



Derleme Yazısı / Review Paper

**SCATTER SEARCH METHOD FOR SOLVING INDUSTRIAL PROBLEMS:
LITERATURE SURVEY**

Selda OKTAY, Orhan ENGİN*

Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kampüs-KONYA

Geliş/Received: 14.11.2005 Kabul/Accepted: 22.08.2006

ABSTRACT

The evolutionary approach called scatter search is originated from strategies for creating composite decision rules and surrogate constraints. Recent studies demonstrate the practical advantages of these approaches. Scatter search method have recently been investigated optimization technique and alternative of the other Meta heuristic methods. The scatter search is an evolutionary search method whose principles were introduced in the early 1970. Before the 1990 there weren't enough studies in the literature. Due to recent successful application of scatter search, there have been intensive researches in the literature. In this paper we demonstrate the procedure of scatter search and steps of method for application industrial problems. The goal of this paper is a literature survey of recent applications of scatter search methods on industrial problems.
Keywords: Scatter search method, scheduling problems, vehicle routing, assignment problems.

**ENDÜSTRİYEL PROBLEMLERİN ÇÖZÜMÜNDE DAĞINIK ARAMA YÖNTEMİ:
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI**

ÖZET

Evrimsel bir yaklaşım olan dağınık arama metodu kompozit karar kurallarını ve kısıtları üreten stratejilerden oluşur. Bugüne kadar yapılan çalışmalar incelenen yaklaşımın avantajlarını göstermiştir. Dağınık arama metodu oldukça yeni bir optimizasyon tekniğidir ve diğer evrimsel tekniklere rakip durumundadır. Dağınık arama yöntemi, 1970'lerin başında prensipleri belirlenen evrimsel bir arama metodudur. 1990'lı yılların öncesinde bu yöntem üzerinde fazla durulmamıştır. Özellikle son on yılda dağınık arama yöntemine ilgi artmış ve bu yönde çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bu çalışmada, dağınık arama yöntemi izah edilmiş ve endüstriyel problemlerde uygulama adımları belirlenmiştir. Bu çalışmada, dağınık arama metodunun, endüstriyel problemler üzerinde son yıllardaki uygulamalarının, literatür taraması yapılmıştır. Ayrıca çalışmada, dağınık arama yönteminin endüstriyel problemlerde uygulanması ile elde edilen katkılar detaylı olarak izah edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Dağınık arama yöntemi, çizelgeleme problemleri, araç rotalama, atama problemleri.

1. GİRİŞ

Dağınık arama yöntemi, son yıllarda geliştirilen meta sezgisel yöntemler kapsamında yer alan bir Yapay Zekâ (YZ) tekniğidir. YZ, polinomiyel olmayan (NP-Non Polinomial) zor ve karmaşık endüstriyel problemlerin çözümlerinde başarılı sonuçlar vermektedir.

* Sorumlu Yazar/Corresponding Autor: e-mail/e-ileti: orhanengin@yahoo.com, tel: (0332) 223 20 39

Yapay zekâ; insanın düşünme, anlama, kavrama, iletişim kurma, yorumlama ve öğrenme yapılarını anlayarak benzerlerini ortaya çıkaracak yeni yaklaşımların bilgisayar yardımıyla geliştirilmesi ve insanlığın hizmetine sunulabilmesidir [1].

YZ konusunda ilk çalışma Mc Culloch ve Pitts tarafından 1940'lı yıllarda yapılmıştır. 1943 yılında bu araştırmacılar tarafından yapay sinir sisteminin ilk matematiksel modeli geliştirilmiştir. Bu araştırmacıların önerisi; yapay sinir hücrelerini kullanan hesaplama modeli, önermeler mantığı, fizyoloji ve Turing'in hesaplama kuramına dayanmaktadır [1,2].

1949 yılında Hebb, öğrenme için matematiksel bir yaklaşım geliştirmiştir [1,2].

1951'de Minsky, sinapsların ayarlanmasıyla belirli bir işi başarabilecek 40 nöronlu bir öğrenme sistemi sunmuştur. İlk yapay sinir ağı sistemlerinden olan SNARC, Minsky ve Edmonds tarafından 1951'de MIT (Massachusetts Technical University) de geliştirilmiştir. 1957'de Rosenblatt, Mc Culloch-Pitts'in modeline öğrenme ve hatırlamayı ekleyerek genelleştirmiş ve iki katlı bir perseptronun iki farklı sınıfı ayırt edebileceğini ispatlamıştır [1].

Newell, Simon, ve Shaw, 1958 yılında Genel Problem Çözücü (General Problem Solving-GPS) geliştirmişler ve M Carthy yapay zeka genel programlama dili olarak MIT (Massachusetts Technical University) 'de LISP 'i geliştirmişlerdir[3].

Sonraki yıllarda mantık temelli çalışmalar egemen olmuş ve programların performanslarını sergilemek için bir takım yapay sorunlar ve dünyalar kullanılmıştır. Daha sonraları bu sorunlar gerçek yaşamı hiçbir şekilde temsil etmeyen "yapay dünyalar" olmakla suçlanmış ve yapay zekânın yalnızca bu alanlarda başarılı olabileceği ve gerçek yaşamdaki sorunların çözümünde kullanılmayacağı ileri sürülmüştür [4].

Her sorunu çözecek genel amaçlı program yerine belirli bir uzmanlık alanındaki bilgiyle donatılmış programlar kullanma fikri, yapay zekâ alanında yeniden bir canlanmaya yol açmıştır. Kısa sürede "Uzman Sistemler" adı verilen bir metodoloji geliştirilmiştir [2].

2. DAĞINIK ARAMA METODU

Evrimsel bir yaklaşım olan dağınık arama metodu, kompozit karar kurallarını ve kısıtları üreten stratejilerden oluşur. Bugüne kadar yapılan çalışmalar incelenen yaklaşımın avantajlarını göstermiştir.

