

Cengiz GÜNAYDIN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Danışman
Yrd. Doç. Dr. Orhan ENGİN
Konya, 2008

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BEKLEMESİZ AKIŞ TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN
ÇÖZÜMÜNDE YAPAY SİNİR AĞLARI YAKLAŞIMI

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

End. Müh. Cengiz GÜNAYDIN

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Orhan ENGİN

Konya, 2008

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BEKLEMESİZ AKIŞ TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN
ÇÖZÜMÜNDE YAPAY SİNİR AĞLARI YAKLAŞIMI

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

End. Müh. Cengiz GÜNAYDIN

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Orhan ENGİN

Konya, 2008

Bu tez... / ... / 2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Orhan ENGİN

(Danışman)

Yrd. Doç. Dr. M. Atilla ARICIOĞLU

(Üye)

Yrd. Doç. Dr. Salih GÜNEŞ

(Üye)

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BEKLEMESİZ AKIŞ TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜNDE YAPAY SINIR AĞLARI YAKLAŞIMI

Cengiz GÜNAYDIN

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Orhan ENGİN

2008, 63 Sayfa

Jüri: Yrd. Doç. Dr. M. Atilla ARICIOĞLU

Yrd. Doç. Dr. Orhan ENGİN

Yrd. Doç. Dr. Salih GÜNEŞ

Yapay Sinir Ağları, kombinatöryel optimizasyon problemlerinin çözümünde optimal yada optimale yakın çözümler sunmaktadır. Bu çalışmada Beklemesiz Akış Tipi Çizelgeleme(BATÇ) problemlerini çözmek için Yapay Sinir Ağları(YSA) yaklaşımı önerilmiştir. Agarwal ve arkadaşları (2006b) tarafından geliştirilen, Yapay Sinir Ağları için Adaptif Öğrenme Yaklaşımı, Beklemesiz Akış Tipi Çizelgeleme problemlerine uygulanmıştır. Önerilen Yapay Sinir Ağlarının performansı, Aldowasian ve Allahverdi'nin (2003) önerdiği Genetik Algoritma(GA) ile karşılaştırılmıştır. Önerilen Yapay Sinir Ağları yaklaşımı ve Genetik Algoritma çözümleri için Delphi programlama dilinde yazılım yapılmıştır. Beklemesiz Akış Tipi Çizelgeleme problemleri için literatüre uygun olarak toplam 192 adet problem seti oluşturulmuştur. Bu problemler önerilen Yapay Sinir Ağları yaklaşımı ve Genetik Algoritma ile çözülmüş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Önerilen Yapay Sinir Ağları yaklaşımının çözümlerinin, Genetik Algoritmaya göre daha iyi olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Beklemesiz Akış Tipi Çizelgeleme Problemleri, Yapay Sinir Ağları, Genetik Algoritma.

ABSTRACT

Master Thesis

AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS APPROACH FOR SOLVING THE NO-WAIT FLOWSHOP SCHEDULING PROBLEMS

Cengiz GÜNAYDIN

Selçuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Industrial Engineering

Supervisor: As. Prof.Dr. Orhan ENGİN

2008, 63 Page

Jury: As. Prof.Dr. M. Atilla ARICIOĞLU

As. Prof.Dr. Orhan ENGİN

As. Prof.Dr. Salih GÜNEŞ

Artificial Neural Networks serve up optimal or near optimal results for solving combinatorial optimization problems. In this study, Artificial Neural Networks approach has been proposed for solving No-wait Flowshop Scheduling problems. An Adaptive Learning Approach for the Artificial Neural Networks which have been improved by Agarwal and friends (2006), has been applied for No-wait Flowshop Scheduling problems. To compare for the performance of proposed Artificial Neural Networks approach has been used Aldowasian and Allahverdi's (2003) Genetic Algorithm. Programs for the algorithm of Artificial Neural Networks approach and the Genetic Algorithm solutions are written in Delphi Language. For the No-wait Flowshop Scheduling problems, a total of 192 problem set suiting the literature is created. Proposed Artificial Neural Networks approach's solutions are compared to the solutions of Genetic Algorithm. The results show that proposed Artificial Neural Networks approach's solutions give better results than the Genetic Algorithm.

Key Words: No-Wait Flowshop Scheduling Problems, Artificial Neural Networks, Genetic Algorithms.

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında yardım ve ilgisiyle beni destekleyen, değerli danışman hocam sayın, Yrd. Doç. Dr. Orhan ENGİN'e, bilgisayar programı yazılımı sırasında yardımlarını esirgemeyen sayın, Endüstri Mühendisi M. Kerim YILMAZ'a ve bana yardım eden bütün dostlarıma teşekkür ederim. Ayrıca benim bu noktaya gelmemde en büyük destekçilerim olan, her zaman maddi manevi varlıklarını ve yardımlarını arkamda hissettiğim çok değerli aileme de sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Cengiz GÜNAYDIN

Temmuz – 2007

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
TABLO LİSTESİ.....	vii
KISALTMALAR.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Beklemez Akış Tipi Çizelgeleme Problemleri ile İlgili Kaynak Araştırması.....	3
2.2. Yapay Sinir Ağları ile İlgili Kaynak Araştırması.....	6
3. MATERYAL VE METOD.....	14
3.1. Materyal.....	14
3.1.1. Beklemez Akış Tipi Çizelgeleme.....	14
3.2. Metod.....	17
3.2.1. Yapay Zeka.....	17
3.2.2. Yapay Sinir Ağları.....	18
3.2.2.1. Tanım.....	18
3.2.2.2. Yapay Sinir Ağı Hücresi.....	19
3.2.2.3. Tarihsel Gelişim.....	22
3.2.2.4. Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri ve Avantajları.....	24
3.2.2.5. Aktivasyon Fonksiyonları.....	26
3.2.2.6. Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması.....	29
3.2.2.7. Yapay Sinir Ağı Modellerinin Sınıflandırılması.....	33
3.2.3. Genetik Algoritma.....	34
3.2.3.1. Genetik Algoritmalarda Kullanılan Operatörler.....	35
3.2.4. Problemin GA ile çözümü.....	36
3.2.5. Yapay Sinir Ağı Algoritması.....	38
4. simülasyon SONUÇLARI.....	42
4.1. Veri Toplama.....	42
4.2. Parametre Optimizasyonu.....	43

4.3. BATÇ Problemlerinin Çözümlerinin Analizi	45
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	55
6. KAYNAKLAR	57

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1: Örnek problemin çözümü için önerilen S_1 çizelgesi.....	16
Şeki 3.2: Örnek problemin çözümü için önerilen S_2 çizelgesi.....	16
Şekil 3.3: Nöron yapısı.....	22
Şekil 3.4: Bir işlemci elemanı (yapay nöron).....	23
Şekil 3.5: Doğrusal veya lineer aktivasyon fonksiyonu.....	28
Şekil 3.6: Basamak aktivasyon fonksiyonları.....	29
Şekil 3.7: Tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonu.....	29
Şekil 3.8: Sigmoid aktivasyon fonksiyonu.....	30
Şekil 3.9: İleri beslemeli ağ için blok diyagram.....	31
Şekil 3.10: Geri beslemeli ağ için blok diyagram.....	32
Şekil 3.11: Danışmanlı öğrenme yapısı.....	33
Şekil 3.12: Danışmansız öğrenme yapısı.....	34
Şekil 3.13: Takviyeli öğrenme yapısı.....	34
Şekil 3.14: YSA'ların kullanım alanlarına göre sınıflandırılması.....	35
Şekil 4.1: YSA ve GA programına ait ekran görüntüsü.....	44

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Beklemez Akış Tipi Çizelgeleme İle İlgili Yapılan Çalışmalar.....	4
Tablo 2.2: Yapay Sinir Ağları İle İlgili Yapılan Çalışmalar.....	6
Tablo 3.1: 3 İş ve 2 Makine Problemi Seti.....	15
Tablo 3.2: Sinir sistemi ile YSA'nın benzerlikleri.....	24
Tablo 3.3: Genetik Algoritmanın Çözümünde kullanılan parametreler.....	40
Tablo 3.4: YSA Kontrol parametreleri ve değerleri.....	42
Tablo 4.1: Parametre optimizasyonu sonuçları.....	46
Tablo 4.2: BATÇ İki makineli problemler için kıyaslama.....	48
Tablo 4.3: BATÇ Üç makineli problemler için kıyaslama.....	49
Tablo 4.4: BATÇ Beş makineli problemler için kıyaslama.....	50
Tablo 4.5: BATÇ Sekiz makineli problemler için kıyaslama.....	51
Tablo 4.6: BATÇ On makineli problemler için kıyaslama.....	52
Tablo 4.7: BATÇ On beş makineli problemler için kıyaslama.....	53
Tablo 4.8: BATÇ Yirmi makineli problemler için kıyaslama.....	54
Tablo 4.9: BATÇ Yirmi beş makineli problemler için kıyaslama.....	55

KISALTMALAR

YSA	Yapay Sınır Ağları
BATÇ	Beklemesiz Akış Tipi Çizelgeleme
GA	Genetik Algoritma
NP	Polinomiyel Olmayan
C_{max}	En Geç Tamamlanma Zamanı
İEÇ	İşlem Elemanının Çıkışı

1. GİRİŞ

Son yıllarda işletmeler, artan rekabet ortamına uyum sağlayabilmek için müşteri gereksinimlerine en hızlı şekilde yanıt verebilecek tekniklerle üretim yapmak zorunda kalmıştır. Üretim sistemlerinde bulunan çok fazla rastsal parametre ve sürekli değişen çevre, bu ihtiyaca cevap verme noktasında yavaşlığa ve etkisizleşmeye neden olabilmektedir. Bu nedenle, çok değişkenli sistemlerde oldukça etkili olan ve gelişimini hâlâ sürdüren yapay zeka teknikleri, akış tipi çizelgeleme problemlerinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

Akış tipi çizelgeleme problemlerinin bir çeşidi de beklemesiz kısıtıyla ifade edilen, beklemesiz akış tipi çizelgeleme problemleridir. Beklemesiz akış sisteminde, kesintisiz işlem zorunluluğu dolayısı ile gerektiğinde bir işin işleme başlaması, bir işlemin verilen bir makinede tamamlanması ile takip eden işlemin diğer makinede hemen başlamasını sağlayacak şekilde işler geciktirilebilir. Beklemesiz akış sistemine ilişkin uygulamalara çelik, kimya, gıda, ilaç endüstrileri gibi birçok endüstride rastlanmaktadır.

Yapay zeka, insanın düşünme yapısını anlamak ve bunun benzerini ortaya çıkaracak bilgisayar işlemlerini geliştirmeye çalışmak olarak tanımlanır. Yapay zeka çalışmaları kapsamında ortaya çıkan ve bir noktada yapay zeka çalışmalarına destek sağlamakta olan farklı alanlardan bir tanesi de Yapay Sinir Ağları (YSA) yaklaşımıdır.

İnsan beyninin fizyolojisinden esinlenerek geliştirilmiş, beynin temel işlem elemanı olan nöronu şekilsel ve işlevsel olarak basit bir şekilde taklit eden YSA'lar, birbirine bağlı çok sayıda işlem elemanlarından oluşmakta ve genellikle paralel işleyen yapılar olarak adlandırılmaktadır.

YSA'nın genel özelliklerinin başında makine öğrenmesi gelmektedir. YSA eldeki bilinen giriş ve çıkış değerlerini kullanarak problemle ilgili öğrenmeyi gerçekleştirerek farklı girişlere yeni çıkışlar sunabilmektedir.

YSA, doğrusal olmayan transfer fonksiyonlarının kullanımıyla her türdeki problem için kullanılabilir. Sadece doğrusal değil doğrusal olmayan problemlerin çözümünde de etkin bir araçtır.

YSA sahip olduğu ağ bağlantıları ile veri tabanı veya gömülü bir belleğe ihtiyaç duymadan bilgileri, ağ üzerinde saklayabilmektedir.

YSA'ların farklı sistemlere adaptasyonu yüksektir. Farklı sistem veya problemlerin çözümü için tekrar eğitilebilirler.

Araştırmanın literatür araştırması bölümünde, beklemesiz akış tipi çizelgeleme problemleri ve yapay sinir ağları ile ilgili yapılan çalışmalar gözden geçirilmiş; materyal ve metot bölümünün materyal kısmında, beklemesiz akış tipi çizelgeleme problemleri hakkında bilgi verilmiştir. Metot bölümünde ise yapay sinir ağları hakkında bilgi verilmiş ve bu algoritmanın uygulama adımları izah edilmiştir. Ayrıca genetik algoritma hakkında da kısa bir bilgi verilmiştir. Araştırma sonuçları bölümünde, elde edilen bulgular sunulmuş, sonuç, öneriler ve tartışma bölümünde ise, uygulamada ortaya çıkan bulgular tartışılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kaynak araŐtirması; Beklemesiz Akış Tipi izelgeleme(BAT) Problemleri ve Yapay Sinir Ağları olarak iki ana konu üzerinde yapılmıştır.

