

ARAŞTIRMA MAKALESİ/RESEARCH ARTICLE

ATÖLYE TİPİ ÜRETİM ORTAMINDA İŞLERİN ÇİZELGELENMESİNDE TOPLAM TAMAMLANMA ZAMANININ EN KÜÇÜKLENMESİNE DAYALI BİR SİNİRSEL AĞ YAKLAŞIMI

Ümit Ali ÖZKAZANÇ¹, A. Sermet ANAGÜN¹

ÖZ

Yapay zeka tekniklerinden olan sinirsel ağlar, öğrenme, durumlardan çıkarsamalar yapabilme yetenekleri ve özellikle de bilginin paralel işlenebilmesi niteliği sayesinde çoğu NP-zor kapsamına giren eniyileme problemlerinin çözümü için bir alternatif yaklaşım olmuştur. Bu çalışmada, NP-zor sınıfına giren atölye tipi üretim ortamında işlerin çizelgelenmesi problemi Hopfield sinirsel ağı üzerinde yapılandırılmıştır. Problem, tüm işlerin toplam tamamlanma zamanını en küçükleyecek ve ilgili kısıtları sağlayacak biçimde bir enerji fonksiyonu ile tanımlanmıştır. Amaç, hızlı bir şekilde paralel dağıtılmış işleme yeteneklerinden yararlanarak kabul edilebilir olası çizelgeler oluşturmaktır. Önerilen yapı, iş ve makine sayısı yönüyle farklı örnek problemler üzerinde yapılandırılmış ve çözüm aranmıştır.

Anahtar Kelimeler: Eniyileme, Sinirsel Ağlar, Hopfield Sinirsel Ağı, Çizelgeleme.

A MINIMIZING TOTAL COMPLETION TIME BASED NEURAL NETWORK APPROACH FOR JOB SHOP SCHEDULING

ABSTRACT

Neural networks, one of the promising approaches of artificial intelligence techniques, due to having the ability of learning, generalizing from situations and especially characteristic of parallel distributed processing, have become an alternative approach for solving the class of NP-hard optimization problems. In this study, job shop scheduling problem, considered as a NP-hard optimization problem, has been mapped onto Hopfield neural network. Basically, problem has been defined by an energy function satisfying the objective of the minimizing the total completion time of all jobs and other related constraints. The aim is to form an acceptable possible schedules in a fast way by using the ability of parallel processing. The proposed framework has been tested on example problems consisting of different numbers of jobs and machines.

Key Words : Optimization, Neural Networks, Hopfield Neural Network, Scheduling.

1. GİRİŞ

Üretimin gerçekleştirildiği ortam içinde, mevcut kaynakların belirlenen amaç(lar) doğrultusunda yerine getirilmesi gereken görevlere zaman temelinde tahsis edilmesi gerekmektedir. Yürütülen bu faaliyetler bütünü "çizelgeleme" olarak adlandırılmaktadır (Sabuncuoğlu, 1998). Çizelgelemede işlerin makinelere belirlenen bir kritere uygun olarak atanması esastır. İş ve makine sayısındaki artış, çizelgeleme probleminin en iyi

çözümünün belli bir zaman aralığında veya ardışırma ile elde edilememesine neden olur. En iyi çözümü belli bir zaman aralığında veya ardışırma ile bulunamayan problemler NP-zor olarak tanımlanmaktadır.

Çizelgeleme problemin NP-zor yapıda olması, özellikle büyük ölçekli problemlerin çözümünde, kesin yöntemlere alternatif olarak, yapay zeka tekniklerine dayalı yeni yaklaşımların uygulanmasını gerektirmiştir. Bu bağlamda, en fazla dikkat çeken yaklaşımlardan bi-

¹ Osmangazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bademlik, 26030, Eskişehir.

risi yapay sinirsel ağlar olmuştur. Yapay sinirsel ağların paralel işleme özellikleri ve 1980'lerin sonlarına doğru yeni ağ mimarilerinin gelişimindeki ilerlemeler, çizelgeleme problemlerinde sinirsel ağ uygulamalarının artmasını sağlamıştır (Sabuncuoğlu, 1998).

Hopfield ve Tank (1985)'in, NP-zor yapıda olan gezgin satıcı problemini kendi geliştirdikleri, bir katman üzerinde birbiri ile ilişki halinde belli sayıda işlem elemanından (nörondan) oluşan, probleme ilişkin matematiksel modelin, bir enerji fonksiyonuna dönüştürülerek belli sayıda ardıştırma ile eniyilenmesi esasına dayanan Hopfield sinirsel ağı kullanarak çözüme çalışmaları ile birlikte çoğu eniyileme türü problemlerde Hopfield ağı temelli başarılı uygulamalar yayınlanmaya başlamıştır (Looi, 1992; Cheung, 1994; Sabuncuoğlu, 1998).

NP-zor olarak sınıflandırılan çizelgeleme problemi için, yaklaşık çözüm veya yerel en iyi çözüm üreten yöntemlerden birisi olan yapay sinirsel ağ yaklaşımı ilk olarak Foo ve Takefuji (1988a) tarafından önerilmiştir. Hopfield ve Tank (1985)'in gezgin satıcı probleminin çözümü için yaptığı çalışmalar ışığında, atölye tipi üretim ortamında işlerin çizelgelenmesi problemi iki boyutlu bir matris biçiminde yapılandırılmış ve sıralama kısıtlarının sağlanması için ağa dışsal akımlar uygulanmıştır. İşlerin çizelgelenmesine yönelik bir kriterin göz önüne alınmadığı çalışmada, çizelgeleme problemi, matris formunda bir işe ait işlemin sadece tek bir kez yapılmasını ve diğeri de problem genelinde, her biri m adet işlemden oluşan toplam nm adet işin gerçekleştirilmesini sağlayan iki terimden oluşan bir enerji fonksiyonu ile ifade edilmiştir.

Foo ve Takefuji (1988b), bir önceki çalışmanın uzantısı olarak, çizelgeleme problemini, rassal Hopfield ağı üzerinde yapılandırmışlardır. Sistem enerjisinin yerel veya bütünsel bir en iyiye, bir tavlama çizelgesine uygun olarak yakınsamasını sağlayacak biçimde tavlama benzetimi (simulated annealing) kullanılmış ve 4 iş - 3 makineden oluşan örnek bir problem üzerinde başarılı bir şekilde uygulanmıştır.

Foo ve Takefuji (1988b), aynı problemi bir tamsayı doğrusal karar modeli biçiminde ifade etmiş ve belli bir sonuca yakınsayınca kadar doğrusal programlama gevşetmeleri ve 0-1 düzeltme işlemi tekrar ettirilerek çözüm aramışlardır. Problemi yapılandırdıkları ağ, tamsayılı doğrusal programlama sinirsel ağı olarak adlandırılmaktadır. Genel olarak, alt en iyi veya kısıtları ihlal eden çözümler üreten ağ, isteneni tam olarak sağlayamamıştır (Sabuncuoğlu, 1998; Matsuda, 1995, Jain ve Meeran, 1998).