Dağınık arama metodu iki yönden yenilikçidir. İlk olarak çok amaçlı optimizasyon problemleri için fazla sayıda meta sezgiselin olmamasıdır. İkincisi ise, dağınık arama metodunda kalite ve farklılıklarına göre çözümler, R kümesine eklenir. Kaliteli çözüm sayısı r_1 parametresi ile sınırlıdır [5]. Bunlar;

$$R = r_1 + r_2$$

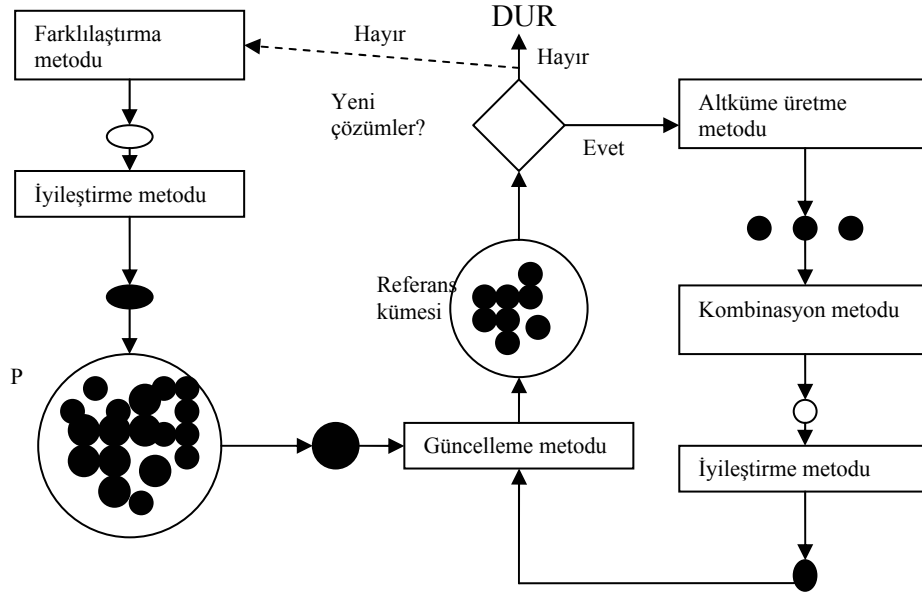
r_1 : en iyi çözüm sayısı,

r_2 : farklı çözüm sayısıdır.

Dağınık arama metodolojisinin iki temel özelliği vardır. Bunlar [6]:

- Optimal çözümler hakkındaki gerekli bilgilerin elit çözümlerin farklılaştırılmasından elde edilmesi,
- Çözümleri birleştirirken hem kaliteyi hem de farklılığı birleştirilmesi ve birçok çözümü eş zamanda ele alarak elit çözümler elde etmesidir.

Dağınık Arama Metodu (DAM); çalışma prensibi 70'lerin başında belirtilen evrimsel arama metodudur. DAM, yeni çözümler elde edebilmek için referans küme adı verilen bir kümedeki çözümleri birleştirir. Dağınık Arama Metodunun diğer evrimsel algoritma metodlarından temel farkı, çözümü seçme yoludur. Dağınık Arama metodunda sistematik olarak referans kümesinden iki ya da daha fazla çözüm seçilerek yeni sonuçlar üretilir. Şekil 1'de Dağınık arama süreci şematik olarak gösterilmiştir [7].



Şekil 1. Dağınık arama süreci [7]

Dağınık arama metodu iki kümeyle eş zamanlı olarak çalışır. Bu kümeler farklılaştırma (P) ve referans kümeleridir. İlk olarak farklılaştırma kümesi, arama uzayını belirlemekle sorumludur. Bu küme üretim prosedürü ve farklılık üretme olarak adlandırılır. Bu proses, uzayı dizilere ayırma ve belirli bir olasılığa göre çözüm seçme sürecidir. Referans çözüm kümesi, farklılaştırma kümesinin bir alt kümesidir ve on kat daha küçüktür. Çözümler her bir sonuç arasındaki minimum uzaklığın maksimize edilmesiyle seçilir. Referans kümesindeki çözümlerin gelişmesini sağlamak için kümenin elemanları belirli bir amaç fonksiyonu değerlerine göre en iyiden en kötüye doğru sıralanır. Kombinasyon prosesi dâhilinde referans kümesinden, yeni alt kümeler üretilir. Yeni daha iyi bir çözüm bulunduğunda, referans kümesindeki en kötü çözümle yer değiştirilir. Kombinasyon prosedüründen yeni çözümler elde edilemediğinde farklılaştırma kümesi referans kümesine yeni çözümler getirmekle sorumludur. Algoritma; maksimum iterasyon sayısına ulaşıldığında veya farklılaştırma boş olduğunda sonlanır. Kombinasyondan sonra çözüm iyileştirme metodu devreye girerek referans kümesindeki farklılık derecesini yükseltmek için çalışır [8].

Referans kümesindeki çeşitli bireyler birleştirildikten sonra, çözüm bireylerine lokal arama prosedürü uygulanır ve böylece hem farklı hem de iyi bireyleri birleştirmek için referans kümesi güncellenir. Bu adımlar sonlanma kriterine ulaşıncaya kadar devam eder. Bu nedenle referans kümesi kombinasyon prosedürü içerir.

Dağınık arama meta sezgiselinin prensipleri ilk kez 1970'lerde Fred Glover tarafından ortaya atılmıştır. Dağınık arama metodunun en önemli özelliği tabu arama meta sezgiseline bağlı olması ve arama prosedürünün iyileştirilebilmesi gerçeğidir. Dağınık arama metodu kalıtsal olduğu düşünülen güçlü bir hafızaya sahiptir. Güçlü hafızası sayesinde arama sırasında bulunduğu iyi çözümleri saklar ve yeni çözümler üretirken sakladığı iyi çözümlerin özelliklerinden faydalanır. Sadece güçlü bir hafıza yeterli değildir. Aynı zamanda tabu aramasının adaptif hafızası dağınık arama metodunun etkinliğini artırır. Dağınık arama prosedürü aşağıdaki gibi gerçekleşir [9].

procedure ardışık dağılık arama
begin

repeat
Popülasyon oluştur;
Referans kümesini üret;
repeat
repeat
Altkümelere seç;
Altkümelere birleştir;
Bileşenleri iyileştir;
until (sonlanma kriteri1);
Referans kümesini güncelle;
until (sonlanma kriteri2);
until (sonlanma kriteri3);

end.

İlk popülasyon geniş alana yayılmış iyi bireylerden oluşmalıdır. Bu özelliklere sahip popülasyonun oluşturulması için çeşitli stratejiler uygulanabilir. Ardından daha iyi bireyler elde etmek için iyileştirme metodu uygulanır [9].