2.1. Beklemesiz Akış Tipi izelgeleme Problemleri ile İlgili Kaynak AraŐtirması

Atölyede yapılacak işler aynı rotaya sahip ise, yani tüm işler aynı makineleri aynı sırada takip ediyorlar ise, bu ortam akış tipi olarak adlandırılır. Akış tipi problemlerinin önemli bir sınıfı, beklemesiz kısıtı ile karakterize edilir. Beklemesiz akış tipi çizelgeleme problemleri ile ilgili yapılan çalışmalar çok eskiye dayanmamaktadır. Fakat özellikle son yıllarda, beklemesiz çizelgeleme problemlerine olan ilgi ve bu noktada yapılan çalışmalar dikkate değer miktarda artmaktadır.

Tablo 2.1'de beklemesiz akış tipi çizelgeleme ile ilgili son yıllarda yapılan çalışmalar sunulmuştur.

Tablo 2.1 Beklemesiz Akış Tipi Çizelgeleme İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Yıl	Yazar	BATÇ Problemleri İle İlgili Yapılan Çalışmalar
2007	Pan, Q.K., Tasgetiren, M.F., Liang, Y.C.	Tamamlanma zamanı ve toplam akış zamanı kriterleriyle beklemesiz akış tipi çizelgeleme problemini çözmek için, Farklı Parça Sürü Optimizasyon algoritmasını sunmuşlardır.
2007	Oulamara, A.	İş çizelgeleme problemlerini, tamamlanma zamanının minimizasyonu için beklemesiz akış tipi ve grup tezgâhlarıyla çözmüştür.
2007	Kalczynski, P.J., Kamburowski, J.	Tamamlanma zamanının minimizasyonu için, m makineli, beklemenin ve boş zamanın olmadığı akış tipi çizelgeleme problemlerini incelemiştir.
2007	Su, L.H., Lee, Y.Y.	Toplam tamamlanma zamanını minimize etmek için, iki üretim tezgâhlı beklemesiz akış tipi çizelgeleme sisteminde tek serverla işlem yapmayı incelemiştir.
2007	Chang, J., Gong, D., Ma, X.	Beklemesiz akış tipi çizelgeleme problemlerinin çözümü için basit sezgisel ve yerel araştırmayı geleneksel genetik algoritma ile birleştirerek sezgisel bir genetik algoritma önermişlerdir. Geliştirilen sezgisel genetik algoritma ile literatürde bilinen diğer algoritmalarından daha kısa sürede ve daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.
2006	Wang, X., Cheng, T.C.E.	Beklemesiz akış tipi çizelgeleme problemlerini teslim tarihleri ve grup hazırlıkları ile beraber inceleyen bir sezgisel yaklaşım sunmuşlardır.
2005	Wang, Z., Xing, W., Bai, F.	İki aşamalı beklemesiz esnek akış tipi çizelgeleme problemini makinelerde boş zamanın olmaması durumuna göre çözmüşlerdir.
2005	Spieksma, F.C.R., Woeginger, G.J.	Çizelgeleme alanında yeni bir kaynak paradoksu incelemiştir. Gelişmiş hızlı optimal tamamlanma zamanı ile gelişmiş hızdan yoksun optimal tamamlanma zamanı arasında daha kötü olan bir oran için örnekler oluşturmuşlardır.
2005	Bouquard, J.L., Billaut, J.C., Kubzin, M.A., Strusevich, V.A.	Beklemesiz işlerin tamamlanma zamanını minimize etmek için, iki üretim tezgahlı permütasyon akış tipi çizelgeleme probleminin çeşitli versiyonlarının tam kompleks sınıflandırılmasını sağlamışlardır.
2004	Xie, J., Xing, W., Liu, Z., Dong, J.	Maksimum tamamlanma zamanının minimize edilmesi amacıyla paralel makinelerle iki aşamalı beklemesiz akış tipi çizelgeleme problemini incelemiştir.
2004	Shyu, S.J., Lin, B.M.T., Yin, P.Y.	Toplam tamamlanma zamanını minimize etmek için, iki makineli beklemesiz akış tipi çizelgeleme problemlerine karınca kolonileri algoritmasını uygulamışlardır

Yıl	Yazar	BATÇ Problemleri İle İlgili Yapılan Çalışmalar
2004	Allahverdi, A., Aldowaisan, T.	M makineli beklemesiz akış tipi çizelgeleme problemini, tamamlanma zamanı ve maksimum son kriterinin ağırlıklandırılmış miktarı ile kullanılabilir bir melez tavlama benzetimi ve melez genetik sezgisel önermişlerdir. Aynı zamanda bir hakimiyet ilişkisi algoritması ve dal sınır algoritması önermişlerdir.
2004	Aldowaisan, T., Allahverdi, A	Toplam tamamlanma zamanının kriter olduğu m makineli beklemesiz akış tipi çizelgeleme problemi için birkaç yeni sezgisel sunmuşlardır. Önerilen sezgisellerin performansını genetik algoritmayı da içine alan 3 mevcut sezgiselle karşılaştırmışlardır.
2004	Dilepan, P.	Literatürdeki Aldowaisan ve Allahverdi' nin gecikmeleri en aza indirmek için sunmuş oldukları algoritma üzerinde çalışmış ve yeniden düzenleyerek iyileştirmiştir.
2003	Cheng, T.C.E., Liu, Z.	İki makineli beklemesiz akış tipi çizelgeleme problemlerini çözmek için çok terimli bir zaman tahmin çizelgesi sunmuşlardır.
2003	Aldowaisan, T., Allahverdi, A	Çalışmalarında m makineli beklemesiz akış tipi çizelgeleme problemini tamamlanma zamanının minimizasyonu için incelemişlerdir. Genetik algoritma ve tavlama benzetimi tekniklerine bağlı iki sezgisel önermişlerdir.
2001	Wang, G., Cheng, T.C.E.	Faydalanılabilir sınırlama ile iki makineli beklemesiz akış tipi çizelgeleme problemini incelemişlerdir.
2001	Aldowaisan, T.	Hazırlık sürelerinin işleme zamanlarından ve ardışık bağımsızlıklardan ayrı düşünüldüğü iki makineli beklemesiz akış tipi çizelgeleme problemlerini, toplam akış zamanını minimize etmek için belirtmiştir. Yerel ve global üstünlük ilişkisi geliştirerek bir sezgisel sağlamıştır.
2001	Lin, B.M.T., Cheng, T.C.E.	Bir dizi işlerin mevcut eşzamanlı işlenmesi için tamamlanma zamanının minimizasyonunu amaçlayan beklemesiz akış tipi çizelgeleme problemini önermişlerdir.
2000	Bertolissi, E.	Toplam akış zamanlarının yekününü azaltan ve aynı zamanda ortalama işlem zamanını da azaltabilen bir sezgisel sunmuştur.
2000	Sidney, J.B., Potts, C.N., Sriskandarajah C.	Tamamlanma zamanını minimize etmek için, iki üretim tezgahlı beklemesiz akış tiplerinde işlerin çizelgelenmesini incelemişlerdir.
1999	Espinouse, M.L., Formanowicz, P., Penz, B.	Mevcut sınırlı makine ile iki üretim tezgahlı beklemesiz akış tipi çizelgeleme problemi modeli ile uğraşmışlardır. Bu modelde makinelerin her zaman olmayabileceğini dikkate almışlardır; mesela, bakım durumu gibi.
1998	Svetlana, A. K.	Akış zamanını minimize etmeyi amaçlayan, iki üretim tezgahlı beklemesiz akış tipi çizelgeleme problemi için çok terimli bir algoritma incelemiştir.
1997	Gupta, J.N.D., Strusevich, V.A., Zwaneveld, C.M.	İki aşamalı beklemesiz çizelgeleme modelleri üzerinde çalışmışlar ve bunları gezgin satıcı problemiyle çözmüşlerdir.

2.2. Yapay Sinir Ağları ile İlgili Kaynak Araştırması

Yapay sinir ağları, çözümü zor olan, birçok matematiksel algoritmanın yaklaşık çözümlerinin elde edilmesinde başarıyla uygulanmaktadır. YSA'ların araştırmacılara sağladığı avantajlar ile YSA'lara olan ilgi her geçen gün artmakta ve bu konuda özellikle son yıllarda yapılan çalışmaların sayısı küçümsenmeyecek kadar fazladır.

Tablo 2.2'de yapay sinir ağları ile ilgili son yıllarda yapılan çalışmalar sunulmuştur. Daha sonra bu çalışmalar kısaca anlatılmıştır.

Tablo 2.2 Yapay Sinir Ağları İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Yıl	Yazar	YSA Problemleri İle İlgili Yapılan Çalışmalar
2007	Chen, R.M., Lo, S.T., Huang, Y.M.	Rekabete dayalı sinir ağlarını yapay sinirlerle birleştirmişlerdir.
2007	Lia, D.C., SenWua, C., Tsaib, T.I., Lina, Y.S.	Değiştirilmiş geri yayımlı sinir ağı için yapay örnekler üretmede yeni bir teknik önermişlerdir.
2007	Akyol, D.E., Bayhan, G.M.	Üretim çizelgeleme problemlerini çözmek için YSA'nı sunmuşlardır.
2006	Yıldırım, M.B., Cakar, T., Doguc, U., Meza, J.C.	Teslim tarihi belirlemek ve karar vermek için paralel sinir ağları kullanan bir taslak önermişlerdir.
2006	Agarwal, A., Çolak, S., Jacob, V.S., Pirkul, H.	Özdeş olmayan makinelerde iş çizelgeleme problemlerinin çözümü için artırılmış sinir ağlarını kullanmışlardır.
2006	Csáji, B.C., Monostori, L., Kádár, B.	Uyumlu davranış elde etmek ve araştırma yeri azaltmak için, 3 seviyeli bir öğrenme mekanizması önermişlerdir.
2006	Agarwal, A., Çolak, S., Eryarsoy, E.	Akış tipi çizelgeleme problemleri için öğrenebilen yaklaşım adında bir sezgisel yöntem geliştirmişlerdir.
2006	Akkaya, G., Gökçen, T.	Atölye çizelgeleme tasarımını YSA kullanarak yapmışlardır.
2006	Song, L., Wang, P., Abourizk, S.	Otomatik süreç planlama için bilgisayar destekli YSA'nı kullanmışlardır.

Yıl	Yazar	YSA Problemleri İle İlgili Yapılan Çalışmalar
2006	Agarwal, A., Jacob, V.S., Pirkul, H.	İş çizelgeleme problemi için, arttırılmış sinirsel ağ yöntemini önermişlerdir.
2006	Nguyen, H.H., Chan, C.W.	Gaz boru hatları operasyonlarında yük tahminini YSA ile hesaplayan bir model önermişlerdir.
2005	Shiuea, Y.R., Guh, R.S.	Melez genetik-yapay sinirsel ağ yaklaşımı geliştirmişlerdir.
2005	Fourie, C.J.	Öğrenme güçlendirme tekniklerine bağlı olarak YSA'nı kullanmıştır.
2004	Akyol, D.E.	n iş m makineli gerçek akış tipi problemlerinde YSA'nı kullanmıştır.
2003	Raaymakers, W.H.M., Weijters, A.J.M.M.	Regresyon analizi ve sinir ağlarını kullanarak iki teknik önermişlerdir
2003	Feng, S., Li, L., Cen, L., Huang, J.	YSA'nı atölye tipi çizelgeleme probleminde kullanmışlardır.
2002	Fonseca, D.J., Navaresse, D.	YSA'nın kullanımının, geleneksel atölye simülasyonu yaklaşımına, geçerli bir alternatif olduğunu ispat etmişlerdir
2001	Chen, R.M., Huang, Y.M. 2001	Hopfield sinir ağlarını, rekabete dayalı öğrenme ile kullanarak yeni bir teknik elde etmişlerdir
2001	McMullen, P.R.	Çizelgeleme esnekliğini minimize eden iki amaçlı bir YSA modeli önermiştir.
2000	Lee, I., Shaw, M.J.	Ardışık bilgiyi artırarak öğrenen iki aşamalı sinir ağının gelişimi üzerinde yoğunlaşmışlardır
2000	Gaafar, L.K., Choueiki, M.H.	YSA'yı Malzeme İhtiyaç Planlama problemine uygulamışlardır.
2000	Lagerholm, M., Peterson, C., Söderberg, B.	Hava yolu mürettebatı çizelgeleme problemlerini çözmek için Potts'un sinir ağları çerçevesinde yeni bir metod sunmuşlardır.
2000	Park, Y., Kima, S., Lee, Y.H.	Sinir ağları ve sezgisel kuralların paralel makineler üzerindeki iş çizelgeleme uygulamalarını incelemişlerdir
1997	Lee, J.K., Lee, K.J., Park, H.K., Hong, J.S., Lee, J.S.	Entegre edilmiş çizelgeleme sistemlerini geliştirmek için YSA'nı kullanmışlardır.
1997	Lee, H.C., Dagli, C. H.	Çizelgeleme problemlerinin çözümü için genetik algoritmalar ve yapay sinir ağlarını kullanmışlardır.

Chen ve ark. (2007); çalışmalarında gerçek zamanlı çizelgeleme problemlerini çözmek, proses zamanı ve teslim tarihi sınırlarını belirlemek için rekabete dayalı sinir ağlarını yapay sinirlerle birleştirmişlerdir.