Van Hulle (1991b), Foo ve Takefuji'nin çalışmasından farklı olarak, problemi bir hedef programlama ağı (Van Hulle, 1991a) içinde kısıtlardan sapmayı en

küçükleyecek bir hedef kümesi şeklinde yapılandırmıştır. İstenene yakınsayınca kadar hedef programlama gevşetmeleri ve 0-1 düzeltmeleri gerçekleştirilerek probleme çözüm aranmıştır. Yaklaşım, her zaman uygun çözüm üretbilmesine rağmen, artan problem boyutu ile birlikte işlem elemanı sayısının hızlı bir şekilde artması nedeniyle büyük ölçekli problemlere uygulanabilir değildir. Çalışmada, orta ve büyük ölçekli problemlerin çözümü için, farklı düzeltme tekniklerinin kullanılması ile daha etkili alternatif bir yaklaşım yöntemi geliştirilebileceği ifade edilmektedir.

Zhou vd. (1991), Foo ve Takefuji tarafından kullanılan doğrusal programlama ağının performansını iyileştirmişlerdir. Özellikle problemin daha basit bir doğrusal programlama yapısı içinde geliştirilebilmesi için işlemleri ve makineleri temsil eden indisleri birleştirmişlerdir. Bağlantı sayısı, toplam işlem sayısı ile birlikte doğrusal olarak büyümektedir. 2 iş 3 makine, 5 iş 3 makine, 10 iş 10 makine ve 20 iş 20 makineden oluşan örnek problemler üzerinde denenmiş, 5 iş 3 makineye kadar olan problemlerde en iyi çözümler elde edilebilmiştir.

Thawonmas vd. (1995), gerçek zamanlı bir çizelgeleme sistemi olarak; gezgin satıcı problemine olan sinirsel ağ yaklaşımı ile doğrusal programlamayı bütünlendiren Hopfield temelli bir ağ önermişlerdir. En erken teslim zamanlı geleneksel algoritmalara göre daha iyi performans gösterdiğine işaret edilmektedir. Satake vd. (1994), Hopfield sinirsel ağı tabanlı diğer uygulamalardan farklı olarak nöronun her bir değişimdeki eşik değerini değiştirerek iyi çizelgeler elde etmeye çalışmışlardır. Aynı zamanda yerel en iyilerden kaçmak için Boltzmann makinesi kullanılmıştır. 2 iş 2 makineden, 10 iş 10 makineye kadar farklı boyuttaki problemler üzerinde denenmiştir. En iyi çözümler elde edilememesine rağmen en iyiye yakın değerler sağlanmıştır.

Willems ve Brandts (1995), kendilerince geliştirilmiş bir kuralı kullanan Hopfield temelli bir ağ önermişlerdir. Ağ, işleme elemanlarının hesaplama dinamiği sabit veya rassal düzende olabilecek şekilde tasarlanmıştır. Küçük boyutlu problemler üzerinde, ağın geleneksel yordamsal prosedürlerden daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir.

Foo vd. (1995), düzeltilmiş Hopfield sinirsel ağını, Zhou vd. (1991)'nin yaptığı çalışma ile karşılaştırmışlardır. Çalışmada, Zhou vd (1991)'nin önerdiği ağdan, daha fazla sayıda işlem elemanı ve bağlantılar gerektirmesine rağmen her bir işlem elemanının daha basit aktivasyon fonksiyonuna sahip olduğunu belirtilmekte ve ilave hesaplamalara ihtiyaç duymadığını ifade edilmektedir.

Yapılan bu Hopfield temelli çalışmaların yanında olasılıklı ağlar, hata düzeltme ağları, rekabetçi veya Ko-

honen ağırları ile yapılan diğer bir takım başarılı çalışmalar da bulunmaktadır (Cheung, 1994; Sabuncuoğlu, 1998; Jain ve Meeran, 1998).

Bu aşamada, dikkati çeken önemli nokta, doğrusal programlama ile sinirsel ağ yaklaşımını aynı tabanda kullanan çalışmalar dışındaki Hopfield sinirsel ağınm kullanıldığı çalışmalarda, problemin çözümünde bir iyileştirme kriterinin en küçüklenmeye çalışılan enerji fonksiyonuna eklenmemiş olduğudur. Oysa ki, atölye ortamındaki işler, işlerin toplam tamamlanma zamanını en küçükleyecek biçimde; en kısa/en uzun işlem zamanlı ve toplam işlem süresi en az kalan işlere öncelik verilmesi gibi kriterlere göre tezgahlara atanmaktadır. Bu çalışmada; çizelgeleme probleminin çözümü için, seçilen iyileştirme kriterine uygun olarak işlerin sıralanmasını sağlayacak ve toplam tamamlanma zamanını en küçükleyecek biçimde yeni bir enerji fonksiyonu önerilmiş ve iş ve makine sayısı yönüyle farklı büyüklükteki problemler için farklı sıralama kriterlerine göre elde edilen çözüm sonuçlarının güvenilirliği üzerinde durulmuştur.

2. ATELYE TİPİ ÜRETİM ORTAMINDA ÇİZELGELEME PROBLEMİ

Çizelgeleme ortamı, küçük, karmaşık, tek müşteriye dönük atölyelerden, yüksek hızlı, düşük ürün karmaşıklık transfer hatlarına, kesikli parça imalatından sürekli süreç akışların olduğu pek çok farklı durumda ele alınabilmektedir. Farklı üretim sistemleri farklı çizelgeleme problemlerine ve ihtiyaçlarına sahiptir (Tersine, 1985).

n adet işin m adet makinede en iyi biçimde çizelgenmesi olarak da ifade edilebilen atölye tipi üretim ortamında çizelgelemede, n adet işin her biri, işlem olarak adlandırılan m adet alt işten oluşur. Dolayısıyla, her makine üzerinde olası n! kadar sıralama vardır. Bu olası n! adet sıralamanın her bir makine için bağımsız olduğu göz önüne alınır, kısıtları sağlamayan/uygun olmayan, toplam (n!)^m adet olası çizelge oluşturulabilir. Uygun çizelge, her işe ait işlemlerin belirlenen sıradahilinde gerçekleştirilmesini sağlamak (öncelik kısıtları) ve her makinede aynı anda birden fazla işlemin gerçekleştirilmesini engellemek (kaynak kısıtı) durumundadır.

Problem bir doğrusal karar modeli ile ifade edilmek istenirse;

n : iş sayısı

m : makine (işlem) sayısı

S_{ik} : i-inci işin k-ıncı makinede başlama zamanı

t_{ijk} : i-inci işin j-inci işleminin k-ıncı makinede yapılması için gerekli olan süre

$$y_{ipk} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } k \text{ -ıncı makinede } i \text{ -inci iş} \\ & \text{p-inci işten önce gerçekleştirilirse} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

H : tüm işlerin gerçekleştirilmesi için gerekli toplam süre

olmak üzere:

$$S_{ik} - S_{ih} \geq t_{i,j-1,h} \quad 1 < j \leq m, 1 \leq i \leq n \quad (1)$$

$$S_{pk} - S_{ik} + H(1 - y_{ipk}) \geq t_{ijk} \quad 1 \leq k \leq m, 1 \leq i < p \leq n \quad (2)$$

$$S_{ik} - S_{pk} + H y_{ipk} \geq t_{pqk} \quad 1 \leq k \leq m, 1 \leq i < p \leq n \quad (3)$$

$$y_{ipk} = 0, 1 \quad 1 \leq k \leq m, 1 \leq i < p \leq n \quad (4)$$

$$S_{ik} \geq 0 \quad 1 \leq i \leq n, 1 \leq k \leq m \quad (5)$$

kısıtları altında

$$\text{EnkZ} = \sum_i^n \sum_k^m S_{ik} \quad (6)$$

şeklinde modellenebilir (Van Hulle, 1991b; Pinedo, 1995).

