pp. 318-325.
- Rajendran, C., Ziegler, H. 1997. An Efficient Heuristic for Scheduling in a Flowsop to Minimize Total Weighted Flowtime of Jobs, *European Journal of Operational Research*, Volume 103, pp. 129-138.
- Sayın, S., Karabatı, S. 1999. A Bicriteria Approach to The Two-machine Flow Shop Scheduling Problem, *European Journal of Operational Research*, Volume 113, pp. 435-449.
- Schaffer, J. D. 1985. “Multi-Objective Optimization with Vector Evaluted Genetic Algorithms”, **International Processing 1st Conferences Genetic Algorithms**, pp. 93-100.
- Selen, W. J., Hott, D. D. 1986. A Mixed-Integer Goal-Programming Formulation of The Standard Flow-Shop Scheduling Problem, *Journal of Operational Research Society*, Volume 37, No: 12, pp. 1121-1128.
- Sen, T., Gupta, S. K. 1983. A Branch and Bound to Solve a Bicriterion Scheduling Problem, *IEE Transactions*, Volume 15, pp. 84-88.
- Sen, T., Raiszadeh, F. M. E., Dileepan, P. 1988. A Branch-and-Bound Approach to The Bicriterion Scheduling Problem Involving Total Flowtime and Range of Lateness, *Management Science*, Volume 34, No: 2, pp. 255-260.
- Sharadapriyadarshini, B., Rajendran, C. 1997. Formulations and Heuristics for Scheduling in a Buffer-constrained Flowshop and Flowline-Based Manufacturing Cell with Different Buffer-Space Requirements for Jobs: Part 2”, *International Journal of Production Research*, Volume 35, No: 1, pp. 101-122.
- Sivrikaya-Şerifoğlu, F., Ulusoy G. 1998. A Bicriteria Two-machine Permutation Flowshop Problem, *European Journal of Operational Research*, Volume 107, pp. 414-430.
- Su, L.H. and Chou, F. D. 2000. Heuristic for Scheduling in a Two-Machine Bicriteria Dynamic Flowshop with Setup and Processing Times Separated, *Production Planning and Control*, Volume 11, No: 8, pp. 806-819.
- T’kindt, V. and Billaut J.C. 2001. Multicriteria Scheduling Problems: A Survey”, *RAIRO Operations Research*, Volume 35, pp. 143-163.
- T’kindt, V., Billaut, J.C., Proust, C. 2001. Solving a Bicriteria Scheduling Problem on Unrelated Parallel Machines Occurring in The Glass Bottle Industry”, *European Journal of Operational Research*, Volume 135, pp. 42-49.
- T’kindt, V., Gupta, J. N. D., and J.-C., Proust, C. 2002a. Two-Machine Flowshop Scheduling With a Secondary Criterion, *Computers and Operations Research* (in press).
- T’kindt, V., Monmarche, N., Tercinet, F., Laügt, D. 2002b. An Ant Colony Optimization Algorithm to Solve A 2-Machine Bicriteria Flowshop Scheduling Problem, *European Journal of Operational Research*, Volume 142, pp. 250-257.
- Van Wassenhove, L. N., Gelders, L. F. 1980. Solving a Bicriterion Scheduling Problem, *European Journal of Operational Research*, Volume 4, pp. 42-48.
- Widmer, M., Hertz, A. 1989. A New Heuristic Method for The Flowshop Sequencing Problem, *European Journal of Operational Research*, Volume 41, pp. 186-193.
- Wilson, J. M. 1989. Alternative Formulations of a Flow-Shop Scheduling Problem, *Journal of Operational Research Society*, Volume 40, No: 4, pp. 395-399.
- Woo, D. S., Yim, H. S. 1998. A Heuristic Algorithm for Mean Flowtime Objective in Flowshop Scheduling”, *Computers and Operations Research*, Volume 25, pp. 175-182.
- Yeh, W. C. 1999. A New Branch-and- Bound Approach for the $n/2/\text{flowshop}/\alpha F + \beta C_{\max}$ Flowshop Scheduling Problem, *Computers & Operations Research*, Volume 26, pp. 1293-1310.