Dağılık arama meta sezgisel aramanın durumuna bağlı olarak referans kümesinin nasıl güncelleneceği kararını içerir. Aynı zamanda algoritma, referans kümesinin ne zaman değişmeyeceğini ve yeni çözümler üretmek farklılık araştırmasını yapması gerektiğini bilmelidir. Ayrıca meta sezgisel tüm arama prosedürünün sonlanma kriterini içermelidir. Sonuçta referans kümesindeki iyi çözümler metot tarafından sağlanmış olur. Genelde sonlanma kriteri toplam maksimum süreye veya maksimum etkiye göre belirlenir. Sayısal güç iterasyon sayısı, lokal arama sayısı veya gerçek zamanla ölçülür [10].

Dağılık arama metodunun adımları aşağıdaki gibi özetlenebilir [9];

1. İlk popülasyonu oluştur,
2. Popülasyondan referans kümesini üret,
3. Referans kümesinden bir altküme seç,
4. Altkümeye kombinasyon prosedürünü uygula,
5. Kombinasyonları iyileştir,
6. Referans kümesini güncelle,
7. Yeni referans kümesi gerekinceye kadar 3 den 6 ya adımları tekrarla,
8. Bir popülasyon gerekinceye kadar 2 den 7 ye adımları tekrarla,
9. Sonlanma kriteri gerçekleşinceye kadar 1 den 8 e adımları tekrarla.

Optimizasyon problemlerinin çözümü için 6 prosedür ve 3 sonlanma kriterine sahip dağılık arama metodu uygulanır. Bahsedilen altı prosedür aşağıda sunulmuştur [9].

1. *Başlangıç Popülasyonu Oluşturma Prosedürü*; iyi ve farklı bireyleri içeren rastsal bir başlangıç popülasyonu oluşturur.
2. *Referans Küme Üretme Prosedürü*; popülasyondaki en iyi çözümleri seçerek referans kümesini oluşturur.
3. *Altküme Seçme Prosedürü*; referans kümesindeki iyi altkümelere seçer.
4. *Birey Kombinasyon Prosedürü*; yeni bireyler oluşturmak için seçilen altkümelereki bireyleri zekice birleştirir.
5. *İyileştirme Prosedürü*; yeni bireyleri iyileştirmek için uygulanan özelleştirilmiş bir prosedürdür.
6. *Referans Kümesi Güncelleme Prosedürüdür*.

Referans kümesini oluşturma ve güncelleme prosedürleri, tek bir aşama olarak düşünülebilir. Çünkü referans küme oluşturma prosedürü aynı zamanda güncelleme prosedürünü de içermektedir [9].

Yukarıda belirtilen prosedürlere ek olarak dağılık arama metodu 3 sonlanma kriterini de içermektedir. Bunlar [9];

1. *Yeni Referans Küme Kriteri*; popülasyondan ne zaman yeni referans kümesinin oluşturulacağı kararını içerir.
2. *Yeni Popülasyon Kriteri*; yeni başlangıç popülasyonunun ne zaman oluşturulacağı kararını içerir.
3. *Sonlanma Kriteri*; tüm arama işleminin ne zaman sonlanacağı kararını içerir.

3. ENDÜSTRİYEL PROBLEMLERİN ÇÖZÜMÜNDE DAĞINIK ARAMA METODU UYGULAMALARI

Dağılık arama yöntemi başta rotalama, çizelgeleme problemleri olmak üzere çeşitli optimizasyon problemlerinde kullanılmıştır. Ele alınan çalışmalar problem tanımlarına göre sınıflandırılarak Çizelge 1’de sunulmuştur.

Çizelge 1. Endüstriyel Problemlerin Çözümünde Dağılık Arama Metodu Uygulamaları

Problem	Araştırmayı Yapan Yazarlar
Araç Rotalama	Russell ve Chiang (2006); Greistorfer (2002)
0-1 Sırt Çantası	Silva ve ark. (2006); Diaz ve ark. (2006), Silva ve ark. (2003)
Akış Tipi Çizelgeleme	Nowicki ve Smutnicki (2006)
Proje Çizelgeleme	Yamashita ve ark. (2006); Debels ve ark. (2003)
Optimizasyon	Beausoleil (2006); Ugray ve ark. (2003); Vasconcelas ve ark. (2005); Garcia ve ark. (2002); Fleurent ve ark. (1996)
Atama	Lourenço ve ark. (2000)
Görüntüleme	Cordan ve ark. (2002)
Sınıflandırma	Scheuerer ve Wendolsky (2006); Lopez ve ark. (2006)
Diğer	Sagarna ve Lozano (2006); Herrera ve ark. (2006); Coleman (2005); Blazewicz (2004); Sampson ve Şahin (2004); Hung ve ark. (2002); Sevaux ve Thomin (2002); Hung ve Song (2001)

Russell ve Chiang (2006) çalışmalarında zamanlı araç rotalama problemlerini çözmek için dağılık arama metodunu kullanmışlardır. Amaç, kalite ve farklılığa ait olan referans dizayn parametrelerinin etkilerini araştırmak ve etkili sonuçlara ulaşmaktır. Araç rotalama çözümlerini birleştirmek için hem yaygın bir yöntem hem de optimizasyon temelli bir model kullanılmıştır. Bulunan çözümlerin geliştirilmesi için reaktif tabu arama meta sezgiseli ile birlikte gelişmiş tabu arama beraber kullanılmıştır. Araştırmadaki hedef, sağlam bir çözüm metodunu yönetmek ve en iyi meta sezgisellerle rekabet edebilen kaliteli çözümler geliştirmektir. Önerilen dağılık arama metodu ile Solomon’un literatürde iyi bilinen 56 adet araç rotalama test problemleri çözülmüştür. Bu problemlerin her biri 100 müşteriden oluşmaktadır. Dağılık arama metodu ile bulunan sonuçlar, problemlerinin bilinen en iyi çözümleri ve Rochat-Taillard’ın (1995) elde etmiş oldukları mesafe sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Dağılık arama metodunun toplam 56 problemde 6 tanesinde bilinen en iyi sonucu yakaladığı gözlenmiştir. Ayrıca dağılık arama yöntemi ile bulunan sonuçların, en iyi sonuçlardan % 1,060’lık bir sapma gösterdiği hesaplanmıştır. Hesaplama süreleri, bilgisayarların işlemci hızlarına göre kıyaslandığında, dağılık arama yönteminin daha kısa sürede sonuca ulaştığı belirlenmiştir. Bu araştırma sonucunda, dağılık arama metodunun literatürde bilinen en iyi meta sezgisellerle rekabet edebileceği ortaya çıkartılmıştır. Ele alınan yöntemin rotalama problemlerine uygulandığında çok daha verimli olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmada ayrıca referans kümesinin büyüklüğünün çözüm kalitesini etkilediği görülmüştür. 5 ve 10 çözümle karşılaştırıldığında referans kümesinde 20 çözümün kullanılması ile daha az araç rotalarını oluşturmuştur [11].