Modelin çözümü için; (m-1)xn adet öncelik kısıtı, mxn(m-1) adet kaynak kısıtı, mxn adet negatif olma kısıtı söz konusudur. Ayrıca, mxn adet sürekli değişken ve [mxn(n-1)]/2 adet 0-1 tamsayı değişken bulunmaktadır. Sadece 4 işin ve 3 makinenin bulunduğu küçük boyutlu bir problem için bile toplam 44 adet kısıt, 12 adet sürekli ve 18 adet 0-1 tamsayı değişken gerekmektedir. Böylesi bir problem için (n!)^m ilişkisine göre, 13824 farklı şekilde çizelge söz konusu olmaktadır. Olası çizelge sayısı, sürece sadece bir tek işin eklenmesiyle (5!)⁴ ≈ 2.1x10⁸ değerine ulaşmaktadır. İş ve makine sayısındaki artış nedeniyle değişken ve kısıt sayısında oluşan farklılaşma Tablo 1' de verilmiştir. Gerçek hayat problemleri düşünüldüğünde, bu türdeki problemlerin çözümünün en hızlı işlemcilerde bile oldukça uzun süreceği açıktır.

Tablo 1. Çizelgeleme Problemi İçin Gerekli Kısıt ve Değişken Sayıları.

		4 iş 3 makine	5 iş 4 makine
Öncelik kısıtı	(m-1).n	8	15
Kaynak kısıtı	m.xn(m-1)	24	60
Negatif olmama kısıtı	m.xn	12	20
Sürekli değişken	m.xn	12	20
Tamsayı değişken	[m.xn(n-1)]/2	18	40
Olası çizelge sayısı	(n!) ^m	13824	2.1x10 ⁸

m: Makine sayısı

n: İş sayısı

Tablo 1'de görüldüğü gibi, atölye tipi üretim ortamdaki çizelgelemede iş ve/veya makine sayısı, çizelgeleme problemi açısından son derece önemlidir. Çizelgelemede iş ve/veya makine sayılarındaki küçük artışlar, problemin çözüm uzayında önemli oranda büyüme neden olduğundan, problemin en iyi çözümünün bilinen analitik yöntemlerle bulunması zorlaşmaktadır. NP-zor olarak sınıflandırılan bu tür problemler için hızlı ve en iyiye yakın çözüm üreten; genetik algoritmalar, yasaklı arama, yapay sinirsel ağlar, tavlama benzetimi olarak isimlendirilen yöntemler geliştirilmiştir.

Yapay zeka tekniklerinden olan sinirsel ağlar; çizelgeleme problemine ek olarak, gezgin satıcı problemi, en küçük kesme problemi, kareli atama problemi ve kaynak tahsisi gibi NP-zor yapıdaki problemlerin çözümü için kullanılmıştır (Looi, 1992). Cichocki ve Unbehauen (1993) tarafından belirtildiği gibi, problem boyutundaki küçük bir artışın, göz önüne alınacak karar değişkeni ve kısıt sayısında büyük bir artışa ve dolayısıyla, problemi kontrol edilemeyen bir duruma dönüştürerek, çözüm süresinin uzamasına neden olduğundan, klasik eniyileme teknikleri yetersiz kalmaktadır. Bu yetersizlik, NP-zor yapıdaki problemlerin çözümünde yapay zeka tekniklerine dayalı yöntem ve yordamların geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Son zamanlarda, NP-zor yapıdaki problemlerin etkin bir biçimde çözümünü için sinirsel ağların uygulanması ümit verici yeni bir yaklaşım olarak görülmektedir. Her ne kadar bazı NP-zor kombinatorik eniyileme problemlerine sinirsel ağların uygulanması halen tartışılır olsa da, çoğu araştırmacı tarafından gerek teorik gerekse deneysel açıdan etkili sonuçların rapor edilmesi çok çeşitli olan sinirsel ağ, yöntem ve tekniklerinin tartışılmasını biraz daha olumlu bir hale getirmektedir (Looi, 1992; Cichocki ve Unbehauen, 1993).

Eğer en iyi çözüm olması şart değil, fakat en iyiye yakın bir çözüm bulunabiliyor ise, genel olarak sinirsel ağın belirlenen bir kombinatorik eniyileme problemi başarılı bir biçimde çözeceği kabul edilmektedir (Cichocki ve Unbehauen, 1993). Çok sayıda farklı sinirsel ağ yaklaşımları ve teknikleri önerilmekle birlikte, temelde; problemin uygun enerji fonksiyonu içinde yapılandırılarak sinirsel ağlar üzerine haritalanması ve rekabete dayalı olarak belirli kısıtların aktif hale gelmesine müsaade edilmesi olmak üzere iki yaklaşım bulunmaktadır (Looi, 1992).

3. SİNİRSEL AĞLAR

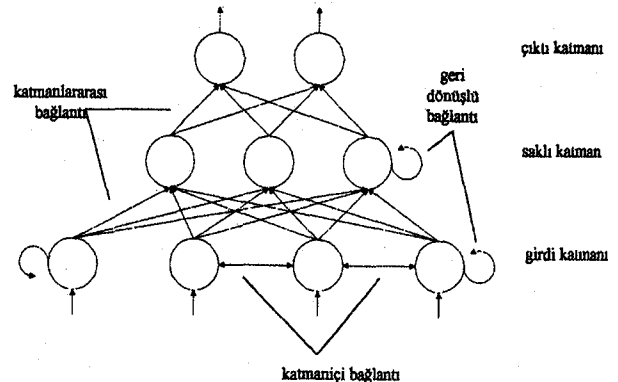
Sinirsel ağlar, akıl ve beynin basitleştirilmiş matematiksel modelleridir. Beynin yapısı ve işlevinden esinlenen bir hesaplama mimarisidir. Sinirsel ağların;

- verilerden hareketle bilinmeyen ilişkileri veya veriler arasındaki içsel dinamikleri öğrenebilme ve kendilerini organize ederek yenileyebilme,
- paralel ve asenkronize bir yapıda çalışabilme, bilgileri işlem elemanları arasındaki ağırlıklarda saklayabilme, doğrusal olmadıkları için, karmaşık problemlere doğrusal tekniklerden daha iyi ve etkin biçimde çözüm üretebilme,
- işlem elemanları arasında yer alan ağırlıklardaki bozulma nedeniyle oluşacak hatayı tolere edebilme,
- verilerde eksiklik olduğunda uygun sınıflandırmayı yapabilme ve karar aşamasında bilginin yetersiz olması halinde birikimini kullanarak sonuç üretebilme,
- hafızasında yer alan verilerin özellikleri ile yeni karşılaşılan bir duruma ilişkin verinin ilişkilendirilmesi olarak tanımlanan genelleme yapabilme,
- işlem elemanlarının uygun bir biçimde organize edilebilmesi sayesinde hesaplamaları bugün var olan en hızlı bilgisayarlardan daha hızlı olarak gerçekleştirebilme

gibi ayırıcı nitelikleri vardır (Cichocki ve Unbehauen, 1993; Haykin, 1994; Anagün, 1999).

Felsefe, fizik, mühendislik, bilgisayar bilimi, matematik gibi disiplinlerdeki ilgililerce geliştirilmiş olan sinirsel ağlarda; *ağ yapısı* (topoloji), *hesaplama ve öğrenme dinamikleri* (kuralları) olmak üzere üç eleman söz konusudur (Masson ve Wang, 1990). Ağ yapısı; farklı sayıda işlem elemanı ve bunların yer aldığı katman(lar)dan oluşur. Katman(lar)da bulunan işlem elemanları için; aynı katmandaki işleme elemanlarını bağlayan katman içi bağlantılar, farklı katmanlardaki işleme elemanlarını birbirine bağlayan ağ içi bağlantılar ve bir döngü yapan, işleme elemanlarını kendilerine çıktı değeri gönderebildiği geri dönüşlü bağlantılar olmak üzere üç farklı bağlantı söz konusudur (Dagli ve Poshyanonda, 1994).