Lia ve ark. (2007); çalışmalarında küçük veri setinin baskın dizilişini tahmin etmek ve değiştirilmiş geri yayımlı sinir ağı için yapay örnekler üretmede yeni bir teknik önermişlerdir. Esnek üretim sistemi simülasyon modelinin sonuçları göstermiştir ki, çok küçük bir veri setine önerilen metot uygulandığında, öğrenme doğruluğu önemli bir şekilde geliştirilebilir.

Akyol ve Bayhan (2007); çalışmalarında teorik gelişmeleri ve pratik tecrübeleri göz önüne alarak üretim çizelgeleme problemlerini çözmek için YSA'nı kullanmışlardır.

Yıldırım ve ark. (2006); çalışmalarında gelen siparişlerin teslim tarihini belirleme, çizelgelemek için kuralları belirleme ve kaynakların ulaşılabilirliği konusunda karar vermek için paralel sinir ağları kullanan bir taslak önermişlerdir. Bu taslak, benzer paralel makineleri olan iş merkezli esnek üretim sistemine uygulanmıştır. Yapay sinir ağları, meydana gelen performans hedefleri ve üretim sistemleri kontrol ve tasarım parametreleri arasındaki ilişkiyi tatmin edici bir şekilde elde etmiştir.

Agarwal ve ark. (2006a); çalışmalarında özdeş olmayan makinelerde iş çizelgeleme problemlerindeki tamamlama zamanını minimize etmek için artırılmış sinir ağlarını yeni bir sezgisel yöntemle formulize etmişlerdir.

Csáji ve ark. (2006); piyasa temelli kontrol sisteminde çalışan, geleneksel sınıflandırılmış bir çizelgeleme algoritması sunmuşlardır. Her temsilci iyi programları nasıl seçeceğini öğrenir, bu yolla araştırma yeri indirgenebilir. Uyumlu davranış elde etmek ve araştırma yeri azaltmak için, 3 seviyeli bir öğrenme mekanizmasını önermişlerdir. Öğrenmenin en üst seviyesi taklit edilen bir benzetim algoritması içerir, en son seviye yapay

sinir ağı gibi bir sayısal fonksiyon tahminiyle yapılırken, ortadaki ve en önemli seviye güçlendirme öğrenim sistemi içerir. Çalışmada, temsilciler için bir işbirliği tekniği önermişler, aynı zamanda çözümün yer ve zamanı analiz etmişler ve bazı deneysel sonuçları takdim etmişlerdir.

Agarwal ve ark. (2006b); akış tipi çizelgeleme problemleri için öğrenebilen yaklaşım adında bir sezgisel yöntem geliştirmişlerdir. Çalışmalarında öğrenme stratejilerini YSA yardımıyla yapmışlardır.

Akkaya ve Gökçen (2006); çalışmalarında, atölye çizelgeleme tasarımında benzetim ve yapay sinir ağı kullanılarak, tezgah seçimi, malzeme taşıma sistemi seçimi ve sistemde kullanılacak öncelik kuralı seçimi için bir sistem geliştirmişlerdir. Yapay sinir ağı modeli olarak geriye yayılım algoritmasını kullanmışlardır. Bu çalışmadaki yaklaşıma “Öncelik Kuralına Dayalı Yaklaşım” adını vermişlerdir. Çalışmada, öncelikle gerçeğe uygun sonuçlar üretebilen, eğitilmiş yapay sinir ağları elde etmişlerdir. Ağı eğitmek ve gerekli olan örneklerin elde etmek için bilgisayar ortamında benzetim tekniğinden faydalanmışlardır. Yapay sinir ağı tarafından teklif edilen sonuç ya da sonuçların benzetimi sonunda, performans kriterlerinin beklenen değerlerinden sapma miktarlarını hesaplamışlar ve karar verme işlemini çizelgeler halinde sunmuşlardır.

Song ve ark. (2006); otomatik süreç planlama ve işlem sürelerinin tahminini kesin olarak yapabilecek, bilgisayar destekli YSA’yı kullanmışlardır.

Agarwal ve ark. (2006c); iş çizelgeleme probleminde, adım sayısının (iterasyonların) küçük bir miktarında gelişmiş çözümler sunmak için, arttırılmış sinirsel ağ yöntemini önermişlerdir. Belirttikleri problem, önceliği olmayan işlerin bir öncelik sırasını takip ettiği m makinesinde n işlerinin tamamlanma zamanını azaltmaktır. Bu gelişmeyi hesaplama karmaşıklığında herhangi bir yükselme olmadan elde etmişlerdir. Bu çalışma sayesinde çözümleri bulmak için kullanılan iterasyonların sayısı azaltılmıştır.

Nguyen ve Chan (2006); çalışmalarında gaz boru hatları operasyonu için, evrimci çizelgeleme fizibilite çalışmasını takdim etmişlerdir. Problem, optimizasyon işlemi esnasında dikkat edilmesi gereken birçok kısıtlama yüzünden komplekstir. Gaz boru hattı operasyonlarının amacı, en az maliyetle müşteriye tatmin etmek için, müşterilere gaz istasyonlarından yeterli gaz transfer etmektir. Başlangıç maliyetini, fazla stok miktarı yüzünden harcanan gaz maliyetini ve kompressörlerin en az faal ve durağan zamanlarını azaltmak için çizelgeleme kararı almışlardır. Problemi, gaz yükleme tahmini ve kompressörlerin seçimi olarak iki alt probleme ayırmışlardır. Sinirsel ağlar yük tahmini için ve genetik algoritmalar kompressörlerin en ideal kombinasyonunu araştırmak için kullanılmıştır. Çalışma; Kanada, Güneydoğu Saskatchewan da yer alan boru hattı ağının alt sistemine rehberlik etmiştir. Sonuçlar bir uzman sistem ve bulanık lineer programlama modeli tarafından üretilen çözümler ile karşılaştırılmıştır.

Shiuea ve Guh (2005); dinamik hücresele üretim ortamı bilgi temellerinin genelleme kabiliyetini güçlendirmek amacıyla bir melez genetik-yapay sinirsel ağ yaklaşımı geliştirmişlerdir. Çeşitli performans kriterlerine göre önerilen metodun, klasik makine öğrenme temelli yaklaşımlardan ve sezgisel bireysel öncelik kurallarından, uzun süreli olarak daha iyi bir performans sistemi olduğunu ispat etmişlerdir.

Fourie (2005); çalışmasında, deneyden öğrenebilen akıllı bir çizelgeleme sistemi geliştirmek için öğrenme güçlendirme tekniklerine bağlı olarak yapay sinir ağlarını kullanmıştır. Sinir ağlarının çıktısı bir sonraki adımda hangi makinenin çalışacağına karar verir. Her karardan sonra bir eleştirmen kararı değerlendirir ve bir eğitmen iyi kararları teşvik etmek, kötü kararlardan caydırmak için ağı ödüllendirir. Elde ettiği sonuçlardan, önerilen modelin geçmiş deneylerden öğrenebildiğini ve bu sayede sistemin zekiliğini geliştirebildiğini ispat etmiştir.

Akyol (2004); çalışmasında n iş m makineli gerçek akış tipi, minimum tamamlanma zamanlı probleme uygulanan 6 farklı sezgisel algoritmaları göstermek için, yapay sinir ağlarını kullanmıştır. Amaç 6 yapay sinir ağları modelinin, bütün makinelerde uygulanan işlerde tamamlanma zamanının tahmini için kullanılması ve çizelgeleme bilgisi bulanıklığının

akış tipi çizelgelemeye dahil edilmesidir. Bulanık üyelik fonksiyonlarını tamamlanma, iş bekleme ve makine aylak zamanları için oluşturmuştur. Bulanık parametreleri elde etmek için farklı metodlar ileri sürülmüştür. Girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki fonksiyonel ilişkiyi göstermek için, hata geri yayımlı öğrenme kuralı ile eğitilmiş çok katlanmış ileri beslemeli ağları kullanmıştır. Eğitilmiş ağ, öğretilmiş ilişkiyi yeni problemlere uygulayabilir. Bu çalışmada mevcut sezgisel algoritmalara uygulama alternatifi sağlamıştır. Uygun bir şekilde ağ bir kez eğitildiğinde, genelleme özelliğiyle geleneksel metodlardan daha hızlı bir çözüm sağlayabilir. Çalışmadan elde ettiği sonuçları, üretim alanındaki çizelgeleme sorunlarını çözmek için kullanmak mümkündür.

Raaymskers ve Weijters (2003); grup işlemlerinin tamamlanma zamanlarının tahmini için regresyon analizi ve yapay sinir ağlarını kullanarak iki teknik önermişlerdir. Sonra bu iki tekniği birbirleriyle karşılaştırmışlardır.

Feng ve ark. (2003); yapay sinir ağlarını atölye tipi çizelgeleme probleminde kullanmışlardır. Çok katmanlı ağları kullanarak etkili atölye çizelgelerini üretebilecek bir atölye tipi çizelgeleme sistemini tasarlayıp geliştirmişlerdir. Bu çalışmada çok katlı ağları kullanarak, aynı anda üretim sırasını ve iş ilerleme zamanını belirtmek için, tasarlama, geliştirme ve bir üretim faaliyet çizelgeleme sistemine katkı sağlamışlardır. Önerilen üretim faaliyet çizelgeleme sistemini, gerçek üretim mahallinde test etmişler ve bir örnek olay ile birlikte çalışmada açıklamışlardır.

Fonseca ve Navarrese (2002); yapay sinir ağlarının kullanımının, geleneksel atölye simülasyonu yaklaşımına, geçerli bir alternatif olduğunu ispat etmişlerdir. Çok katmanlı sinirsel ağ meta modelleri, geri hata yayılımı öğrenme algoritması yoluyla eğitilmiştir. Gelişmiş yapay sinir ağı modelleriyle üretilmiş ağları, Arena, SIMAN ve Promodel gibi çok iyi bilinen simülasyon paketlerinden elde edilen bilgiler kadar geçerli hale getirmişlerdir. Yapay sinir ağlarının çıktılarını, Arena'yla karşılaştırdıklarında, SIMAN ve Promodel gibi geçerli modellerden elde edilen sonuçlardan çok farklı olmadıklarını kanıtlamışlardır.

Chen ve Huang (2001); çalışmalarında Hopfield sinir ağlarını, rekabete dayalı öğrenme ile kullanarak yeni bir teknik elde etmişlerdir. Böylece işlemleri atlamadan teslim tarihi ve tamamlama sürelerini etkili planlayan ve kaynak kullanımını azaltan bir teknik ortaya atmışlardır.

McMullen (2001); tam zamanında üretim sisteminde, farklı ürünler arasındaki hazırlık sürelerini ve çizelgeleme esnekliğini minimize eden iki amaçlı bir model önermiştir. Bu iki amaç, ters yönlü olarak birbirleri ile ilişkilidir. Sonuç olarak her iki amacı da gerçekleştirmek zordur. Her iki hedef açısından da en çok istenilen dizilerin bulunduğu bu duruma ulaşmak için etkili bir sınır yaklaşımı kullanmıştır. Kohonen öz-düzenleyici haritasının yapay sinir ağ yaklaşımı, hem kurulum hem esneklik açısından istenilen dizileri bulmak için kullanılır. Kohonen öz-düzenleyici haritası literatürden bazı problemler için dizi bulmak amacıyla kullanılır. Deneysel sonuçlar göstermiştir ki; öz-düzenleyici harita yaklaşımı iki hedef açısından diğer sezgisel yöntemlerle kıyaslandığında en ideal çözümü sağlamıştır.

Lee ve Shaw (2000); çalışmalarında ardışık bilgiyi artırarak öğrenen iki aşamalı yapay sinir ağının gelişimi üzerinde yoğunlaşmışlardır. Yapay Sinir ağlarının akış tipi ardışık problemlerin performansı üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir.

Gaafar ve Choueiki (2000); çalışmalarında yapay sinir ağı modelini Malzeme İhtiyaç Planlama (MRP) problemlerine uygulamışlardır.

Lagerholm ve ark. (2000); hava yolu mürettebatı çizelgeleme problemlerini çözmek için Potts'un yapay sinir ağları çerçevesinde yeni bir metod sunmuşlardır. Yaklaşımı, iki tane gerçek problemle kalıp olarak üretilmiş yapay problemler üzerinde test etmişlerdir. Sonuçlar sınırlandırılmamış problemlerle mukayese edilmiştir. Değişik şekildeki birçok problemler için çok iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Ana hat ve Potts sınırlar tekniğine alışık olmayan okuyucular için kısa bir incelemeyle, son zamanlarda kaynak tahsis etme problemlerinin uygulamalarında ilerleme sağlamışlardır.

Park ve ark. (2000); çalışmalarında yapay sinir ağı ve sezgisel kuralların paralel makineler üzerindeki iş çizelgeleme uygulamalarını incelemiştir.

Lee ve ark. (1997); entegre edilmiş çizelgeleme sistemlerini geliştirmek için, sınırlandırılmış grafik araştırması, uzaysal çizelgeleme, dinamik hat çizelgeleme ve çalışma kapasitesi fikrine dayalı sinirsel ağ arasındaki hiyerarşik mimari gibi bazı teknolojik atılımları kullanmışlardır. Bu teknolojik araştırma makalelerinin yanında vizyon açıklaması, bağımsız bilgi anlayışı ve prospektif güçlendirme gibi 3 aşamadan oluşan basamaklı gelişme stratejisini benimsemiştir.