Greistorfer (2002); çeşitli pratik uygulamaları olan özel bir rotalama problemi üzerinde durmuştur. Rotalama problemi Çinli postacı problemi olarak bilinir. Araştırmanın amacı, minimum maliyetli rota çizelgesinin belirlenmesidir. Çinli postacı probleminin çözülmesi için dağınık arama meta sezgiseli ile birlikte tabu araması kullanılmıştır. Tabu dağınık arama algoritması Paskal programlama dilinde kodlanmış ve rastsal problemler ile DeArmon tarafından 1981 yılında önerilen kıyaslama problemleri çözülmüştür. Bu problemler için elde edilen sonuçların ortalama yüzde sapmaları, optimum ve en iyi çözüm bulunan problem sayıları belirlenmiştir. Araştırma sonuçları, tabu dağınık arama metodunun oldukça kaliteli çözümleri, kısa sürede verebileceğini göstermiştir [12].

Silva ve ark. (2006); çalışmalarında dağınık arama metodunu, büyük boyuttaki $\{0,1\}$ sırt çantası problemlerini çözmek için kullanmışlardır. Tek kriterli ve iki kriterli örnek problemlerin özellikleri, çalışmada rehberlik etmiş, çözümlere ulaşılmasını sağlamıştır. Araştırmada; farklılaştırma, iyileştirme, referans kümesini güncelleme, alt küme üretme ve sonuçların kombinasyonu süreçleri kullanılmıştır. Önerilen dağınık arama yönteminin performansının test edilmesi için, $n=1000$, $n=2000$ ve $n=6000$ parçadan oluşan problemler, sırt çantasının toplam ağırlık kapasitesinin %50'sini oluşturacak şekilde çözülmeye çalışılmıştır. Her bir n değeri için 15 problem geliştirilmiştir. Dağınık arama metodu, Borland Delphi 4.0'da yazılan program yardımıyla test edilmiştir. Sonlandırma kriteri, farklılaştırma metodunun 15 iterasyonu uygulandıktan sonra gerçekleştirilmiştir. Dağınık arama metodu ile bulunan sonuçlar, Visee ve arkadaşlarının 1998 yılında uyguladıkları tam metodu ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları, yöntemin çok büyük örneklerde bile kısa zamanda baskın olmayan çözümleri tanımladığını göstermiştir. Önerilen yöntemin kısa zamanda çözümleri bulması oldukça önemlidir. Hızlı bir şekilde elde edilen bilgiler karar vericiye iyi bir tahmin yapma şansı verir. Bu durum karar vericinin ilginç alanlara odaklanmasını sağlar. Ancak, yöntem büyük boyuttaki örnekler için baskın olmayan çözümlerin tamamını bulamamıştır [13];

Diaz ve ark. (2006); dağınık arama metodunu 0-1 sırt çantası problemlerinde kullanmış ve analiz etmişlerdir. Önerilen metodun uygulaması için 0-1 sırt çantası problemleri olarak bilinen optimizasyon problemlerinin deney sonuçlarından test kümesi oluşturulmuştur. Literatürde yer alan, 2000 parçadan oluşan toplam 30 adet sırt çantası problemi 18 farklı paralel algoritma ile 10 tekrarlı olarak çözülmüştür. Toplam 5400 deneme yapılmıştır. Analiz sonuçları, ANOVA testine tabi tutulmuştur. Elde edilen deney sonuçları:

- Dinamik referans kümesinin statik referans kümesinden daha kötü sonuçlar verdiğini,
- Statik referans kümesinin güncellenmenin dinamikten daha hızlı olduğunu,
- I. Aşamada bileşik varyantların bağımsız varyantlardan daha hızlı olduğunu,
- Ortalama verimliliğin oldukça düşük olduğunu göstermiştir [14].

Silva ve ark. (2003); çalışmalarında dağınık arama yöntemini çok boyutlu iki kriterli sırt çantası problemleri için kullanmışlardır. Araştırmada; farklılaştırma, iyileştirme, referans kümesini güncelleme, alt küme üretme ve sonuçların kombinasyonu süreçleri kullanılmıştır. Araştırmada, iki amaç fonksiyonlu, 10 değişkenli ve 4 kısıtlı örnek bir sırt çantası problemi, dağınık arama metodu yardımıyla çözülmüş ve iterasyon adımları grafik olarak sunulmuştur. Önerilen metod, 1000, 2000 ve 3000 parçadan oluşan sırt çantası problemleri üzerinde test edilmiştir. Yöntemin sonuca ulaşmadaki işlem süresi, ortalama, maksimum ve minimum sonuçlar ile sapma değerleri hesaplanmıştır. Önerilen yöntemde elde edilen sonuçlar, Jazskiewicz'in 2000 yılında önerdiği, çok amaçlı genetik lokal arama algoritması ve Zitzler ve Thiele'in 1999'da geliştirdiği Güçlü pareto evrimsel algoritma ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları önerilen yöntemin oldukça kaliteli çözümler ürettiğini göstermiştir [15].

Nowicki ve Smutnicki (2006); çalışmalarında çözüm uzayı ve çözüm prosesine yeni bir bakış getirmişlerdir. Burada çeşitli komşuluk özelliklerini uygulayan, dağınık arama elementlerini kullanan yeni bir yaklaşım algoritması önerilmektedir. Algoritma akış tipi problemler için kullanılmıştır. Akış tipi çizelgeleme problemleri, polinomiyel olmayan (NP) problemler kapsamında yer almaktadırlar. Araştırmada, literatürde akış tipi çizelgeleme için önerilen,

Taillard'ın 12 farklı büyüklükteki toplam 120 kıyaslama problemi çözülmüştür. Dağınık arama metodu ile çözülen akış tipi çizelgeleme problemlerinin tamamlanma zamanları, kıyaslama problemlerinin bilinen en iyi alt sınır değerleri ile karşılaştırılarak yüzde sapma değerleri ve işlem süreleri (CPU) hesaplanmıştır. Önerilen algoritma, akış tipi çizelgeleme problemleri için güçlü çözümler sağlamıştır. Diğer iyi bilinen yaklaşımlarla karşılaştırıldığında kısa sürede çok iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Algoritmanın iyi davranış sergilemesi, çözüm uzayının iyi kullanılmasından kaynaklanmıştır [16].