Bu bağlantılar örnek bir sinirsel ağ yapısı üzerinde Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Sinirsel Ağlarda Bağlantı Çeşitleri.

Her biri kendisine ait ağ yapısına, hesaplama ve öğrenme dinamiğine sahip olmakla birlikte, sinirsel ağlar kullandıkları öğrenme kurallarına bağlı olarak iki grupta incelenirler ve desen tanıma, sınıflandırma ve tahminlemeden, görüntü ve konuşma işleme, robot uygulamaları ve eniyileme konularına kadar bir çok alanda yoğun biçimde kullanılmaktadırlar (Siyahi ve Anagün, 1998).

İlgilenilen problem(ler)in çözümünde klasik yöntemlerin kullanılması, kimi durumlarda; zaman, para, donanım veya personel yönüyle pahalı ve elde edilen hassasiyet yönüyle yetersiz olabilir. Sinirsel Ağlar, klasik yöntemlerin olmadığı, uygulanmasının uygun olmadığı veya uygulanması halinde elde edilen sonuçların yeterli olmadığı durumlarda, ilgilenilen problem(ler)in çözümünde etkilidirler (Anagün, 1999).

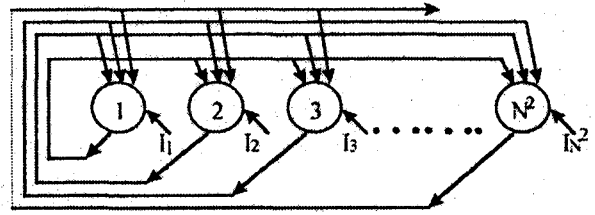
4. HOPFIELD SINİRSEL AĞI KULLANILARAK ATELYE TİPİ ÜRETİM ORTAMINDA İŞLERİN ÇİZELGELENMESİ

4.1. Hopfield Sinirsel Ağı

Hopfield ve Tank (1985)'in, gezgin satıcı probleminin çözümü için geliştirdiği sinirsel ağ modeli birçok kombinatorik problemin çözümünde kullanılmaktadır.

Hopfield sinirsel ağı, tek katmanlı, gerçek değerli bağlantı ağırlıkları kullanan geri dönüşlü işlem elemanlarından oluşan gözetimsiz bir ağıdır. Ağı oluşturan her bir işlem elemanı, ağıdaki diğer tüm işlem elemanları ile bağlantılıdır. Basitçe, ağı oluşturan tüm elemanlar hem girdi, hem de çıktı işlem elemanlarıdır. Eğer hesaplanan aktivasyon değeri belli bir eşik değerinden büyük ise "1", değil ise "0" değerini alır ki, bu da "1" değeri alan işlem elemanının yanmış, yani aktif halde olması anlamındadır. Gözetimsiz bir ağ olması nedeniyle, her bir bağlantı arasındaki ağırlıklar belli bir öğrenme sürecinin sonucu olarak belirlenemezler. Ancak, problemin enerji fonksiyonundan hareketle ilgili hesaplama dinamiği kullanılır. İşlem elemanları, aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek belli bir düzen içinde veya rassal olarak güncellenir. Bağlantı ağırlıklarını oluşturan matrisin simetrik ve köşegenlerindeki değerlerin sıfır olması, yani ilgili işlem elemanının kendisine geri dönüşü olmaması, $T_{ii} = 0$, $\forall i$ ve $T_{ij} = T_{ji}$ olması nedeniyle, ağ bütünsel bir yakınsama göstermektedir (Hopfield, 1984). Şekil 2'de Hopfield sinir ağının yapısı gösterilmektedir.

Doğrusal olmayan işleme elemanları, simetrik bağlantı ağırlıkları ve geri dönüşlü işleme dinamiği gibi ayırt edici özelliklere sahip olan Hopfield sinirsel ağı (Haykin, 1994);



Şekil 2. Hopfield Sinirsel Ağ Modeli.

t : zaman indisi

$V_i(t)$: t anında i . işlem elemanının sahip olduğu aktivasyon değeri

$u_i(t)$: t anında i . işlem elemanının sahip olduğu net girdi

$I_i(t)$: t anında i . işlem elemanına uygulanan dışsal taraflı akım

T_{ij} : i . işlem elemanı ile j . işlem elemanı arasındaki bağlantının ağırlığı

λ : kazanç parametresi

τ : ağ (devre) sabiti

E : enerji fonksiyonu

olmak üzere, herhangi bir işlem elemanının; t anındaki net girdisi;

$$u_i(t) = \sum_{j=1}^n T_{ij} V_j(t) + I_i(t) \quad (7)$$

$(t+1)$ anındaki aktivasyon değeri;

$$V_i(t+1) = f[u_i(t)] \quad (8)$$

$$V_i = f[\lambda u_i] = \frac{1}{2} [\tanh(\lambda u_i)] \quad (9)$$

$$V_i(t+1) = f \left[\sum_{j=1}^n T_{ij} V_j(t) + I_i(t) \right] \quad (10)$$

olarak modellenir.

Hopfield sinirsel ağı üzerinde; işlem elemanlarının birbirleri ile olan bağlantı ağırlıkları dirençler (R_i) ve aktivasyon fonksiyonu kapasitans (C_i) olmak üzere, her bir işlem elemanının birbiri ile olan bağlantısı bir elektrik devresine benzetilmektedir. Böylesi bir yapı içinde, Hopfield sinirsel ağı üzerindeki her bir işlem elemanının değişim hızı, yani bir sonraki ardıştırmada ne kadarlık bir değişime uğrayacağı, birinci dereceden bir diferansiyel denklem ile ifade edilebilir (Hopfield ve Tank, 1985).

Değişim hızı;

$$C_i \frac{du_i}{dt} = - \frac{u_i}{R_i} + \sum_{j=1}^n T_{ij} V_j + I_i \quad (11)$$

olacaktır. Eşitliğin her iki tarafı da C_i 'ye bölünür ve T_{ij}/C_i ve I_i/C_i , sırasıyla T_{ij} ve I_i olarak yeniden tanımlanır ise;

τ : ağ (devre) sabiti (hesaplamalar için değeri "1" kabul edilmektedir)

$$\tau = R_i C_i$$

olmak üzere

$$\frac{du_i}{dt} = - \frac{u_i}{\tau} + \sum_{j=1}^n T_{ij} V_j + I_i \quad (12)$$

şeklinde basit bir yapıya indirgenebilir ve sistemin enerjisi ise öncelikle;

$$E = - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n T_{ij} V_j + \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \int_0^{v_i} f_i^{-1}(v) dv - \sum_{i=1}^n I_i V_i \quad (13)$$

ve sonrasında da, enerji fonksiyonu içindeki ikinci terim ihmal edilecek kadar küçük olması nedeniyle;

$$E = - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n T_{ij} V_i V_j - \sum_{i=1}^n I_i V_i \quad (14)$$

olarak tanımlanır (Hopfield, 1984 ; Freeman ve Skapura, 1991).