Lee ve Dağlı (1997); çalışmalarında çizelgeleme problemlerinin çözümü için genetik algoritmalar ve yapay sinir ağını kullanmışlardır. Yeni yaklaşımlardaki sürekli gelişmelere rağmen çeşitli planlama sistemleri için, çizelgelemede büyük boşluklar mevcuttur. Etkili bir çizelgeleme geliştirme, yoğun bir faaliyet olup, üretim sistemi ve çevresi ile ilgili modele geniş kapsamlı olarak bağlıdır. Etkili bir çizelgeleme geliştirmek için 4 ana zorluktan bahsetmişlerdir. Birincisi; atölye tipi çizelgeleme zor problemler kapsamında yer alır. İkincisi; atölyeden atölyeye değişen çok fazla kısıtlı bir problemdir. Üçüncüsü; çizelgeleme kararları diğer üretim faaliyetlerinden ayrılmayan süreçlere bağlıdır. Bu nedenle, çizelgeleme kararları tesadüfi olaylara bağlıdır ve son olarak, çizelgeleme problemleri genellikle çoklu çizelgeleme amaçlarının iyileştirilmesini kabul etme meylindedir. Bu zorluklar, çizelgeleme problemlerine daha kuvvetli ve etkili yaklaşımlar oluşturma ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Elde ettikleri sonuçları klasik metodlarla karşılaştırmışlardır.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

Bu çalışmada, beklemesiz akış tipi çizelgeleme materyal olarak alınmıştır. Agarwal ve ark. (2006b)'nın YSA kapsamında geliştirdiği, akış tipi çizelgeleme problemleri için Adaptif Öğrenen Yaklaşım adındaki sezgisel yöntem, Beklemez Akış Tipi Çizelgeleme (BATÇ) problemlerine uygulanmıştır. Problemlerin çözüm metodu olarak Yapay Sinir Ağları ve Genetik Algoritma kullanılmıştır.

3.1.1. Beklemez Akış Tipi Çizelgeleme

“Atölyede yapılacak işler aynı rotaya sahip ise, yani tüm işler, aynı makineleri aynı sırada takip ediyorlar ise, bu ortam akış tipi olarak adlandırılır. Akış tipi problemlerinin önemli bir sınıfı beklemez kısıtı ile karakterize edilir. Yani işler ardışık makineler arasında veya üzerinde beklemeksizin sürekli olarak işlem görmek zorundadır. Bu kısıt işlem teknolojisinin kendisine özgü bir özelliğidir. Beklemez akış sisteminde kesintisiz işlem zorunluluğu dolayısı ile gerektiğinde bir işin işleme başlaması, bir işlemin verilen bir makinede tamamlanması ile takip eden işlemin diğer makinede hemen başlamasını sağlayacak şekilde geciktirilebilir. Beklemez akış sistemine ilişkin uygulamalara çelik, kimya, gıda, ilaç endüstrileri gibi bir çok endüstride rastlanmaktadır”(Eren ve Güner 2005).

Beklemez akış istasyonundaki her bir iş, ilk makine merkezinde başlanmasından son makine merkezinde tamamlanmasına kadar makinelerde herhangi bir kesinti ve makine merkezleri arasında herhangi bir bekleme olmaksızın sürekli olarak işlenir. Paralel makineli beklemez akış istasyonunda çizelgeleme problemi, birkaç basit akış hatları olan kimyasal işlemde ve petro-kimya üretim çevresinde çoğalmaktadır. Beklemez duruma bir diğer örnek, metallerin sürekli olarak yüksek derecede işlenmesi gereken sıcak metal haddeleme endüstrilerindedir. Son yıllarda, beklemez çizelgeleme problemlerine ilgi dikkate değer miktarda artmaktadır.

Beklemez akış tipi çizelgeler için bir örnek problem aşağıda sunulmuştur. Örnekte 2 makineli ve $N=\{1,2,3,\dots,n\}$ adet işten oluşan beklemez akış tipi problem ele alınmakta ve bununla ilgili olası çözümler üzerinde durulmaktadır.

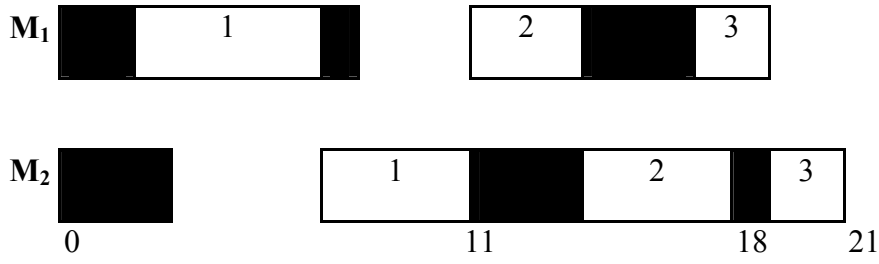
Örnek:

i . işin k . makinedeki işlemi $1 < i < n$, $k=1$ ve $k=2$ olarak gösterilmektedir. İki makine için hazırlık süreleri ise S_{ik} ile gösterilmekte ve $1 < i < n$ olarak gösterilmektedir ve k yine burada 1 veya 2 değeri almaktadır. Eğer bir sonraki makinenin hazırlık süresi biterse bu makine kendisinden önce gelen makinenin işlemini bitmesini beklemek zorundadır ve kendinden önceki makinede biten işten sonra sıradaki makinede hemen işleme alınmaktadır. C_{\max} süresi ise tüm makinelerde en son biten işin süresine eşit olmaktadır ve böylece toplam işlem zamanını bulmaktayız. Tablo 3.1’ de verilen probleme göre iki adet beklemez akış tipi çizelgeleme oluşturulmuş ve minimum C_{\max} bulunmaya çalışılmıştır.

Tablo 3.1: 3 İş ve 2 Makine Problemi Seti

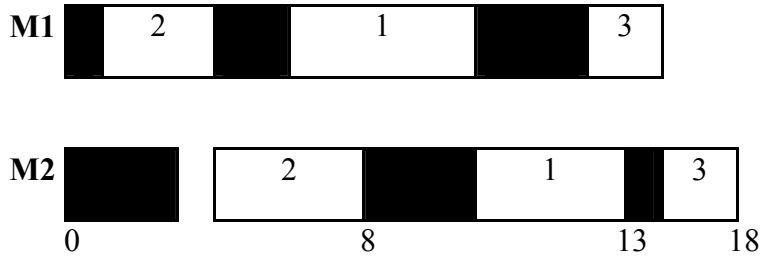
İşler	1	2	3
P_{i1}	5	3	2
P_{i2}	4	4	2
S_{i1}	2	1	3
S_{i2}	3	3	1

P_{i1} ve P_{i2} işlerin sırasıyla birinci ve ikinci makinedeki işlem sürelerini vermekte ve S_{i1} ve S_{i2} ise makinelerin hazırlık sürelerini göstermektedir. Bu problemin çözümünde herhangi başka bir kısıt yoktur. Şekil 3.1’de ilk çizelge $S_1=1-2-3$ iş sırasıyla ve Şekil 3.2’de ikinci çizelge $S_2=2-1-3$ iş sırasıyla örnek olarak verilmiştir.



Şekil 3.1: Örnek problemin çözümü için önerilen S₁ çizelgesi

S₁ çizelgesinde 1. iş M₁ makinesinde tamamlandıktan sonra 2. iş hemen işleme alınmamış, M₂ makinesinin 1. işi tamamlama zamanı göz önüne alınarak, 2. işin başlaması biraz ötelenmiştir. Böylece M₁ makinesinden çıkan işlerin beklemeksizin ikinci makinede işleme girmesi sağlanmıştır.



Şekil 3.2: Örnek problemin çözümü için önerilen S₂ çizelgesi

İlk çizelge olan 1-2-3 sırası için elde edilen ağırlıklı çizelgede; $C_{\max}(S_1) = (11+7+3)=21$ olarak hesaplanmıştır. İkinci çizelge olan 2-3-1 sırası için elde edilen ağırlıklı çizelge; $C_{\max}(S_2) = (8+7+3)=18$ olarak hesaplanmıştır.

3.2. Metod

Çalışmada kullanılan metod, Yapay Sinir Ağları yöntemidir. BATÇ problemlerinin çözümünde, Yapay Sinir Ağları ilk defa bu çalışma ile kullanılmıştır. Önerilen Yapay Sinir Ağlarının performansı, Aldowasian ve Allahverdi (2003)'nin önerdiği Genetik Algoritma(GA) ile karşılaştırılmıştır.

3.2.1. Yapay Zeka

Öğrenme ve çevreye uyabilme yeteneğinin koşulu zeki olmaktır. Zeka, anlama ve kavrama yeteneği olarak tanımlanabilir.

Yapay zeka, insanın düşünme yapısını anlamak ve bunun benzerini ortaya çıkaracak bilgisayar işlemlerini geliştirmeye çalışmak olarak tanımlanır. Bir başka deyişle, yapay zeka programlanmış bir bilgisayarın düşünme girişimidir. Daha geniş bir tanıma göre ise, yapay zeka, bilgi edinme, algılama, görme, düşünme ve karar verme gibi insan zekasına özgü kapasitelerle donatılmış bilgisayarlardır (Saraç 2004).

Yapay Zeka çalışmalarında hedeflenen amaçlar (Saraç 2004):

- İnsan beyninin fonksiyonlarını modellerle anlamaya çalışmak,
- İnsanın zihinsel yeteneklerini, bilgi kazanma, öğrenme ve buluş yapmada uyguladıkları strateji ve metotları araştırmak,
- Bu metotları formel hale getirmek, bilgisayarlarda uygulamak,
- Bilgisayar kullanımını kolaylaştıracak arayüzler geliştirmek,
- Uzman Sistemler ve Genel Bilgi Sistemleri geliştirmek,
- İş yardımcıları ve zeki robot timleri geliştirmek,

-Bilimsel araştırma ve buluşlar için araştırma yardımcılarını geliştirmektedir.

“İnsan gibi düşünen ve davranan sistemlerin geliştirilmesine yönelik olarak 1950’li yıllardan beri süren yapay zeka çalışmaları, bir noktada insanı taklit etmeye yönelik olduğundan mühendislik, nöroloji ve psikoloji gibi alanlara da yayılmıştır. İnsan gibi düşünebilen ve davranabilen sistemlerin geliştirilmesi için yapılan çalışmalarda bugün gelinen nokta, henüz yapay zekanın tam olarak geliştirilememiş olmasıdır. Yapay zekanın mümkün olabilirdiği tartışmaları bir yana bırakılırsa bu konudaki çalışmalar bu alanı destekleyen farklı alanlardaki çalışmalarla birlikte devam etmektedir” (Yurtoğlu 2005).

3.2.2. Yapay Sinir Ağları

3.2.2.1. Tanım

Yapay zeka çalışmaları kapsamında ortaya çıkan ve bir noktada yapay zeka çalışmalarına destek sağlamakta olan farklı alanlardan bir tanesi de, Yapay Sinir Ağları yaklaşımıdır. Dolayısıyla, yapay zeka alanının bir alt dalını oluşturan YSA teknolojisi öğrenebilen sistemlerin temelini oluşturmaktadır. İnsan beyninin temel işlem elemanı olan nöronu (neuron) şekilsel ve işlevsel olarak basit bir şekilde taklit eden YSA’lar, bu yolla biyolojik sinir sisteminin basit bir simülasyonu için oluşturulan programlardır. Bu şekilde, insanoğluna özgü deneyerek (yaşayarak) öğrenme yeteneğini bilgisayar ortamına taşıyabildiği düşünölen YSA bir bilgisayar sistemine inanılmaz bir “girdi veriden öğrenme” kapasitesi sağlamaktadır ve birçok avantajlar sunmaktadır (Yurtoğlu 2005).

“İnsan beyninin fizyolojisinden esinlenerek geliştirilmiş bilgisayar yazılım programı olan YSA, birbirine bağlı çok sayıda işlem elemanlarından oluşmakta ve genellikle paralel işleyen yapılar olarak adlandırılmaktadır” (Güvenç ve ark. 2007).

Genel anlamda yapay sinir ağları, beynin bir işlevi yerine getirme yöntemini modellemek için tasarlanan bir bilgi işleme sistemidir. YSA, yapay sinir hücrelerinin birbirleri ile çeşitli şekillerde bağlanmasından oluşur ve genellikle katmanlar şeklinde düzenlenir. YSA sistemi, paralel yapıda pek çok basit bilgi işleme birimlerinden oluşur. Bu

birimlerin fonksiyonları, aralarındaki bağlantıları kurmak üzere önceden belirlenir. Bu sistemler, adaptasyon ve öğrenme kabiliyetlerinin yanı sıra, farklı yapıda girdilerle bilgi işleme özelliklerine de sahiptirler (Baykasoğlu ve Özbakır 2004).