Yamashita ve ark. (2006); dağınık arama metodunu, kaynak maliyetini minimize etmeyi amaçlayan proje çizelgeleme probleminde kullanmışlardır. Uygulamada, dinamik güncellenen referans kümesi, yoğun çözüm üretici ve kombinasyon metodu kullanılmıştır. Aynı zamanda çalışmada birleştirilen çözümler farklı alt çözümlerde kullanılarak analiz edilmiştir. Araştırmada, 30, 60, 90 ve 120 aktiviteden oluşan proje çizelgeleme problemleri kullanılmıştır. Deneylerde 2400 örnekten fazlası kullanılmıştır. Çalışmada proje çizelgeleme problemi için dağınık arama yönteminin değişik varyasyonları uygulanarak diğer optimal çözümlerle karşılaştırılmıştır. Dağınık arama metodu, %95 oranında optimal ve optime yakın çözümler bulmuştur. 30 ve 20 aktiviteli proje çizelgeleme problemlerinde, elde edilen sonuçlar optimal çözümden, % 0,12 ile % 0,28 'lik bir sapma göstermiştir. Dağınık arama metodunun uygulamasının hızlı görünmesine rağmen performansın problem karakteristiklerinin değişkenliğinden etkilenmediğini belirlenmişlerdir [17].

Debels ve ark. (2003); çalışmalarında kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemleri için optime yakın sonuçlar veren dağınık arama yöntemini sunmuşlardır. Proje çizelgeleme, polinomiyel olmayan zor problemler kapsamında yer almaktadır. Araştırmada, standart kıyaslama problemleri, önerilen dağınık arama içerikli, popülasyon tabanlı evrimsel algoritma ile çözülmüştür. Visual C++ 6.0 da hazırlanan program yardımıyla iki farklı tip kıyaslama problemi çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar, problemlerinin bilinen en iyi değerleri ile kıyaslanmıştır. Deney sonuçları önerilen yaklaşımın literatürdeki diğer yaklaşımlarla rekabet edebilecek kadar güçlü bir algoritma olduğunu ve bugüne kadar literatürde sunulan sezgisellerden en etkili olduğunu göstermiştir [18].

Beausoleil (2006); çalışmasında çok amaçlı dağınık arama yöntemini sunmuştur. Sunulan yöntem, sınırlı ve lineer olmayan sürekli vektör optimizasyon problemlerinde kullanılmıştır. Çok amaçlı dağınık arama yaklaşımı, bulunan çözümleri iyileştirmede uygulanmıştır. Önerilen algoritma, literatürde yer alan 2 amaçlı, 100 değişkenli kıyaslama problemleri ile test edilmiştir. Ayrıca uygulama sürecinde, 3 amaçlı test problemleri de çözümlenerek elde edilen sonuçlar, iki amaçlı lineer olmayan programlama modelleri ile kıyaslanmıştır. Önerilen algoritma geniş alana yayılan çözümleri elde etmek için farklılaşma stratejilerini birleştirmiş ve aynı zamanda referans kümesini iki altkümeye ayırmak için seçim fonksiyonu kullanmıştır. Deney sonuçları, dağınık arama yaklaşımının etkili olduğunu ve literatürdeki en iyi prosedürlerle rekabet edebileceğini göstermiştir [19].

Ugray ve ark. (2003); dağınık arama metodunu kısıtlı lineer olmayan global optimizasyon problemlerinde kullanmışlardır. Araştırmalarında, Floudas ve arkadaşlarının, en iyi çözümleri bilinen test problemlerini kullanmışlardır. 147 problem çözülmüştür. Problemlerin 24 tanesinde uygun olmayan çözüm ile karşılaşmıştır. Çalışmada iyi ve optimal çözümler kısa sürede bulunmuş, uygun çözümler elde etmek için, dağınık aramanın oldukça güçlü bir metod olduğu kanısına varılmıştır. Ancak metod global çözümler bulmayı garanti etmemiştir [20].

Vasconcelas ve ark. (2005); çalışmalarında çok amaçlı dağınık arama algoritması sunmuşlardır. Öncelikle standart dağınık arama metodu tek amaçlı elektromanyetik yayılım problemini çözmeye kullanılmıştır. Daha sonra çok amaçlı optimizasyon problemleri için gerekli değişiklikler yapılmıştır. Dağınık arama metodunu çok amaçlı problemlere uyarlamak için baskın olmayan çözüm tekniği ve hücre tipi metod önerilmiştir. Elde edilen analitik ve elektromanyetik sonuçlar, önerilen metodun çok amaçlı optimizasyon problemlerinde oldukça etkili olduğunu göstermiştir. Diğer çok amaçlı optimizasyon tekniklerinden çok daha iyi sonuçlar vermiştir [8].

Garcia ve ark. (2002); dağınık arama meta sezgiseli ile çok amaçlı p-tesis yerleşim problemlerini çözmeye çalışmışlardır. P-tesis yerleşim problemlerinin, lojistik ve seçim problemlerinin alt kümesi ve kombinatoriyel problemler kapsamında yer aldığını belirtmişlerdir. Çözüm kombinasyonları lokal arama prosedürü ile iyileştirilmiş ve referans kümesi, çözümlerdeki iyileşmeler dikkate alınarak güncellenmiştir. Dağınık arama metodunun çok amaçlı lokasyon problemine uygulanması, etkili çözümler elde edilmesini sağlamıştır. Deney sonuçları, algoritma performansının çok iyi olduğunu göstermiştir [10].

Fleurent ve ark. (1996); dağınık arama metodunu, sürekli fonksiyonları optimize etmede kullanmışlardır. Bu çalışma, kısıtlı olmayan sürekli optimizasyon problemleri için ilk adımdır. Dağınık arama metodunun diğer problemlere de uygulanabileceğini ve geleneksel evrimsel algoritmalar kadar başarılı olacağı sonucuna varılmıştır [6].