Enerji düzeyi yerel bir en küçüğe doğru hareket ettikçe sinirsel ağ çıktısı her zaman değişeceğinden, Hopfield sinirsel ağı dinamik bir yapıya sahiptir. Bu nedenle, Hopfield sinirsel ağı, bir arama tipi ağ olarak da sınıflandırılmaktadır (Cheung, 1994).

(12) numaralı eşitlik ile yürütülen ağ çıktılarındaki değişim sayesinde, her zaman ağın enerji seviyesi düşmekte veya en azından aynı seviyede kalmaktadır. Başka bir deyişle, hareket denklemi ile elde edilen her değişim, enerji seviyesinde her zaman pozitif olmayan bir karşı değişimle sonuçlanmaktadır. Ağ yerel en küçük seviyede kararlı hale geldiğinde enerji düzeyinde büyük oranda değişiklik olmayacaktır. Arama sırasında, Hopfield ağı, rassal değerlerle veya I_i girdileri ile etkilenmiş değerler ile başlatılmaktadır. Girdi, (12) nolu denklemin sağ tarafında bir değişime ve böylece net girdide karşı gelen bir değişikliğe sebep olur. Ağ dinamiği, ağ çıktılarını en yakın yerel en küçük noktaya doğru değiştirmeye başlar.

4.2. Hopfield Sinirsel Ağı ile İşlerin Çizelgenmesi

Kombinatorik yapıdaki bir problemin Hopfield sinirsel ağı ile çözümünü izleyen 5 adımda gerçekleştirilmektedir (Ramanujan ve Sadayappan, 1988):

1. Problemi temsil edecek desenin belirlenmesi,
2. En iyi çözüme karşı gelecek bir enerji fonksiyonunun belirlenmesi,
3. Parametrelerin belirlenmesi,
4. Her bir işlem elemanı için hareket denkleminin belirlenmesi,
5. Ağın başlangıç değerleri kullanılarak çalıştırılması.

4.2.1. Problemi Temsil Edecek Desenin Belirlenmesi

Problem gezgin satıcı probleminin çözümünde olduğu gibi benzer biçimde iki boyutlu matrisel form içinde yapılandırıldığında, her bir satıra ve sütuna karşı gelen işlem elemanı dizisi tek bir işe ait olan işlemi temsil edecektir. Dolayısıyla, en az $n \times m$ satır ve sütun olacaktır ki, bu da birbiri ile bağlantılı $(n \times m)^2$ işlem elemanı demektir. i -inci işin j -inci işleminin k -ıncı makine yapılması durumunda tüm bu toplam $n \times m$ adet yerine getirilmesi gereken işlemlerin her biri bir i satır ve j sütununda ifade edilir.

Hesaplama süreci sonunda elde edilen $[n \times (m+1)]^2$ boyutlu matriste işlemlerin birbiri ile olan bağlantıları, öncelikle sütun temelinde irdelenmelidir. İlgilenilen sütunda yanmış olan nöronlara karşı gelen işlemler, bu sütuna karşı gelen işlemi takip etmektedir. j -inci sütundaki işlem ile satırlarda yanmış olan işlem elemanlarına karşı gelen işlemler arasında bağlantı vardır. Bu durum, işlemin yapıldığı makine boş kalmadan sürekli bir şekilde aynı makine üzerinde başka bir işleme geçildiğini ifade etmektedir. Dolayısıyla, tüm matris üzerinde bu olayı düşünecek olursak, makineleri de göz önüne aldığımızda işlemler birbiri ardına dizilirler ve işlemler, mümkün olan en kısa sürede tamamlanırlar.

Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4' de, çalışmada test amacıyla kullanılan problemlerden olan 4 iş ve 3 makineden oluşan örnek problem için, sırasıyla; makine işlem sıraları (rotaları), işlem süreleri, elde edilmeye çalışılan en iyi çözüme karşı gelen desen ve Şekil 3'de de bu desene karşı gelen Gantt şeması görülmektedir.

4.2.2. En İyi Çözüme Karşı Gelecek Enerji Fonksiyonunun Belirlenmesi

Hopfield sinirsel ağının kullanımında, problem tüm kısıtları ve amacı içeren tek bir enerji fonksiyonu

başlangıç sabit değer olmak üzere enerji fonksiyonu şu şekilde oluşturulabilir:

$$V_{ij} = \frac{1}{2} \left[1 + \tanh\left(\frac{u_{ij}}{u_0}\right) \right] \quad (15)$$

$$E = \frac{A}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{k \neq j}^N V_{ij} \cdot V_{ik} + \frac{B}{2} \left[\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N V_{ij} - N \right]^2 + \frac{C}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j \neq i}^N P_i \cdot V_{ij} \left[\sum_{z \neq j}^N V_{iz} \right] \quad (16)$$

En iyi çözüm enerji fonksiyonunu en küçük yapan noktada gerçekleşmektedir. (16) numaralı eşitlik ile verilen enerji fonksiyonundaki A/2 katsayısına sahip olan birinci terim her bir satırda sadece tek bir işlem elemanının yanmasını, yani belli bir işlemin sadece bir tek makine üzerinde bir kez gerçekleşmesini sağlamaktadır. Birinci terimin sıfır değerini alması, ilgili kısıtın sağlanması anlamındadır. İkinci terim ise, toplam N işlem elemanının yanması, dolayısıyla, işlere ait tüm işlemlerin gerçekleşmesi demektir. Bir başka ifadeyle, N toplam işlem sayısı iken, bütün işlemler makinelere atanırsa ikinci terim sıfır değerini alacaktır.

Enerji fonksiyonunda yer alan ilk iki terimin sıfır değerini alması, kısıtları sağlayan bir uygun çözümün elde edilmiş olduğunu göstermektedir. Bulunan çözümün iyileştirilmesi veya çözümün en iyi çözüm olup olmadığı, enerji fonksiyonunda yer alan bütün işlemlerin tamamlanma zamanını ifade eden üçüncü terimin değeri ile irdelenir. Bu bağlamda, (16) numaralı eşitlikte yer alan son terim, işlerin mümkün olan en kısa zamanda tamamlanabilmelerini sağlamaya yöneliktir. Özetle enerji fonksiyonunda yer alan ilk iki terim çizelgelemenin kısıtlara uygun olarak gerçekleştirilmesini, son terim ise çizelgeleme sonrası elde edilecek olan işlerin toplam tamamlanma zamanının en küçük olmasını sağlamaktadır.

4.2.3. Parametrelerin Belirlenmesi

Enerji fonksiyonunda, amaç fonksiyonuna ve kısıtlara karşı gelen terimlerin katsayıları olan ve tamamıyla çözümü araştırılan probleme bağlı olarak değer alan A, B ve C parametrelerinin uygun değerlerinin kullanılması, başarının artmasında önemli olmakla birlikte, bunların en iyi değerlerini elde etmek için geliştirilmiş sistematik bir prosedür bulunmamaktadır (Satake vd., 1994). Ancak bunların seçimine ilişkin yapılmış teorik çalışmalar da bulunmaktadır (Aiyer vd., 1990; Matsuda, 1994; Matsuda, 1995; Matsuda, 1996).

Ağı çalıştırmadan önce, enerji fonksiyonunda yer alan A, B, C parametrelerinin, dışsal akım değeri I, u_0 , $u_{00} > 0$ başlangıç sabit parametrelerinin, δu_{ij} rassal gü-

rültü terimi ve u_{ij} girdi voltajlarının başlangıç değerlerinin, ayrıca Δt zaman aralığının, yani yapılan her bir güncellemede atılacak adımın büyüklüğünün belirlenmesi gerekmektedir.