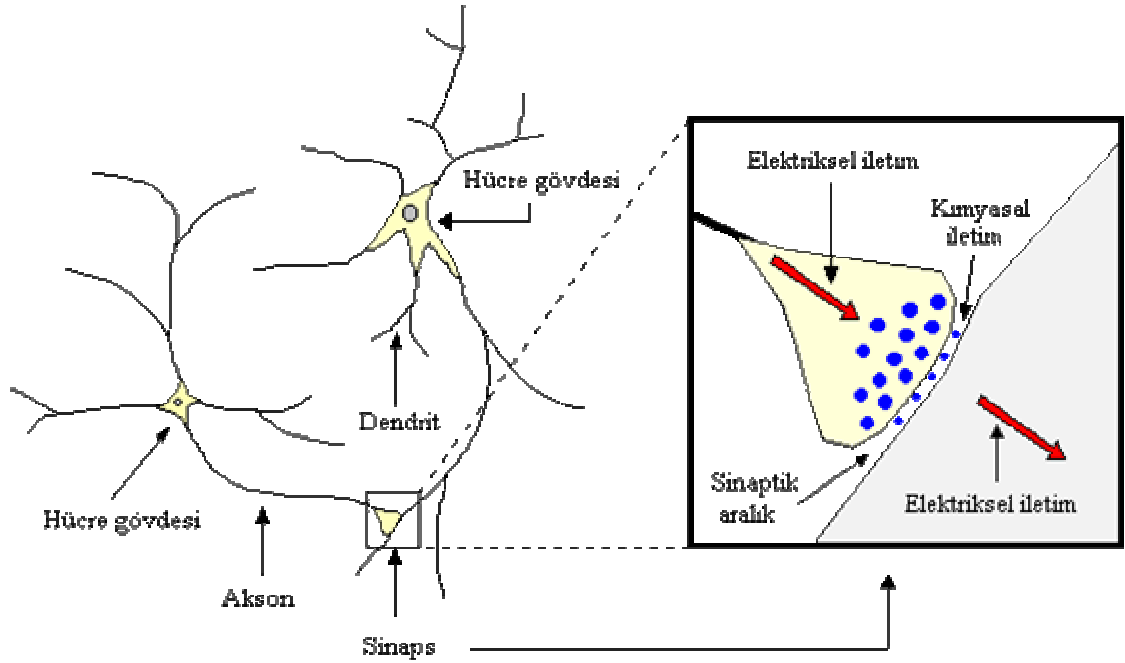
Yapay sinir ağları, yukarıda da belirttiğimiz gibi insan sinir sisteminin biyolojik yapısından esinlenmiş bir yapıya sahiptir. Yani, yapay sinir ağları, insan sinir sistemindeki sinir hücrelerinin fonksiyonunu gören temel elemanlardan oluşmaktadır. Bu elemanlar insan beyninin anatomisine benzer şekilde organize edilmişlerdir. Bu büyük benzerliğin yanı sıra, yapay sinir ağları, şaşırtıcı derecede insan beyninin birçok özelliklerini taşırlar. Örneğin, tecrübe ile öğrenirler, daha önce öğrenilen bilgileri genele indirgeyerek yeni çıkarımlar yaparlar. Bu yeni çıkarımlardan gereksiz kısımları atarak önemli olan öz kısmını alırlar. Yapay sinir ağlarına son yıllarda büyük bir ilgi gösterilmektedir. Mühendislik, tıp, felsefe, psikoloji gibi alanlarda çalışanlar yapay sinir ağlarını kendi uzmanlık alanlarına taşıyarak, kendi alanlarında uygulamalarını geliştirmeye başlamışlardır (Akkaya ve Gökçen 2006).

İnsan zekasına has gibi görünen bazı alanların sayısal olarak ifade edilebileceği ve böylece makinelerin insan zekasına şaşırtıcı derecede benzer yollarla öğrenme ve hatırlama işlerini yapabileceği görülmüştür.

3.2.2.2. Yapay Sinir Ağı Hücresi

Şekil 3.3'de bir nöron hücresinin yapısı verilmiştir. Bir nörondan yüzlerce, bazen de binlerce dendrit çıkabilir. Bunların uzunluğu genellikle bir milimetreden daha kısadır. Bazıları ise birkaç milimetre uzunluğa ulaşabilir. Sinapslar bir sinir hücresi çıkışı komşu olan bir başka sinir hücresi girişi arasındaki iletişimi sağlayan bağlantılardır. Dendritler, sinapslardan alınan bilgileri gövdeye taşımakla görevlidirler. Hücre gövdesi içerisinde toplanan bilgi uyarma eşiğini aştığı zaman hücre uyarılır ve aksonlar yardımıyla diğer hücelere sinyaller gönderilir. Bu yüzden aksonlar taşıma hatları olarak adlandırılır. Aksonlar ve dendritler işlevleri bakımından birbirine benzetilebilir. Akson dendritlere nazaran daha uzundur. Ayrıca daha az sayıda dallanmaya sahip olduklarından dolayı düzgün bir yapıya sahiptirler.

Dendritler ise daha düzensiz bir yüzeye ve çok sayıda dallanmaya sahip olduklarından dolayı daha çok doğal bir ağacı andırırlar (Şen 2004).



Şekil 3.3: Nöron yapısı (Sağiroğlu ve ark. 2003)

Temel bir yapay sinir ağı hücresi biyolojik sinir hücresine göre çok daha basit bir yapıya sahiptir. Yapay sinir ağı hücresinde temel olarak dış ortamdan ya da diğer nöronlardan alınan veriler yani girişler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıkışlar bulunmaktadır. Dış ortamdan alınan veri ağırlıklar aracılığıyla nörona bağlanır ve bu ağırlıklar ilgili girişin etkisini belirler. Toplam fonksiyonu ise net girişi hesaplar, net giriş, girişlerle bu girişlerle ilgili ağırlıkların çarpımının bir sonucudur. Aktivasyon fonksiyonu işlem süresince net çıkışını hesaplar ve bu işlem aynı zamanda nöron çıkışını verir. Genelde aktivasyon fonksiyonu doğrusal olmayan (nonlineer) bir fonksiyondur.

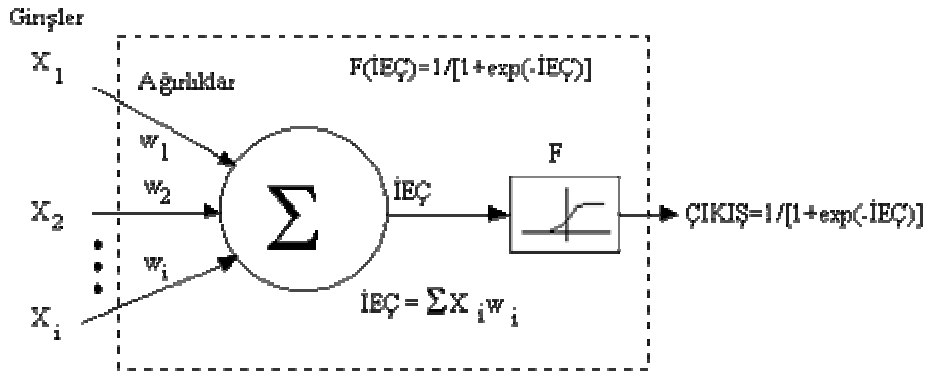
Bir YSA modelinin temel birimi, Şekil 3.4’de gösterilen işlem elemanıdır. Burada girişler dış kaynaklardan veya diğer işlem elemanlarından gelen işaretlerdir. Bu işaretler, kaynağına göre kuvvetli veya zayıf olabileceğinden ağırlıkları da farklıdır.

YSA'da girilen giriş değerlerine önce toplama fonksiyonları uygulanır ve her bir işlem elemanının çıkış (İEÇ) değeri eşitlik 3.1'deki ifadeyle bulunur (Seçme 2006).

$$\sum_1^i w_i x_i = [w_1 \ w_2 \ \dots \ w_i] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_i \end{bmatrix} = WX^T \quad (3.1)$$

Burada X_i i. girişi, W_{ij} j. elemandan i. elemana bağlantı ağırlığını göstermektedir. Daha sonra bu çıkış değerleri öğrenme eğrisine uygulanır. Sonuçta çıkış değeri eşitlik 3.2'deki gibi hesaplanır.

$$\text{ÇIKIŞ} = \frac{1}{1 + e^{-İEÇ}} \quad (3.2)$$



Şekil 3.4: Bir işlemci elemanı (yapay nöron) (Sağıroğlu ve ark. 2003).

Yapay sinir ağlarının kullandığı yapay nöron yukarıda anlatıldığı gibi işlem yapmaktadır. Sinir sistemi ile yapay sinir ağlarının benzerlikleri ise, Tablo 3.2' de gösterilmiştir.

Tablo 3.2: Sinir sistemi ile YSA'nın benzerlikleri (Sağıroğlu ve ark. 2003)

SİNİR SİSTEMİ	YSA SİSTEMİ
Nöron	İşlem elemanı
Dendrit	Toplama fonksiyonu
Hücre gövdesi	Transfer fonksiyonu
Aksonlar	Eleman çıkışı
Sinapslar	Ağırlıklar

3.2.2.3. Tarihsel Gelişim

Yapay sinir ağlarının tarihçesi nöro biyoloji konusunda insanların ilgi duyması ve elde ettikleri bilgileri bilgisayar bilimine uygulamaları ile başlamaktadır (Öztemel 2003).

“1943 yılında bir nörobiyolojist olan Warren McCulloch ve bir istatistikçi olan Walter Pitts, “Sinir Aktivitesindeki Düşüncelere Ait Bir Mantıksal Hesap” başlıklı bir makale ile ilk dijital bilgisayarlara ışık tutmuştur. McCulloch ve Pitts, kendi nöroloji anlayışları çerçevesinde YSA modelleri geliştirmişlerdir. Bu modeller, nöronların çalışma şekilleri hakkında bazı varsayımlarda bulunmuştur” (Yurtoğlu 2005).

Bronx, Yüksek Bilim Okulu'ndan Frank Rosenblatt 1958 yılında, YSA konusunda ikinci büyük çıkışı doğrusal algılayıcı (perceptron) modeli ve öğrenme kuralı ile yaptı. Önerilen bu model aynı zamanda bugünkü makina öğrenme algoritmasının da temeli oldu (Şen 2004).

“1959’da, Stanford üniversitesinden Bernard Widrow ve Marcian Hoff, basit nöron benzeri elemanlara dayanan ve “adaline” (Adaptive Linear Neuron) olarak adlandırılan bir adaptif lineer elemanı geliştirmişlerdir. Adaline ve iki tabakalı biçimi olan “madaline” (Multiple Adaline); ses tanıma, karakter tanıma, hava tahmini ve adaptif kontrol gibi çok çeşitli uygulamalar için kullanılmıştır. Madaline, telefon hatlarında oluşan yankıları yok eden bir uygulanabilir süzgeç olarak kullanılmış, gerçek dünya sorunlarına uygulanmış olan ilk sinir ağıdır ve hala kullanımda bulunmaktadır. kullanmıştır. Bununla ilk defa YSA’lar gerçek bir probleme uygulanmıştır” (Elmas 2003).

1969 yılında, Minsky ve Papert bir kitap yazmış ve YSA’nın temel olarak ilgi çekici konular olmadığını belirterek birçok araştırmacının bu alanda çalışmaktan vazgeçmelerine sebebiyet vermiştir. Çünkü onlar ‘Perceptron’ isimli kitaplarında YSA’nın birçok mantık fonksiyonunu gerçekleştiremeyeceğini matematik olarak ispat etmişlerdir. Bu durum YSA üzerindeki çalışmaları bir süre durdurmuştur (Şen 2004).

Werbos ve arkadaşları 1974 yılında geri yayımlı öğrenme metodunu geliştirmiş ve kullanmıştır ve bir kaç yıl sonrasında bu metot oldukça popülerite kazanmıştır. Geri yayımlı ağlar, bugün, en çok bilinen ve kullanılan yapay sinir ağlarıdır (Yurtoğlu 2005).

Fukushima ise el yazısı karakterleri yorumlamak için, adım adım eğitilmiş çok tabakalı YSA oluşturmuştur. Cognitron olarak adlandırılan bu model 1975 yılında yayınlanmıştır (Yurtoğlu 2005).

1982 ve 1984 yıllarında ilgi çeken bir başka gelişme fizikçi Hopfield tarafından sunulmuştur. YSA’nın geliştirilebileceği ve özellikle geleneksel bilgisayar programlama ile çözülmesi zor olan problemlere çözüm üretebileceğini göstermiştir. Kendi adıyla anılan bir ağ yapısı mevcuttur ve bir çok alana uygulanmıştır (Öztemel 2003).

1987 yılında yapılan ilk yapay sinir ağları sempozyumundan sonra YSA uygulamaları yaygınlaşmıştır (Elmas 2003).

İlgi ve kaynağın minimum düzeyde olmasına rağmen bazı araştırmacılar yapı tanımlama (pattern recognition) gibi problemlerin çözümüne yönelik çalışmalarını sürdürmüşlerdir. Bu dönem süresince bazı paradigmlar ortaya çıkmıştır. Grossberg ve Carpenter tarafından yapılan çalışmalar, yankı algoritmaları araştıran bir düşünce okulunun temellerini atmıştır. Bu araştırmacılar, temeli biyolojik olarak makul modellere dayanan ART (Adaptive Resonance Theory – Adaptif Rezonans Teorisi) ağlarını geliştirmişlerdir (Yurtoğlu 2005).

Günümüzde, YSA'larla ilgili araştırmalar yapan çok sayıda bilim adamı ve araştırma grupları vardır. Farklı bilim ve ilgi alanlarında çalışan birçok araştırmacı, birçok yeni gelişmeleri sunmaya devam edeceklerdir.