Lourenço ve ark. (2000); çok amaçlı atama problemi için dağınık arama yöntemini önermişlerdir. Ele alınan problem, bir üniversitede final sınavı için gözetmen atama problemidir. Problem çok amaçlı sayısal bir program olarak formüle edilmiştir. İspanya'daki bir üniversiteden alınan gerçek örnekler üzerine uygulama yapılmıştır. Her bir asistanın sınav gözetmenliği için maksimum saati vardır. Saat limiti asistanların anlaşmalarına ve eğitim programlarına bağlıdır. Her bir final sınavı ise belirli sayıda gözetmen gerektirir. Bir asistan aynı zamanda birden fazla sınava gözetmenlik edemez. Gözetmen atama probleminin en önemli özelliği, çok amaçlı bir yapıya sahip olmasıdır. Önerilen dağınık arama algoritması C programlama dilinde kodlanmıştır. Dağınık arama yöntemi ile edilen çözümler, Cplex 6.5 karışık tamsayı program yardımıyla, hesaplanan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Cplex 6.5 programı toplam 11 problemde 4 tanesi için optimal çözüme ulaşmıştır. Önerilen dağınık arama yönteminin tatmin edici sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür[5].

Cordan ve ark. (2002); çalışmalarında dağınık arama metodunu üç boyutlu görüntüleme problemlerinde kullanmışlardır. Araştırmada; farklılaştırma, iyileştirme, referans kümesini güncelleme, alt küme üretme ve sonuçların kombinasyonu süreçleri kullanılmıştır. Önerilen metodun performansı, iki farklı şekil kullanılarak ölçülmüştür. Diğer algoritmalarla karşılaştırıldığında iyi performans sergilediği görülmüştür [21].

Scheuerer ve Wendolsky (2006); sınırlı sınıflandırma problemi için dağınık arama metodu sunmuşlardır. Problemde, belirli taleplere sahip olan bir grup müşteri ele alınmış ve farklı kümelerle ayrıştırılmışlardır. Her bir küme, müşteri yetenekleri doğrultusunda bir küme merkezi oluşturmak için belirginleştirilerek spesifik duruma getirilmişlerdir. Burada amaç, bütün küme merkezlerinden kendi kümelerinde yer alan diğer tüm müşteriler arasında minimum bir mesafenin yani farklılığın oluşturulmasıdır. Önerilen sezgisel metot, Beasley'in literatürde yer alan beş kıyaslama problem seti ile test edilmiştir. Her bir problem setinde iki farklı problem tipi olmak üzere toplam 10 problem çözülmüştür. Sezgisel metot C++ bilgisayar programında kodlanmıştır. Örnek gruplardan elde edilen sonuçlar, daha önce test problemleri için elde edilen çözümler ile karşılaştırılmış ve Önerilen dağınık arama sezgiselinin daha iyi çözümler sağladığını belirlenmiştir [22].

Lopez ve ark. (2006); çalışmalarında paralel dağınık arama yöntemi kullanarak özelliklerine göre alt küme seçme problemlerini çözmeye çalışmışlardır. Alt küme seçme problemi polinomiyel olmayan zor problemler kapsamında yer almaktadır. Bu tip problemler için yaygın olarak Genetik algoritmalar kullanılmaktadır. Araştırmada, çeşitli özellikler ile tanımlanan bir grup örnek ele alınmış ve sınıflandırma problemleri, tüm örnekler birer sınıf belirlenmesinden oluşturulmuştur. Burada dağınık arama yönteminin çözüm kombinasyonu için iki metot önerilmiştir. Bu metotlar iki ardışık algoritma sağlayarak genetik algoritma ile paralel dağınık arama yöntemini karşılaştırıp mukayese etmektedir. Bu kıyaslama iki kombinasyon metodunun eşzamanlı olarak çalıştırılması ile sağlanmıştır. Paralel dağınık arama metodu, ardışık algoritmalarından daha iyi sonuçlar sunmuştur [23].

Sagarna ve Lozano (2006); otomatik olarak test verilerini üreten evrimsel algoritma sunmuşlardır. Geliştirilen yaklaşım, dağınık arama ve dağılım tahmini algoritması adındaki iki

sezgisel optimizasyon metodunun kullanım olasılıklarını içerir. Sunulan yaklaşım iki farklı yoldan optimizasyon yöntemlerini kullanmıştır. Bir yandan sadece teorik dağınık arama yöntemi kullanılırken diğer yandan dağınık arama yöntemi ile dağılım tahmini algoritması birleştirilerek kullanılmıştır. Teorik dağınık arama yöntemi daha önceki çalışmalarda sunulan yöntemlerle karşılaştırılmış ve performansı değerlendirilmiştir. Üretilen çözüm sayısı ve arama sırasında bulunan optimum sayısı çalışmada kat edilen gelişmenin önemini göstermiştir [7].

Herrera ve ark. (2006); dağınık arama yönteminin sürekli versiyonu ile ilgilenmiş ve güncel konularda çalışmışlardır. Amaç, sürekli dağınık arama çalışmalarında, ilerleme mekanizmalarından sağlanan doğruluk seviyesi ile kombinasyon metodlarının sağladığı güvenilirlik seviyesi arasında bir denge sağlamaktır. Sürekli dağınık arama yönteminde uygulanabilen kombinasyon ve lokal arama metodu analiz edilmiştir. Bu analiz için literatürde yer alan 45 matematiksel test fonksiyonu kullanılmıştır. Test problemleri basit ve karmaşık olarak sınıflandırılmıştır. Kombinasyon metodları ile iki ilerleme mekanizması arasında var olan ilişkiler incelenmiştir. Araştırmada, sunulan sürekli dağınık arama metodu, diğer sürekli optimizasyon algoritmaları ile kıyaslanmış ve sürekli dağınık arama metodunun diğer yöntemlerle yarışabileceğini göstermişlerdir [24].

Coleman (2005); çalışmasında dağınık arama metodunu tek parametrelili 21 şans oyununa aday atamalarında kullanmış ve metodun hızından yararlanmış. Simülasyon programı Microsoft VC++ yardımıyla kodlanmıştır. Bütün oyunların işlem süresi (CPU) 40 günden fazla sürmüştür. Araştırmada, birbirinden farklı 10^5 oyun 400 denemede test edilmiştir. Araştırma sonucunda, doğrusal ve çaprazlama kombinasyonları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığın olmadığı sonucuna varılmıştır [25].