Girdi voltajlarının değerleri $u_{ij} = u_{00} + \delta u_{ij}$ denklemi kullanılarak türetilir. Rassal gürültü terimlerinin türetilmesi için ise $u_0 = 0.02$ olmak üzere,

$$-0.1 u_0 \leq \delta u_{ij} \leq 0.1 u_0$$

aralığının kullanılması tavsiye edilmektedir (Hopfield ve Tank, 1985).

Çalışmada ele alınan test problemlerinin çözümleri için;

$$I = -0.2 \quad u_0 = 0.02 \quad u_{00} = -0.01385 \quad \Delta t = 0.001$$

parametreleri sabit tutulmuş, enerji fonksiyonundaki ilgili terimlerin katsayıları olan A, B ve C parametrelerinin problemin boyutuna bağlı etkisini araştırarak şekilde,

$$A = [100, 400, 1000] \quad B = [15, 40, 50] \quad C = [1, 4, 7]$$

parametre değerleri kullanılarak ağ çalıştırılmıştır. Ele alınan problemler için kullanılan değerler önceleri tamamıyla rassal olarak seçilmiş ve değerler üzerinde değişiklikler yapılarak uygun ve/veya en iyiye yakın çizelgelere yakınsayan değerler belli aralıklarda yakalanmaya çalışılmıştır. Sonrasında ise, belirlenen bu aralıklar dahilinde elde edilen değerler kullanılmıştır.

Belirlenen parametre değerlerine bağlı kalınarak yapılan ve belli ardıştırmada sonrasında uygun bir çözümün elde edildiği denemeler için; parametrelerin tek başlarına ve ikili etkileşimlerine dayalı olarak yapılan analizler sonucunda, iş sayısının küçük olduğu problemlerde ($n \leq 6$), $C=1$, $B=[15,40]$ ve $A=[100, 400]$ değerleri için toplam tamamlanma zamanı küçülmüştür. Makine sayısı sabit kalmak kaydıyla, iş sayısı arttığında, problemlerde, $A=[1000]$, $B=[40,50]$ ve $C=[1,4]$ alındığında uygun çözüm sayısı artmakta ve çözüm değeri küçülmektedir. Makine ve iş sayısındaki artışlarla birlikte çözüm değerini küçülten değerler $A=[1000]$, $B=[40,50]$ ve $C=1$ olarak gerçekleşmiştir.

Yapılan analizler sonucunda, C parametresinin büyük değeri için uygun olmayan çözümler elde edilmiştir. Bu parametrenin işlem süresi üzerinde etkili olduğu düşünülürse, C parametresi çoğu zaman uzun işlem süresine sahip işe karşı gelen işlem elemanlarının yanmasına neden olmaktadır.

Aynı zamanda, iş ve makine sayısı arttıkça, A parametre değerinin büyüdüğü ve B parametre değerinin ise [40, 50] değerlerine yakınsadığı gözlenmiştir. Dolayısıyla, parametre değerleri probleme özel bir yapı göstermekte, ancak benzer boyuttaki farklı durumlar için aynı değerler kullanılabilir görünmektedir.

4.2.4. Her Bir İşlem Elemanı İçin Hareket Denkleminin Belirlenmesi

Kombinatorik yapıda olan çizelgeleme probleminin Hopfield sinirsel ağı ile çözümünde izleyen adım, sistemin zamana göre davranışını belirleyecek hareket denklem(ler)inin oluşturulmasıdır. Söz konusu hareket denklemleri, p_i , ilgili desen için, matris üzerinde i-inci satırdaki işleme karşı gelen süre olmak üzere aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

$$\Delta u_{ij} = \left[-\frac{u_{ij}}{\tau} - A \sum_{k \neq j}^N V_{ik} - B \left(\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N V_{ij} - N \right) - C p_i \left\{ \sum_{z \neq j}^N V_{iz} \right\} + I_{ij} \right] \Delta t \quad (17)$$

$$u_{ij}(t+1) = u_{ij}(t) + \Delta u_{ij} \quad (18)$$

4.2.5. Ağın Başlangıç Değerleri Kullanılarak Çalıştırılması

Hopfield sinirsel ağı ile kombinatorik bir problemin çözümündeki son adım ise, sistemin başlangıç değerlerinin belirlenerek sistemin çalıştırılmasıdır. Bu amaçla, ilgili hesaplamaları ve çizelgeyi oluşturan deseni türetecek hesaplama süreci DELPHI programla dili kullanılarak kodlanmıştır.

Oluşturulan Hopfield sinirsel ağı, uygulamada ele alınan ve iş-makine sayıları yönüyle farklı olan test problemlerinin çözümleri için belirlenen parametre değerleri kullanılarak çalıştırılmıştır.

Önerilen yaklaşımın sonucunda elde edilen çözümlerin karşılaştırılması amacıyla, ele alınan test problemlerinin "rassal", "en kısa işlem süresi" ve "toplam işlem süresi en az kalan" olmak üzere üç farklı öncelik kuralı için çözümleri araştırılmıştır. Elde edilen tüm çözümler, önerilen yaklaşım ile en iyi değeri de içerecek şekilde Tablo 6'da verilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Üretimin gerçekleştirildiği ortam içinde, mevcut kaynakların belirlenen amaç ve/veya amaçlar doğrultu-

sunda yerine getirilmesi gereken görevlere zaman teminde tahsis edilmesi gerekmektedir. İş ve/veya makine sayısındaki küçük artışlar, problemin çözüm uzayının önemli oranda büyümesine ve buna bağlı olarak gerekli hesaplama süresinin artmasına neden olduğundan, problemin en iyi çözümünün bilinen analitik yöntemlerle bulunması zorlaşmaktadır ve bu bağlamda, çizelgeleme, bir NP-zor kaynak tahsis problemi olarak ifade edilmektedir. Dolayısıyla, bu tür problemlerin çözümünde, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar ve tavlama benzetimi gibi yapay zeka teknikleri alternatif bir yaklaşım olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Yapılan çalışmada, konuyla ilgili diğer çalışmalar-dan farklı olarak, çizelgeleme problemi, kısıtları sağlayacak ve tüm işlerin toplam tamamlanma zamanını en-küçükleyecek biçimde tek bir enerji fonksiyonu ile tanımlanmıştır. Ağın, rassal olarak belirlenen parametreler ışığında, çalıştırılması sonucunda elde edilen desene karşı gelen çizelgelerin büyük bir kısmında bir veya iki işlem, kısıtları ihlal edecek şekilde sıralanmış ve en iyiye yakın desenler elde edilmiştir. Elde edilen çizelgelerin tamamının uygun çizelge olmaması, değerlerinin belirlenmesi gereken çok fazla sayıda ve değişkenlikte parametre olması bir neden olarak gösterilebilir. Çalışma boyunca karşılaşılan zorlukların başında gelen bu durum, sinirsel ağlarla problem çözümlerinin getirdiği olumsuzluklardan biri olarak sayılabilir.

Bununla birlikte, elde edilen uygun çözümde, çoğu zaman oluşan desene karşı gelen Gantt şemaları üzerinde, işlemler arası geçişlerde atıl süreler oluşmaktadır. Bu süreler çizelge üzerinde, işlerin pozisyonlarının düzenlenmesi ile azaltılabilmektedir. Benzer mantıkla, ileri programlama teknikleri kullanılarak, bilgisayarın bu konudaki gücünden daha iyi faydalanmak kaydıyla bulunan çözümler daha da iyileştirilebilir.