3.2.2.4.Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri ve Avantajları

Doğrusal Olmama

YSA'nın temel işlem elemanı olan hücre doğrusal değildir. Dolayısıyla hücrelerin birleşmesinden meydana gelen YSA da doğrusal değildir ve bu özellik tüm ağa yayılmış durumdadır. Bu özelliği ile YSA, doğrusal olmayan karmaşık problemlere çözüm getirmektedir (Saraç 2004).

Öğrenme

YSA'nın temel işlevi, bilgisayarların öğrenmesini sağlamaktır. Olayları öğrenerek benzer olaylar karşısında benzer kararlar vermeye çalışırlar (Öztemel 2003).

Genelleme

Yine öğrenme yeteneği sayesinde bilinen örnekleri kullanarak daha önce karşılaşılmamış durumlarda genelleme yapabilmektedir. Yani, hatalı (noisy) veya kayıp

veriler için çözüm üretebilmektedir. YSA'lar, tanımlanmamış girdi veriler hakkında karar verirken genelleme yapabildikleri için iyi birer desen tanıma motoru (pattern recognition engine) ve sağlam sınıflandırıcıdırlar (Yurtoğlu 2005).

Uyarlanabilirlik

YSA tanımı yada parametreleri değişen probleme veya sisteme uygun çözümler sağlamak için tekrar tekrar eğitilebilir. Değişimler devamlı ise gerçek zamanda da eğitime devam edilebilir. Bu özelliği ile YSA, uyarlamalı örnek tanıma, işaret işleme, sistem tanımlama ve denetim gibi alanlarda etkin olarak kullanılır (Sağıroğlu ve ark. 2003).

Bellek

YSA'nın önemli bir özelliği, bilgiyi saklama şeklidir. Biyolojik sistemlerde veri dağınık yapıda saklanır. YSA'da bellek, birçok yerel bellekler oluşturularak dağıtılır. Bağlantı ağırlıkları YSA bellek biçimleridir. Ağırlıkların değerleri, ağın o anki bilgi durumunu temsil eder. Örneğin; bir giriş/istenen çıkış çiftinin belirtilen bilgi parçası ağın içinde birçok bellek biçimine dağıtılmıştır. Bellek üniteleri ile diğer saklı bilgiler, bu bilgiyi paylaşırlar (Kaya ve ark. 2005).

Hata Toleransı

YSA, çok sayıda hücrenin çeşitli şekillerde bağlanmasıyla oluştuğu için paralel dağılmış bir yapıya sahiptir ve ağın sahip olduğu bilgi, ağdaki bütün bağlantılar üzerine dağılmış durumdadır. Bu nedenle, eğitilmiş bir YSA'nın bazı bağlantılarının hatta bazı hücrelerinin etkisiz hale gelmesi, ağın doğru bilgi üretmesini önemli ölçüde etkilemez. Bu nedenle, geleneksel yöntemlere göre hatayı tolere etme yetenekleri son derece yüksektir (Ergezer ve ark. 2003).

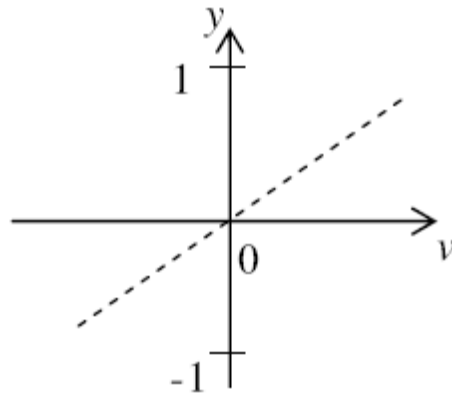
Paralel işlem yapma

Alışılmış bilgi işlem yöntemlerinin çoğu seri işlemlerden oluşmaktadır. Bu da hız ve güvenilirlik sorunlarını beraberinde getirmektedir. Seri bir işlem gerçekleşirken herhangi bir birimin yavaş oluşu tüm sistemi doğruca yavaşlatırken, paralel bir sistemde yavaş bir birimin etkisi çok azdır. Nitekim seri bir bilgisayarın bir işlem elemanı beyine göre binlerce kez daha hızlı işlemesine rağmen, beynin toplam işlem hızı seri çalışan bir bilgisayara göre kıyaslanamayacak kadar yüksektir (Saraç 2004).

3.2.2.5. Aktivasyon Fonksiyonları

Öğrenme eğrileri olarak da isimlendirilen sürekli ve türevlenebilir aktivasyon fonksiyonları, bir nöronun çıkış genliğini $[0,1]$ veya $[-1,1]$ değerleri arasında sınırlandırır. Doğrusal veya Doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonları çok çeşitli türdeki problemlerin YSA ile çözümünü mümkün kılmaktadır.

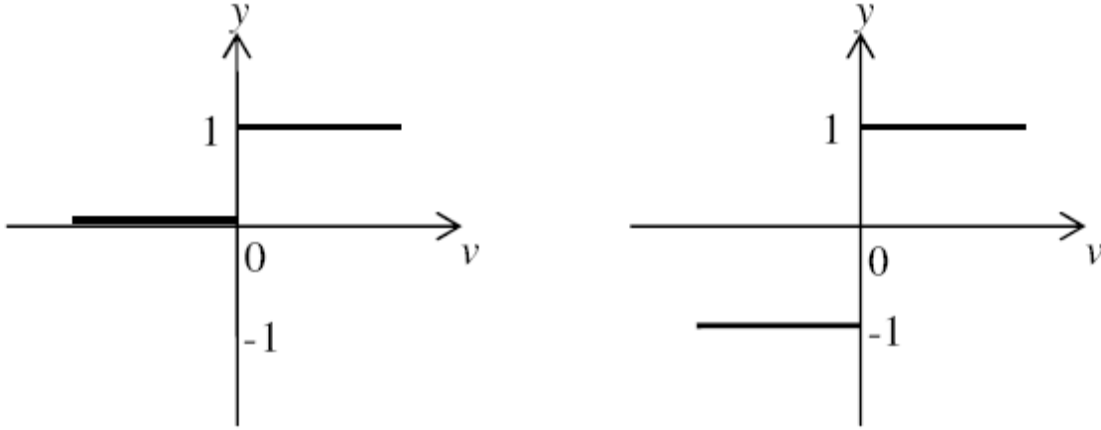
Doğrusal aktivasyon fonksiyonu, nöronun girişini doğrudan çıkışlara aktaran bir fonksiyondur. Daha çok klasik işaret işleme ve istatistiksel regresyon analizinde kullanılan doğrusal aktivasyon fonksiyonu $y=Av$ olarak formüle edilir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: Doğrusal veya lineer aktivasyon fonksiyonu (Keçe 2006)

Birim Basamak Aktivasyon fonksiyonu, fonksiyonun değerinin belirli bir eşik değerin üzerinde olması ya da olmaması durumuna göre $[0,1]$ veya $[-1,1]$ değerlerini verir (Şekil 3.6). Matematiksel ifadesi eşitlik 3.3'deki gibidir. Şekil 3.6'da grafiksel gösterimi yapılmıştır.

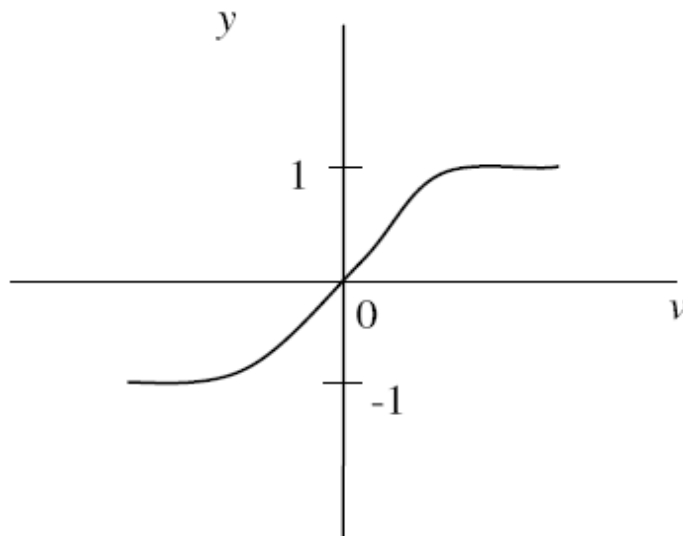
$$y = f(v) = \begin{cases} 1 & v \geq 0 \\ 0 & v < 0 \end{cases} \quad \text{Veya} \quad y = f(v) = \begin{cases} +1 & v \geq 0 \\ -1 & v < 0 \end{cases} \quad (3.3)$$



Şekil 3.6: Basamak aktivasyon fonksiyonları (Őeme 2006)

Hiperbolik Tanjant Fonksiyonu, giriş uzayının genişletilmesinde etkin olan bir aktivasyon fonksiyonudur. Matematiksel formülü eşitlik 3.4'de ve grafiği, Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

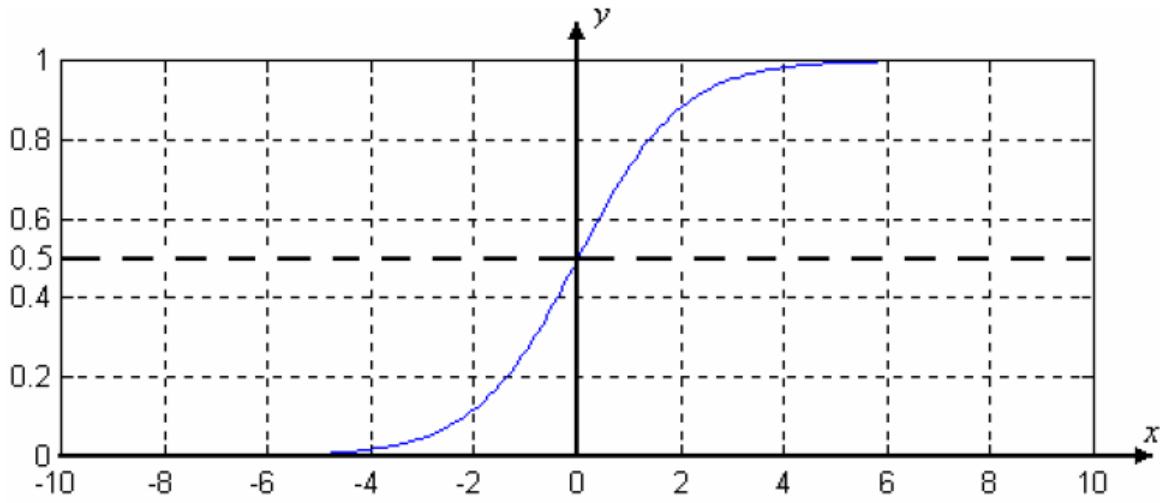
$$y = \frac{1 - e^{-2v}}{1 + e^{2v}} \quad (3.4)$$



Şekil 3.7: Tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonu (Őeme 2006)

Sigmoid Aktivasyon fonksiyonu, literatürde tek kutuplu aktivasyon fonksiyonu olarak da bilinir. En çok kullanılan aktivasyon fonksiyonlarından biridir. Matematiksel ifadesi eşitlik 3.5'te ve grafiksel gösterimi ise Şekil 3.8'de verilmiştir.

$$y = f(x) \quad f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (3.5)$$



Şekil 3.8: Sigmoid aktivasyon fonksiyonu (Keçe 2006)

Açıklanan aktivasyon fonksiyonlarından başka, parçalı doğrusal fonksiyon, sinüs fonksiyonu, Gaussiyen fonksiyon, çoklu kuadratik fonksiyon ve Cauchy aktivasyon fonksiyonları da kullanılmaktadır.

3.2.2.6. Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması

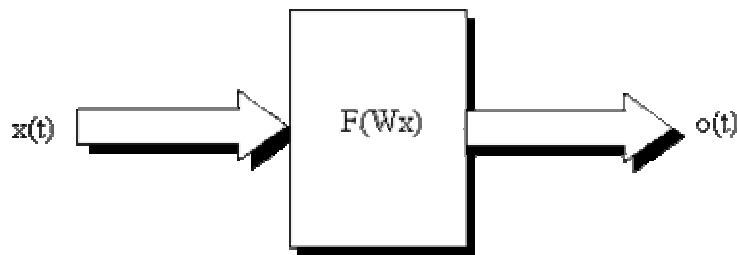
“YSA’lar, genel olarak birbirleri ile bağlantılı işlemci birimlerden veya diğer bir ifade ile işlemci elemanlardan oluşurlar. Her bir sinir hücresi arasındaki bağlantıların yapısı ağı yapısını belirler. İstenilen hedefe ulaşmak için bağlantıların nasıl değiştirileceği öğrenme algoritması tarafından belirlenir. Kullanılan bir öğrenme kuralına göre, hatayı sifra indirecek şekilde, ağı ağırlıkları değiştirilir. YSA’lar yapılarına ve öğrenme algoritmalarına göre sınıflandırılırlar” (Sağıroğlu ve ark. 2003).

3.2.2.6.1. YSA’nın Yapılarına Göre Sınıflandırılması

Yapay sinir ağları, yapılarına göre, ileri beslemeli (feedforward) ve geri beslemeli (feedback) ağlar olmak üzere iki şekilde sınıflandırılırlar.