Blazewicz ve arkd. (2004); çalışmasında tabu arama algoritmasını, dağınık arama metoduyla güçlendirmiştir. Sunulan algoritma negatif ve pozitif hatalarla, DNA dizilim problemini çözmüş ve oldukça kaliteli sonuçlar vermiştir. Yaklaşım tabu arama ve melez genetik algoritma yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları, önerilen yaklaşımın çok daha iyi olduğunu göstermiştir. Yeni algoritmanın optimal çözüm geliştirmedeki ortalama kalitesinin, % 99,6 olduğu belirlenmiştir. Ayrıca yeni yöntemin daha kısa sürede optimal veya optime yakın sonuçlara ulaştığı gözlenmiştir. Kısa deney sürecinde yeni algoritma optimal çözümler üretmiştir. Geri kalan tüm çözümler optimuma çok yakındır ve orijinal dizilime benzerlikleri çok yüksektir. Önerilen yöntem henüz orijinal dizilimlerde kullanılmamıştır. Test verileriyle çalışıldığı için metodun hata verme yüzdesi fazladır. Ancak gerçek verilerle uygulandığı zaman çok daha iyi sonuçları vereceğini belirtmişlerdir [26].

Sampson ve Şahin (2004); dağınık arama optimizasyon algoritmasını Bayes ağ yapısını öğrenmede kullanmışlardır. En iyi ağ yapısını bulmak için kullanılan dağınık arama metodu, bir veritabanı fonksiyonunu maksimize eder. Dağınık arama algoritması ile yapısal öğrenmenin doğruluğunu test etmek için literatürde bilinen, Kevin Murphy Bayesian ağ problemleri kullanılmıştır. Ağ problemleri, 5, 8 ve 12 ağdan oluşmuş olup, önerilen yöntem Matlab'da kodlanmıştır. Dağınık arama yönteminin performansı, öğrenme ve uygunluk fonksiyonuna göre değerlendirilmiş ve sonuçların tatminkâr düzeyde olduğu gözlenmiştir [27].

Hung ve ark. (2002); dağınık arama optimizasyonunu çift boyutlu karar diyagramlarının minimizasyon problemlerine uygulamışlardır. Araştırmalarında, farklılaştırma, iyileştirme, referans kümesini güncelleme, alt küme üretme ve sonuçların kombinasyonu süreçleri kullanılmıştır. Önerilen yöntem diğer algoritmalarından (Genetik, tavalama benzetimi ve diğer) daha kısa sürede optimal sonuçlar vermiştir. Dağınık arama metodunun güçlü bir optimizasyon tekniği olduğu belirlenmiştir. [28].

Sevaux ve Thomin (2002); tek makineli çizelgeleme problemi için dağınık arama yöntemi ile genetik algoritmayı karşılaştırmışlardır. Teslim tarihli tek makine çizelgeleme problemlerinin polinomiyel olmayan zor (NP-Zor) problemler kapsamında yer aldığını belirtmişlerdir. Tek makine problemlerini belirtilen iki yöntemle çözmeden önce, parametre optimizasyonu yapmışlardır. Literatürde yer alan; 40, 50 ve 100 işten oluşan 125 problem ile yine

20, 40, 50, 80 ve 100 işten oluşan 20 adet tek makine problemleri Genetik algoritma ve Dağınık arama metodu ile çözülmüştür. Algoritmanın durdurma kriteri, işlem tamamlanma süresine (CPU) bağlı olarak 1200 saniye seçilmiştir. Araştırmada, Genetik algoritmanın daha iyi sonuçlara ulaştığı belirlenmiştir. Sonuç olarak genetik Algoritma'nın uygulamasının kolay, fakat fazla sayıda parametre ayarlamasının olduğunu ve otomatik parametre konfigürasyon prosedürünü gerektirdiğini belirlenmiştir. Dağınık arama algoritmasının ise uygulamasının daha zor fakat daha az sayıda parametre ayarlamasının olduğunu ve başarılı sonuçlar elde edilebilmesi için lokal arama prosedürünün iyileştirilmesi gerektiği sonucuna varmışlardır [29].

Hung ve Song (2001); çift boyutlu karar diyagramları (Binary Decision Diagrams-BDD) nın minimizasyonu için dağınık arama yöntemini kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlar oldukça cesaret vericidir. Dağınık arama yönteminin güçlü bir optimizasyon arama tekniği olduğunu belirtmişlerdir. Deney sonuçları, genetik algoritma ve diğer çeşitli metotlarla karşılaştırılmış ve dağınık arama yönteminin verimli olduğunu göstermiştir. Öne sürülen yaklaşım birçok otomasyon tasarımı uygulamalarında kullanılabilir olduğu ifade edilmiştir [30].

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dağınık arama metodu; referans kümesinden sistematik olarak çözümlerin seçilip kombinasyonla optimum çözümler üreten evrimsel bir arama tekniğidir. Dağınık arama metodu; farklı çözümler içeren bir popülasyondan farklı ve iyi çözümleri seçerek referans kümesi oluşturur. Referans kümesini oluşturduktan sonra bu kümedeki çözümleri birleştirerek yeni ve daha kaliteli çözümler üretmeye çalışır. Dağınık arama yöntemi, güçlü bir algoritmadır ve sağlam bir hafızası vardır. Yöntem, bir önceki bulunan çözümlerin özelliklerini hafızasında depolar ve çözümleri birleştirirken bu hafızadan yararlanır. Böylece yeni üretilen çözümler bir önceki çözümlerin kopyası olmaz.

Metot henüz çok yenidir. Prensipleri 1970'lerin başında belirlenmesine karşın dağınık arama metoduna yönelik çalışmalar 1990'lı yıllardan sonra hız kazanmıştır. Literatür incelendiğinde bu konuda yapılan çalışmaların çok fazla olmadığı, son yıllarda öne çıkan bir yöntem olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak; dağınık arama metodunun daha kısa sürede optimal çözümlere ulaştığı ve diğer optimizasyon teknikleriyle rekabet edebileceği görülmüştür. Dağınık arama metodu, tek başına veya diğer bir optimizasyon tekniği ile melez oluşturularak, günümüzün kombinatoriyel optimizasyon kapsamında yer alan endüstriyel problemlerinin çözümlerinde başarılı bir şekilde uygulanabilecek bir yapay zeka tekniğidir.