Ağın çalıştırılması boyunca, hesaplama süreci üzerinde, u_0 , u_{00} , I , Δt parametreleri sabit tutulduğunda, oluşturulan enerji fonksiyonunda kısıtlara karşı gelen A, B ve C parametre değerlerinin etkili olduğu görülmüştür. Genelde, diğer parametre değerleri sabit tutulduğunda A'nın büyük değerleri için sistem çok hızlı bir şekilde uygun olmayan ve hemen hemen tüm öncelik kısıtlarının ihlal edildiği çizelgelere yakınsamaktadır. Benzer durum, B'nin büyük değerleri için de geçerlidir. C parametresinin büyük değerlerinde ise, enbüyük işlem süreli işlere öncelik verircesine, ağın oluşturduğu çözümlerde işlem süresi büyük olanlara ait nöronlar yanmakta ve bu da uygun olmayan çözümler üretmektedir.

A, B ve C parametre değerleri probleme özel durumlar göstermektedir. Yapılan analizler sonucunda, iş sayısının küçük olduğu problemlerde ($n \leq 6$) $C=1$, $B=[15, 40]$ ve $A=[100, 400]$ değerleri için toplam ta-

Tablo 6. Örnek Problemlerin Çözüm Sonuçları.

	İş	Makine	TTZ (en iyi)	Rassal	EKİS	TİSEK	Önerilen Yaklaşım
1	4x3	4	3	32	35	35	34
2	6x6	6	6	55	69	65	83
3	10x10	10	10	930	1148	1233	1334
4	10x5	10	5	666	976	772	933
5	15x5	15	5	926	953	926	1067

EKİS : En Kısa İşlem Süresi

TİSEK : Toplam İşlem Süresi Enaz Kalan

TTZ : Toplam Tamamlanma Zamanı (makespan)

mamlanma zamanı küçülmektedir. Makine sayısı sabit kalmak kaydıyla, iş sayısı arttığında, problemlerde, $A=[1000]$, $B=[40,50]$ ve $C=[1,4]$ alındığında uygun çözümler artmakta ve çözüm değeri küçülmektedir. Makine ve iş sayısındaki artışlarla birlikte çözüm değerini küçülten değerler $A=[1000]$, $B=[40,50]$ ve $C=1$ olarak gerçekleşmektedir. Dolayısıyla, iş sayısı ve makine sayısı arttıkça A parametre değerinin büyüdüğü ve B parametre değerinin ise $[40, 50]$ değerlerine yakınsadığı gözlenmiştir. Sonuç olarak, parametre değerleri problem özel bir yapı göstermekte, ancak benzer boyuttaki farklı durumlar için aynı değerler kullanılabilir görülmektedir.

Tüm bu olumsuzluklara rağmen, ağ çözüm üretmede paralel bir hesaplama dinamiği yürüttüğünden, bilinen analitik ve yordamsal yöntemlere kıyasla, problem boyutuna bağlı olmaksızın yaklaşık 1000 ardıştırma sonucunda belli bir enerji değerine yakınsamaktadır. Ardıştırma sayısında çok fazla bir değişiklik olmamakla birlikte, iş ve makine sayısına bağlı olarak işlem yükünün büyümesinden dolayı ardıştırma süresi artmaktadır. Diğer parametreler sabit tutulduğunda, ağın hızını belirleyen bir etken de her bir ardıştırmada atılacak adımın büyüklüğünü belirleyen Δt değeridir. Genel anlamda eniyileme teknik ve yordamlar da olduğu gibi Δt değeri küçüldükçe ağın yakınsama hızı da azalmakta, yerel en iyi noktalardan kurtulması güçleşmekte ve Δt değeri büyüdükçe de çözüm hızlanmakta ancak bütünsel eniyi noktalar gözden kaçabilmektedir.

Önerilen yaklaşım, küçük boyutlu problemlerde dahi karşılaşılan bir dizi kısıt ve değişken ile ilgilenmek zorunda kalınmadan hızlı bir şekilde çözüm aramaya başlayabilme imkanı vermektedir. Bu uygulama ile dikkati çeken önemli bir nokta kullanılan dışsal girdi akımları üzerinde oynayarak, karşılaşılabilecek özel durumlarda, işlemlerin sadece istenen/istenmeyen makinelerde gerçekleşmesi/gerçekleşmemesinin sağlanmasıdır. Ayrıca, öncelikli başlaması istenen işlemler, ilgili nöronlara olumlu veya olumsuz yönde dışsal bir akım uygulanarak sıralanabilir.

Parametrelerin değerlerinin belirlenmesinde rassal olmayan daha bilimsel ve/veya analitik yöntemler kullanılarak ve süreci istenen yönde yakınsatması beklenen bu değerler üzerinden daha iyi sonuçlar elde edilmesi mümkün olabilir. Değişik uygulamalar üzerinde birçok deneysel çalışmalar yapılmakla birlikte, bunları gerçek uygulamalar üzerinde denemeden önce, sinirsel ağların problem çözme davranışının incelenmesi yönlü, teorik çalışmalara ihtiyaç olduğu da açıktır. Bu manada, sistem değerlerinin kendisini yenileme mekanizmasında daha farklı yaklaşımlarla iyileştirmelere gidilebilir.

Çizelgeleme problemlerinin kombinatorik yapısı ve en iyiye duyulan ihtiyaç göz önüne alındığında, önerilen yaklaşımı karşılaştırmada kullanılan yöntem-

lere göre üstünlüğünden söz etmek mümkün değildir. Problemlerin çözümü için başta sinirsel ağlar ve genetik algoritmalar olmak üzere yapay zeka teknikleri ile diğer kesin ve/veya yordamsal teknikleri birleştiren karma yöntemler kaçınılmaz görülmektedir.

Yapılan çalışma ve önerilen yaklaşımın aslında eniyileme türü ve özellikle çizelgeleme probleminin toplam tamamlanma zamanını içerecek şekilde genel olarak bir Hopfield sinirsel ağı üzerinde nasıl yapılandırılabileceği ve ağın hesaplama sürecine, davranışına, performansına nelerin etki ettiğinin anlaşılmasında yol gösterici niteliktedir.

KAYNAKÇA

- Aiyer, S.V.B., Niranjana, M. ve Fallside, F. (1990). A Theoretical Investigation into the Performance of the Hopfield Model. *IEEE Trans. Neural Networks*, 1(2), 204-215.
- Anagün, A.S. (1999). Bilgi Güvenliğinin Sağlanmasında Kullanıcı Özelliklerine Dayalı Bir Yapay Sinirsel Ağ Yaklaşımı. *Endüstri Mühendisliği*, 10(4), 3-11.
- Cichocki, A. ve Unbehauen, R. (1993). *Neural Networks for Optimization and Signal Processing*. Wiley and Sons, Chichester.
- Cheung, J. Y. (1994). Scheduling. *Artificial Neural Networks for Intelligent Manufacturing*, edited by Cihan H. Daglı, Chapman and Hall, Londra.
- Dagli, C. H. ve Poshyanonda, P. (1994). Basic Artificial Neural Networks Architectures. *Artificial Neural Networks for Intelligent Manufacturing*, edited by Cihan H. Daglı, Chapman and Hall, Londra.
- Freeman, J.A. ve Skapura, D.M. (1991). *Neural Networks: Algorithms, Applications and Programming Techniques*. Addison Wesley Publishing.
- Foo, S.Y. ve Takefuji, Y. (1988a). Stochastic Neural Networks for Solving Job Shop Scheduling Part 1. Problem Presentation. *Proc. Int. Conf. Neural Networks*, 2, 275-282.
- Foo, S.Y. ve Takefuji, Y. (1988b). Stochastic Neural Networks for Solving Job Shop Scheduling Part 2. Architecture and Simulations. *Proc. Int. Conf. Neural Networks*, 2, 283-290.
- Foo, S.Y., Takefuji, Y. ve Szu, H. (1995). Scaling Properties of Neural Networks for Job Shop Scheduling. *Neurocomputing*, 8(1), 79-91.
- Grossberg, S. (1988). Nonlinear Neural Networks: Principles, Mechanisms and Architectures. *Neural Networks*, 1, 17-61.