İleri Beslemeli Ağlar

İleri beslemeli yapay sinir ağlarında, işlem elemanları arasındaki bağlantılar bir döngü oluşturmazlar ve bu ağlar girdi veriye genellikle hızlı bir şekilde karşılık üretirler. Şekil 3.9’da ileri beslemeli ağ için blok diyagram gösterilmiştir. İleri beslemeli ağlara örnek olarak çok katmanlı perseptron (Multi Layer Perseptron-MLP) ve LVQ (Learning Vector Quantization) ağları verilebilir (Yurtoğlu 2005).

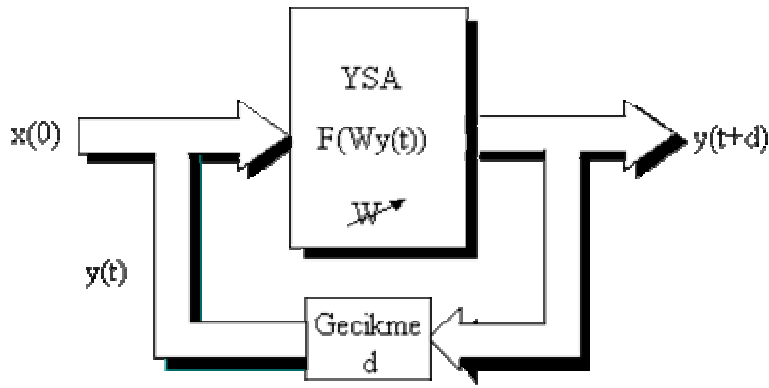


Şekil 3.9: İleri beslemeli ağ için blok diyagram (Sağıroğlu ve ark. 2003).

Geri Beslemeli Ağlar

Geri beslemeli yapay sinir ağlarında en az bir hücre sonraki katmanlardaki hücrelerce de beslenir (Kaya ve ark. 2005).

Geri beslemeli YSA' da, en az bir hücrenin çıkışı kendisine ya da diğer hücelere giriş olarak verilir ve genellikle geri besleme bir geciktirme elemanı üzerinden yapılır. Şekil 3.10'da geri beslemeli ağ için blok diyagram gösterilmiştir. Geri besleme, bir katmandaki hücreler arasında olduğu gibi katmanlar arasındaki hücreler arasında da olabilir. Bu ağlara örnek olarak Hopfield, SOM (Self Organizing Map), Elman ve Jordan ağları verilebilir (Saraç 2004).



Şekil 3.10: Geri beslemeli ağ için blok diyagram (Sağiroğlu ve ark. 2003).

3.2.2.6.2. YSA'nın Öğrenme Algoritmalarına Göre Sınıflandırılması

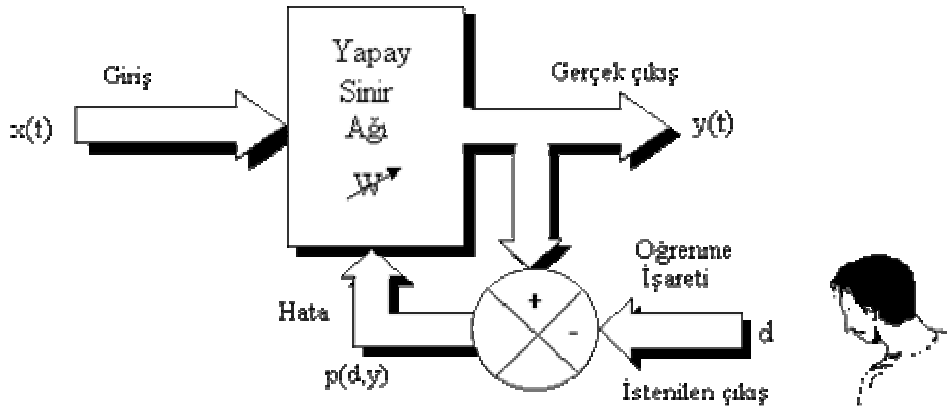
Yapay sinir ağları beynin bazı fonksiyonlarını ve özellikle öğrenme yöntemlerini benzetim yolu ile gerçekleştirmek için tasarlanır ve geleneksel yöntem ve bilgisayarların yetersiz kaldığı sınıflandırma, kümeleme, duyu-veri işleme, çok duyulu makine gibi alanlarda başarılı sonuçlar verir. Yapay sinir ağlarının özellikle tahmin problemlerinde kullanılabilmesi

için çok fazla bilgi ile eğitilmesi gerekir. Ağların eğitimi için çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir (Kurt 2003).

Öğrenme; gözlem, eğitim ve hareketin doğal yapıda meydana getirdiği davranış değişikliği olarak tanımlanmaktadır. O halde, birtakım metot ve kurallar, gözlem ve eğitime göre ağıdaki ağırlıkların değiştirilmesi sağlanmalıdır. Bunun için genel olarak üç öğrenme metodundan ve bunların uygulandığı değişik öğrenme kurallarından söz edilebilir. Bu öğrenme kuralları aşağıda açıklanmaktadır.

Danışmanlı Öğrenme

Danışmanlı öğrenmede gerçek YSA çıktısı istenilen (hedef) çıktı ile karşılaştırılır. Sonra elde edilen çıktı ile hedef çıktı arasındaki hatayı minimize etmek için bağlantı ağırlıkları ayarlanır. Şekil 3.11’de danışmanlı öğrenme yapısı gösterilmiştir. Bu öğrenmede, geri-yayılım algoritması en popüler olan uygulamadır (Kaya ve ark. 2005).

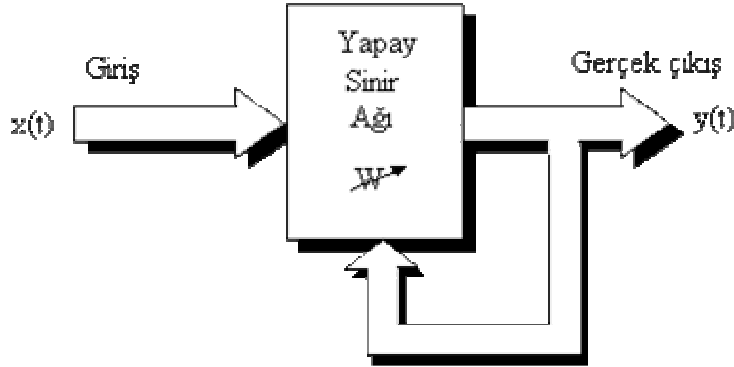


Şekil 3.11: Danışmanlı öğrenme yapısı (Sağıroğlu ve ark. 2003).

Danışmansız Öğrenme

Bu tür öğrenmede ağa sadece girdiler verilir. Ağın ulaşması gereken hedef çıktılar verilmez. Girişe verilen örnekten elde edilen çıkış bilgisine göre ağ sınıflandırma kurallarını

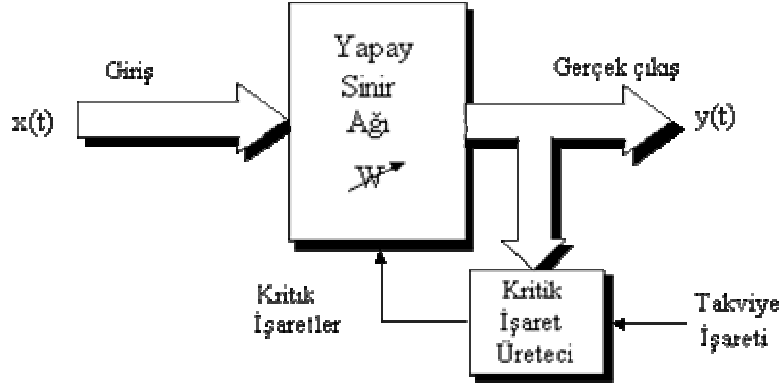
kendi kendine geliştirir. Şekil 3.12’de danışmansız öğrenme yapısı gösterilmiştir. Ağ daha sonra bağlantı ağırlıklarını aynı özellikleri gösteren desenler (patterns) oluşturmak üzere ayarlar. Grossberg tarafından geliştirilen ART (Adaptive Resonance Theory) veya Kohonen tarafından geliştirilen SOM (Self Organizing Map) öğrenme kuralı danışmansız öğrenmeye örnek olarak verilebilir.



Şekil 3.12: Danışmansız öğrenme yapısı. (Sağiroğlu ve ark. 2003)

Takviyeli öğrenme

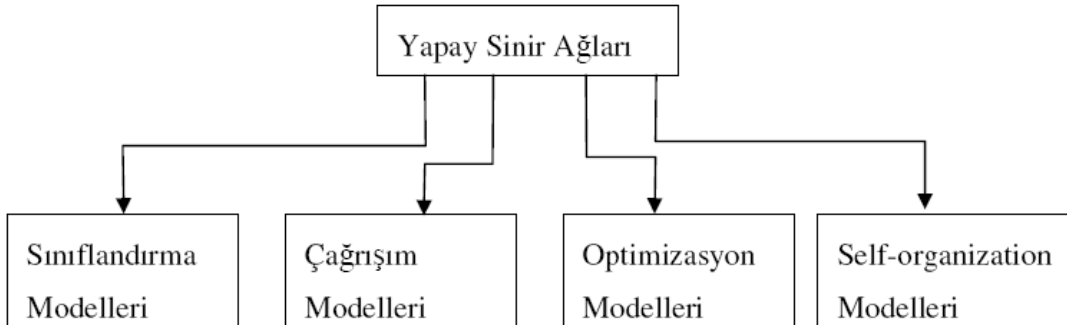
Bu öğrenme kuralı danışmanlı öğrenmeye yakın bir methoddur. Denetimsiz öğrenme algoritması, istenilen çıkışın bilinmesine gerek duymaz. Hedef çıktıyı vermek için bir “öğretmen” yerine, burada YSA’ya bir çıkış verilmemekte fakat elde edilen çıkışın verilen girişe karşılık iyiliğini değerlendiren bir kriter kullanılmaktadır. Şekil 3.13’de takviyeli öğrenme yapısı gösterilmiştir. Optimizasyon problemlerini çözmek için Hinton ve Sejnowski’nin geliştirdiği Boltzmann kuralı veya GA takviyeli öğrenmeye örnek olarak verilebilirler (Sağiroğlu ve ark. 2003).



Şekil 3.13: Takviyeli öğrenme yapısı (Sağiroğlu ve ark. 2003)

3.2.2.7. Yapay Sinir Ağı Modellerinin Sınıflandırılması

YSA'ları uygulama (kullanım) alanlarına göre sınıflandırıldığında 4 kategoriye (Şekil 3.14) ayrılmaktadır. Sınıflandırma modellerinde ağa verilen bir veri seti istenilen sayıda kategoriye ayrıştırılır. Tek katmanlı “*perceptron*, *ADALINE*, *MADALINE*” ağları sınıflandırma modellerine birer örnektir. Çağrışım modellerinde ise, verilen bir parça desene göre, tüm deseni tamamlama veya düzeltme işlemi yapılır. Optimizasyon modellerinde başlangıç verileri, amaçların karşılandığı veya sınırların sağlandığı çıktılara dönüştürülürler. “*Hopfield ağları*, *Boltzman makinesi*” optimizasyon modellerinde kullanılan ağlara örnektir. Kendi kendine organize olabilen (self organisation) modellerde bilgi Adaptif öğrenme yeteneği ile elde edilir. “*Kohonen ağı*, *Rekabetçi öğrenme*” ve “*Hebbian öğrenmesi*” bu modellere örnektir (Eren 2001).



Şekil 3.14: YSA'ların kullanım alanlarına göre sınıflandırılması (Seçme 2006)

3.2.3. Genetik Algoritma

Genetik algoritmalar, doğal seçim ilkelerine dayanan bir arama ve optimizasyon yöntemi olarak ifade edilmektedir. Temel ilkeleri John Holland tarafından ortaya atılmış olan genetik algoritmaların, fonksiyon optimizasyonu, çizelgeleme, mekanik öğrenme, tasarım, hücresel üretim gibi alanlarda başarılı uygulamaları bulunmaktadır.

“Genetik algoritmalar bir çözüm uzayındaki her noktayı, kromozom adı verilen ikili bit dizisi ile kodlar. Her noktanın bir uygunluk değeri vardır. Tek bir nokta yerine, genetik algoritmalar bir popülasyon olarak noktalar kümesini muhafaza eder. Her kuşakta, genetik algoritma, çaprazlama ve mutasyon gibi genetik operatörleri kullanarak yeni bir popülasyon oluşturur. Birkaç kuşak sonunda, popülasyon daha iyi uygunluk değerine sahip üyeleri içerir. Bu, Darwin’in rastsal mutasyona ve doğal seçime dayanan evrim modellerine benzemektedir. Genetik algoritmalar, çözümlerin kodlanmasını, uygunlukların hesaplanmasını, çoğalma, çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin uygulanmasını içerir” (Kaya 2006).

Genetik Algoritmayı diğer sezgisel yöntemlerden ayıran en belirgin özellikleri aşağıda belirtilmiştir (Biroğul, 2005).