KAYNAKLAR

- [1] Sağiroğlu, Ş., Beşdok, E., Erler, M. 2003. Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-I: Yapay Sinir Ağları, Ufuk Yayıncılık, Kayseri.
- [2] Russell, S., Norvig, P. 1995. Artificial Intelligence- A Modern Approach, Prentice Hall, Int. Ed.
- [3] Zahedi, F. 1993. Intelligent Systems for Business, Expert Systems With Neural Networks, Wadsworth, USA
- [4] Anonim, 2003a. Yapay Zeka Araştırma Alanları ve 21. Yüzyılda Yapay Zeka, www.yapay-zeka.org [erişilme tarihi Ağustos 2005].
- [5] Lourenço, H., Marti, R., Laguna, M. 2000. Assigning Proctors to Exams with Scatter Search. In Computing Tools for Modeling, Optimization and Simulation: Interfaces in Computer Science and Operations Research, M. Laguna and J. L. González-Velarde, Eds. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, 215--227.
- [6] Fleurent, C., Glover, F., Michelon, P., Vali, Z. 1996. A Scatter Search Approach for Unconstrained Continuous Optimization. IEEE. 0-7803-2902-3.

- [7] Sagarna, R., Lozano, J. A. 2006. Scatter Search in Software Testing, Comparison and Collaboration with Estimation of Distribution Algorithms. *European Journal of Operational Research*. Vol.169. 392-412.
- [8] Vasconcelas, J.A., Maciel, J.H.R.D., Parreiras, R.O. 2005. Scatter Search Techniques Applied to Electromagnetic Problems. *IEEE Transactions On Magnetics*. Vol 41.no 5.
- [9] Cano, D.B., Santana, J.B., Rodriguez, C.C., Del Amo, I.J.G., Torres, M.G., Garcia, F.J.M., Batista, B.M., Perez, J.A.M., Vega, J.M.M., Martin, R.R. 2004. Nature-inspired Components of the Scatter Search. Technical Report.
- [10] Garcia, F., Melian, B., Moreno, J.A., Moreno-Vega, J.M. 2002. Scatter Search for Multiple Objective p -facility Location Problems. <http://www.lifl.fr/PM2O/Reunions/04112002/garcia.pdf> [erişilme tarihi Ağustos 2005].
- [11] Russell, R.A., Chiang W.C. 2006. Scatter Search for the Vehicle Routing Problem With Time Windows. *European Journal of Operational Research*. Vol.169. 606-622.
- [12] Greistorfer, P. 2002. A Tabu Scatter Search Metaheuristic for the Arc Routing Problem. Elsevier Science.
- [13] Silva, C.G.D., Climaco, J., Figueira, J. 2006. A Scatter Search Method for Bi-criteria $\{0,1\}$ -Knapsack Problems. *European Journal of Operational Research*. Vol 169. 373-391.
- [14] Diaz, B.A., Corbajal, S.G., Lozano, S. 2006. An Empirical Investigation on Parallelization Strategies for Scatter Search. *European Journal of Operational Research*. Vol.169. 490-507.
- [15] Silva, C.G.D., Climaco, J., Figueira, J. 2003. A Scatter Search Method For The Bi-criteria Multi-dimensional $\{0,1\}$ -Knapsack Problem Using Surrogate Relaxation. *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms*, forthcoming.
- [16] Nowicki, E., Smutnicki, C. 2006. Some Aspects of Scatter Search in the Flow-Shop Problem. *European Journal of Operational Research*. Vol.169. 654-666.
- [17] Yamashita, D.S., Armentano, V.A., Laguna, M. 2006. Scatter Search for Project Scheduling with Resource Availability Cost. *European Journal of Operational Research*. 623-637.
- [18] Debels, D., Reyck, B.D., Leus, R., Vanhoucke, M. 2003. A Hybrid Scatter Search / Electromagnetism Meta-heuristic for Project Scheduling. *Vlerick Leuven Gent Working Paper Series*. 25.
- [19] Beausoleil, R.P. 2006. "MOSS" Multiobjective Scatter Search Applied to Non-linear Multiple Criteria Optimization. *European Journal of Operational Research*. Vol.169. 426-449.
- [20] Ugray, Z., Lasdon, L., Plummer, J., Kelly, J. 2003. OQNLP: A Scatter Search Multistart Approach for Solving Constrained Non-linear Global Optimization Problems. 3rd Annual McMaster Optimization Conference: Theory and Applications (MOPTA 03). Hamilton, Ontario.
- [21] Cordan, O., Damas, S., Santamaria, J. 2002. A Scatter Search Algorithm for the 3D Image Registration Problem.
- [22] Scheuerer, S., Wendolsky, R. 2006. A Scatter Search Heuristic For The Capacitated Clustering Problem. *European Journal of Operational Research*. Vol.169. 533-547.
- [23] Lopez, F.G., Torres, M.G., Batista, B.M., Perez, J.A.M., Vega, J.M.M. 2006. Solving Feature Subset Selection Problem by a Paralel Scatter Search. *European Journal of Operational Research*. Vol.169. 477-489.
- [24] Herrera, F., Lozano, M., Molina, D. 2006. Continuous Scatter Search: An analysis of the integration of some combination methods and improvement strategies. *European Journal of Operational Research*. Vol. 169. 450-476.
- [25] Coleman, R. 2005. Single-Parameter Blackjack Betting Systems Inspired by Scatter Search. *Proceedings of the International Conference on Information Technology : Coding and Computing*. 7695-2315-3.

Scatter Search Method for Solving Industrial Problems ...

- [26] Blazewicz, J., Glover, F., Kasprzak, M. 2004. DNA Sequencing- Tabu and Scatter Search Combined. *Inform Journal on Computing*. Vol 16. No 3. 232-240.
- [27] Sampson, P.O.D., Şahin, F. 2004. Structural Learning of Bayesian Networks from Complete Data Using the Scatter Search Documents. *IEEE International Conference On Systems, Man and Cybernetics*. 7803-8566-7.
- [28] Hung, W.N.N., Song, X., Aboulhamid, E.M., Driscoll, M.A. 2002. BDD Minimization by Scatter Search. *IEEE Transactions On Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*. Vol 21. no 8.
- [29] Sevaux, M., Thomin, P. 2002. Scatter Search and Genetic Algorithm: a one machine scheduling problem comparison. *The sixteenth triennial conference of international federation of operational research societies, IFORS, Edinburgh, UK, juillet*.
- [30] Hung, W.N.N., Song, X. 2001. BDD Variable Ordering by Scatter Search. *IEEE*. 0-7695-1200-3.