- Haykin, S., (1994). *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. Prentice Hall.
- Hopfield, J. J. ve Tank, D. W. (1986). Computing with Neural Circuits: A Model. *Science*, 233, 625-639.
- Hopfield, J. J. ve Tank, D. W. (1985). Neural Computation of Decisions in Optimization Problems. *Biological Cybernetics*, 52, 141-152.
- Hopfield, J. J. (1984). Neurons with Graded Response have Collective Computational Properties like those of Two-State Neurons. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 81, 3088-3092.
- Hopfield, J. J. (1982). Neural Networks and Physical Systems with Emergent Collective Computational Abilities. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 79, 2554-2558.
- Jain, A. S. ve Meeran, S. (1998). Job Shop Scheduling Using Neural Networks. *International Journal of Production Research*, 36(5), 1249-1272.
- Knapp, G.M. ve Wang, H.-P. (1992). Machine Fault Classification: A Neural Network Approach. *International Journal of Production Research*, 30(4), 881-823.
- Looi, C.K. (1992). Neural Network Methods in Combinatorial Optimization. *Computers and Operations Research*. 19(3/4), 191-208.
- Masson, E. ve Wang, Y.J. (1990). Introduction to Computing and Learning in Artificial Neural Networks. *European Journal of Operational Research*, 47(1), 1-28.
- Matsuda, S. (1996). Distribution of Asymptotically Stable States in Hopfield Network for TSP. *Proc. IEEE International Conf. on Neural Networks*, 1, 6.
- Matsuda, S. (1995). Theoretical Comparison of Mappings of Combinatorial Optimization Problems to Hopfield Networks (Extended Abstract). *Proc. Int. Conf. Neural Networks*, 1674-1677.
- Matsuda, S. (1994). Theoretical Characterizations of Possibilities and Impossibilities of Hopfield Neural Networks in Solving Combinatorial Optimization Problems. *Proc. Int. Conf. Neural Networks*, 4563-4566.
- Morton, T. E. ve Pentico, D. W. (1993). *Heuristic Scheduling Systems: With Applications to Production Systems and Project Management*. Wiley, New York.
- Pinedo, M. (1995). *Scheduling: Theory, Algorithms and Systems*. Prentice Hall.
- Ramanujan, J. ve Sadayappan, P. (1988). Parameter Identification for Constrained Optimization Using Neural Networks. *Proc. Connectionist Summer School*, 157-161.
- Rumelhart, D. E. ve McClelland, J. L. (1986). *Parallel Distributed Processing, Volume 1: Foundations*, MIT Press.
- Sabuncuoğlu, I. (1998). Scheduling with Neural Networks: A Review of The Literature and New Research Directions. *Production Planning and Control*, 9(1), 2-12.
- Satake, T., Morikawa, K. ve Nakamura, N. (1994). Neural Network Approach for Minimizing the Makespan of the General Job Shop. *International Journal of Production Economics*, 33(1-3), 67-74.
- Simpson, P. K. (1990). *Artificial Neural Systems: Foundations, Paradigms, Applications and Implementations*. Pergamon Press.
- Siyahi, B.G. ve Anagün, A.S. (1998). Sismik Sıvılaşma Potansiyelinin Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Yedinci Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı*, 552-561.
- Tank, D. W. ve Hopfield, J. J. (1986). Simple Neural Optimization Networks: An A/D Converter, Signal Decision Circuit and A Linear Programming Circuit. *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, 33, 533-541.
- Thawonmas, R., Chakraborty, G. ve Shiratori, N. (1995). Fast Heuristic Scheduling Based on Neural Networks for Real-Time Systems. *Real Time Systems*, 9(3), 289-304.
- Tersine, R. J. (1985). *Production/Operations Management: Concepts, Structure and Analysis*. Elsevier Science Pub., New York.
- Van Hulle, M. M. (1991a). Goal Programming Network for Linear Programming. *Biological Cybernetics*, 65, 243-252.
- Van Hulle, M. M. (1991b). Goal Programming Network for Mixed Integer Linear Programming: A Case Study for The Job Shop Scheduling Problem. *International Journal of Neural Systems*, 2(3), 201-209.
- Willems, T.M. ve Brandts, L.E.M.W. (1995). Implementing Heuristics as an Optimization Criterion in Neural Networks for Job Shop Scheduling. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 6(6), 377-387.
- Zhou, D. N., Cherkassky, V., Baldwin, T. R. ve Olson, D. E. (1991). A Neural Approach to Job Shop Scheduling. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 2(1), 175-179.



Ümit Ali Özkazanç Osmangazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden 1996 yılında derece ile mezun oldu. 1996-1997 Öğretim yılında aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisans programına başladı. Kasım 1996'da Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olan Özkazanç,

bir dizi dersin yürütülmesine destek verdi. Ümit Ali Özkazanç; bir dizi mesleki bilgisayar programını etkin biçimde kullanabilmekte, ileri seviyede program yazabilmekte, iyi derecede İngilizce ve orta düzeyde Almanca bilmektedir. Haziran 1999'da Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisansını tamamlayan Arş. Gör. Özkazanç halen Ankara'da askerlik görevini yapmaktadır.



A. Sermet Anagün 1982 yılında Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 1983 yılında aynı bölümde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Anagün; 1985 yılında Yüksek Lisansını, 1993'de de burslu olarak gittiği Amerika Birleşik Devletleri'nin Cleveland Eyalet

Üniversitesi'nde Doktorasını tamamladı. Haziran 1994'de Yardımcı Doçent kadrosuna atandı ve Temmuz'94-Şubat'98 döneminde bölüm başkanı yardımcılığını görevini yürüttü. Dr. Anagün, 1996-1998 yılları arasında Fakülte Yönetim Kurulu'nda Yardımcı Doçent temsilcisi olarak görev yaptı. 1998 yılında Doçent olan Anagün, halen Osmangazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi olarak çalışmakta ve Yöneylem Araştırması Anabilim Dalı Başkanlığı görevini sürdürmektedir. Dr. Anagün, Yöneylem Araştırması Derneği üyesi olup, Servis Sistemleri, Benzetim, Kalite Kontrol, Güvenilirlik, Uzman Sistemler ve Yapay Sinirsel Ağlar konularında çalışmaktadır. Ulusal ve Uluslar arası bilimsel toplantılara bildiri ile katılan, oturum başkanlığı ve organizasyon komitesi üyeliği yapan Doçent Anagün, bilimsel dergilerde hakemlik ve danışman editörlük görevlerini yürütmektedir. Türkçe ve İngilizce bir çok makale ve bildirisi olan, bir dizi araştırma ve projede teknik eleman olarak görev yapan ve çok iyi derecede İngilizce bilen Doçent Anagün evli ve iki çocuk babasıdır.