1. Genetik Algoritma, parametre kodlarıyla uğraşır, parametrelerin kendisiyle doğrudan uğraşmaz.
2. Genetik Algoritma, tek bir alana bağımlı kalarak çözüm aramaz. Yığının tamamında çözümü arar.
3. Genetik Algoritma, ne yaptığını değil nasıl yaptığını bilir. Yani, Genetik Algoritma amaç işlevini kullanır, sapma değerleri ve diğer hata faktörlerini kullanmaz.
4. Genetik Algoritmanın uygulanmasında kullanılan operatörler rastlantısal yöntemlere dayanır, belirli ve kesin yöntemler kullanmaz.

3.2.3.1. Genetik Algoritmelerde Kullanılan Operatörler

Üreme Operatörü

Üreme operatörü, başlangıç popülasyonunda rastsal olarak üretilen kromozomların uygunluk değerlerine göre yeni bir popülasyon oluşturma işlemidir. Bu işlemde bireysel diziler amaç fonksiyonuna göre kopyalanır ve gelecek nesilde daha iyi döl verebilecek bireylerin oluşması sağlanır. Üreme operatörü yapay bir seleksiyondur. Üreme operatörü seçim yöntemlerine; rulet çemberi yöntemi, yapay seçim yöntemi, kısmi yapay seçim yöntemi, ters yapay seçim yöntemi örnek olarak verilebilir (Gözen 2007).

Çaprazlama operatörü

Genetik Algoritmelerdeki en önemli operatördür. Rastgele seçilen iki kromozomun yapıları kullanılarak yeni bir nesil oluşturulması esasına dayanır. Çaprazlama işlemi genel olarak ikili dizilerin parçalarının değiştirilmesi şeklinde gerçekleştirilir. Burada amaç, bir önceki neslin kromozom genlerinin yerini değiştirerek yeni nesil için kromozomlar üretmek ve böylece varolan uygunluk değeri daha yüksek olan kromozomlar elde etmektir. Çaprazlama işlemi beş farklı yöntemle gerçekleştirilir. Bu yöntemler, pozisyona dayalı, sıraya dayalı, kısmi planlı, dairesel, doğrusal ve sıralı çaprazlama yöntemleridir (Ceran 2006).

Mutasyon operatörü

Genetik Algoritmelerde karar verici olarak ikinci derecede rol oynar. Amaç, varolan bir kromozomun genlerinin bir ya da bir kaçının yerlerini değiştirerek yeni kromozom oluşturmaktır. Yeniden ve sürekli yeni nesil üretimi sonucunda belirli bir süre sonra nesildeki kromozomlar birbirini tekrarlama konumuna gelebilir ve bunun sonucunda farklı kromozom üretimi durabilir veya çok azalabilir. İşte bu sebeple nesildeki kromozomların çeşitliliğini arttırmak için kromozomlardan bazıları mutasyona uğratılır. Bilinen mutasyon yöntemleri; ters mutasyon, komşu iki geni değiştirme, keyfi iki geni değiştirme, keyfi üç geni değiştirme ve araya yerleştirme (Kaya 2006).

3.2.4. Problemin GA ile çözümü

Aldowasian ve Allahverdi (2003), tamamlanma zamanının minimizasyonu amaçlı BATÇ problemlerinin çözümü için genetik algoritmayı sunmuşlardır. Önerilen YSA'nı karşılaştırmak için bu algoritma kullanılmıştır. Aldowasian ve Allahverdi (2003)'nin kullanmış olduğu GA'nın işlem adımları aşağıda sunulmuştur.

Önce başlangıç popülasyonu seçilir. Mevcut popülasyon yapıları üzerinde basit genetik operasyonlarla yeni nesiller üretilerek evrim süreci simüle edilir. Mevcut popülasyon yapılarının yüksek uygunluk değerleriyle birleşmesine daha fazla şans verilir. Böylelikle yüksek uygunluk bireyi elde etme şansı artar. Bu süreç yapının uygunluğunun beklenen devamlı gelişimine öncülük ederek defalarca tekrar edilmelidir. $P(t)$, t . nesildeki popülasyonu belirtir, $s_i(t)$, $P(t)$ de i . iş sırasını temsil eder ve $f(s_i(t))$, $s_i(t)$ 'nin uygunluk değeridir. Algoritma adımları aşağıda kısaca özetlenmiştir (Aldowasian ve Allahverdi 2003).

Algoritma adımları:

1. Popülasyonun boyutunu, "*POPSİZE*", nesillerin sayısını, "*NGEN*" olarak belirt ve t den 0 a kadar hazırla(başlangıç nesli). 4 parametreye daha ihtiyaç vardır, çaprazlama olasılığı "*PCROSS*", mutasyon olasılığı "*PMUTE*", uygun iş toleransı "*FITTOLER*" ve nesil uygunluk yüzdesi "*POPFIT*".
2. İlk nesli oluştur. İlk nesildeki ilk iş sırası, Gangadharan ve Rajendran (1993) algoritmasını kullanarak üretilir. İkinci sıra Danninbring (1977) algoritmasını kullanarak elde edilir.
3. $P(t)$ popülasyonunun her iş sırasının uygunluk değeri $f(s_i(t))$, aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$f(s_i(t)) = \frac{\text{Max}_i(\text{Obj}(s_j(t)) - \text{Obj}(s_i(t)))}{\sum_k (\text{Max}_j(\text{Obj}(s_j(t)) - \text{Obj}(s_k(t)))}$$

4. $P(t)$ deki her iş sırasının $s_i(t)$ seçme olasılığını $p_i(t)$ hesapla.

$$P_i(t) = f(s_i(t)) / \sum f(s_j(t))$$

5. Tekrar üretim için seçme olasılığına bağlı olarak diğer üyelerden daha yüksek olan iki iş sırası seç. Seçilen sıraların farklı olduğunu kanıtlamak için en fazla 10 deneme yapılır. Farklı sıralar elde etmede başarısızlık durumunda son seçilen sıralar tercih edilir. Tercih edilen sıralara ebeveyn, sonuçlanan bireylere çocuk denir.
6. Ebeveynler, “*PCROSS*” ve “*PMUTE*” olasılıkları ile birlikte mutasyon ve çaprazlama genetik operatörlerine, $t + 1$ nesli ve $P(t + 1)$ i oluşturacak çocuk nesillerine eklenmeden önce sırasıyla sunulur. Çaprazlama operatörü olarak, “*Kısmi Planlı Çaprazlama*” kullanılır. Önce iki ebeveyn dizisinden genel bir aralık rastgele seçilir ve işlerde seçilen aralar değiş-tokuş edilir. Sonuçlanan diziler uygulanabilir değilse çaprazlama yapılamadan önce orijinal dizilerde bazı işlerin değiş-tokuşu yapılacaktır. Mutasyon operatörü bir dizide rastgele seçilen iki işin değiş-tokuşunda oluşur.
7. 5. ve 6. aşamalar yeni nesil tamamlanıncaya kadar tekrarlanır. Yeniden üretim sırasında ebeveyn neslinin $P(t)$ değişmez, ebeveynler tekrar üretim sırasında aynı seçilme şansına sahip olacaktır.
8. Yüksek uygunluk değerli nesil dizileri, her zaman çocuk nesillerine geçer. Bu herhangi bir nesilde elde edilmiş en iyi dizinin her zaman korunmasını sağlayacaktır.
9. $t = t + 1$ hazırla; nesil sayım artışı. Tamamlanan çocuk nesli yeni ebeveyn nesli olur.
10. 3-9 adımları t “*NGEN*” e ulaşıncaya veya yeni nesil yüzdesi “*POPFIT*” e ulaşıncaya kadar tekrar edilir. i . iş sırası aşağıdaki gibi olunca uygun olarak düşünülür.
- $$\text{Max}_j (f(s_j(t)) - f(s_i(t))) \leq \text{FIT TOLER}$$
11. En son nesillerdeki en yüksek uygunluk değerli iş sırası programla problemin çözümü olarak alınır.

Aldowasian ve Allahverdi (2003), problemin çözümünde üreme operatörü tekniği olarak “*Rulet Çemberi*” yöntemini kullanmışlardır. Çaprazlama operatörü olarak “*Kısmi Planlı Çaprazlama*” yöntemi ve mutasyon operatörü için de “*Keyfi İki Geni Değiştirme*” yöntemini seçmişlerdir. Ayrıca problemin çözümünde kullanılan diğer parametrelerde Tablo 3.3’de gösterilmiştir (Aldowasian 2003).

Tablo 3.3: Genetik Algoritmanın Çözümünde kullanılan parametreler

Parametreler	Tanımlar	Değer
POPSIZE	Başlangıç popülasyonu	95
NGEN	Nesil sayısı	60
FITTOLER	Uygunluk toleransı	1E-10
POPFIT	Uygun popülasyon yüzdesi	60
PCROSS	Çaprazlama olasılığı	0,725
PMUTE	Mutasyon olasılığı	0,009

BATÇ problemlerini GA ile çözerken Aldowasian ve Allahverdi (2003)’nin geliştirmiş olduğu algoritma yukarıdaki parametrelerle beraber kullanılmıştır.

3.2.5. Yapay Sinir Ağı Algoritması

Oluşturulan yeni algoritma literatürdeki Agarwal ve ark. (2006b)’nin akış tipi çizelgeleme problemlerinin çözümü için geliştirmiş oldukları, Adaptif Öğrenme Yaklaşımı algoritmasınının BATÇ problemlerine uygulanmasıdır.

Agarwal ve ark. (2006b)'nin akış tipi çizelgeleme problemlerinin çözümü için geliştirmiş oldukları Adaptif Öğrenme Yaklaşımı algoritmasının adımları ve kullanılan notasyonlar aşağıda verilmiştir (Agarwal ve ark. 2006b).

Notasyon:

J	iş sayıları $\{1,2,3,\dots,n\}$
M	makine sayıları
O_{ij}	i. işin, j. makinedeki operasyonu
P_{ij}	operasyon O_{ij} 'nin işlem süresi
W_{ij}	O_{ij} operasyonunun ağırlık değeri
WP_{ij}	operasyon O_{ij} 'nin ağırlıklı işlem süresi
k	iterasyon numarası
K_{max}	maksimum itersyon numaraları
MS_k	k. iterasyonun tamamlanma zamanı
RF	kuvvetlendirme faktörü
TINI	geliştirilememiş iterasyonların toleransı
ALFA (α)	öğrenme oranı
BMS	en iyi tamamlanma zamanı
BW_{ij}	en iyi ağılıklar

Algoritma:

Adım 1: *Başlangıç değerini ayarla*

$$W_{ij} = 1 \quad i \in J, j \in M \text{ olacak şekilde } k \text{ dan } l \text{ e kadar ağırlık ata}$$

Adım 2: *Ağırlıklı işlem zamanlarını hesapla*

$$WP_{ij} = W_{ij} \times P_{ij} \quad i \in J, j \in M$$

Adım 3: *Sezgiseli uygula*

Palmer, CDS, NEH algoritmalarını kullanarak MS_k yı elde et

Adım 4: *Öğrenme stratejisi ve düzenlenmiş ağırlıkları uygula*

- a. Eğer MS_k şimdiye kadarki en iyi tamamlanma zamanı ise; cari ağırlıkları en iyi ağırlık(BW_{ij}), ve ve tamamlanma zamanını en iyi tamamlanma zamanı(BMS) olarak kaydet.
- b. Eğer $k = K_{max}$ ise; 6. adıma git
- c. Eğer $k > 1$ ve geliştirilme olmuşsa, ağırlıkları aşağıdaki şekilde kuvvetlendir:

$$(W_{ij})_k = (W_{ij})_k + RF * ((W_{ij})_k - (W_{ij})_{k-1})$$
 Eğer bu adımda geliştirme olmamış ise, devam et.
- d. Eğer $k > TINI$ ve daha önceki TINI adımlarında geliştirilme olmamışsa; $W_{ij} = BW_{ij}$ olarak ata.
- e. Ağırlıkları aşağıdaki şekilde düzenle:

0 ile 1 arasında rasgele bir numara RND meydana getir.

Eğer $RND > 0,5$ ise, $(W_{ij})_{k+1} = (W_{ij})_k + RND * \alpha * P_{ij}$

Eğer $RND \leq 0,5$ ise, $(W_{ij})_{k+1} = (W_{ij})_k - RND * \alpha * P_{ij}$,

Adım 5: *Sonraki adım*

K yı birer birer artır ve adım 2 ye geri dön.

Adım 6: *Çözümleri görüntüle*

BMS çözüm olarak bulunmuştur.

Ortaya atılan yeni yapay sinir algoritması iki temel prensip üzerine kurulmuştur. Bunlar;

1. İşler makineler arası geçişlerde beklememelidir. Makine hazırlıkları, işler makineye gelmeden önce bitirilmelidir.
2. Ağları eğiterek tamamlanma zamanının en küçüklenmesi hedeflenir.

Algoritmada kullanılan parametreler ve bu parametrelerin değerleri Tablo 3.4'de gösterilmiştir. Agarwal ve ark. (2006b)'nin kullanmış olduğu parametre değerleri ve aralıkları problemin çözümünde kullanılmıştır. Bu parametrelerin BATÇ problemlerinde iyi sonuçlar verecek şekilde kullanılması için, tam faktöriyel parametre optimizasyonu yapılmıştır. Yapılan optimizasyon sonuçları ileride sunulmuştur.

Tablo: 3.4 YSA Kontrol parametreleri ve değerleri (Agarwal 2006)

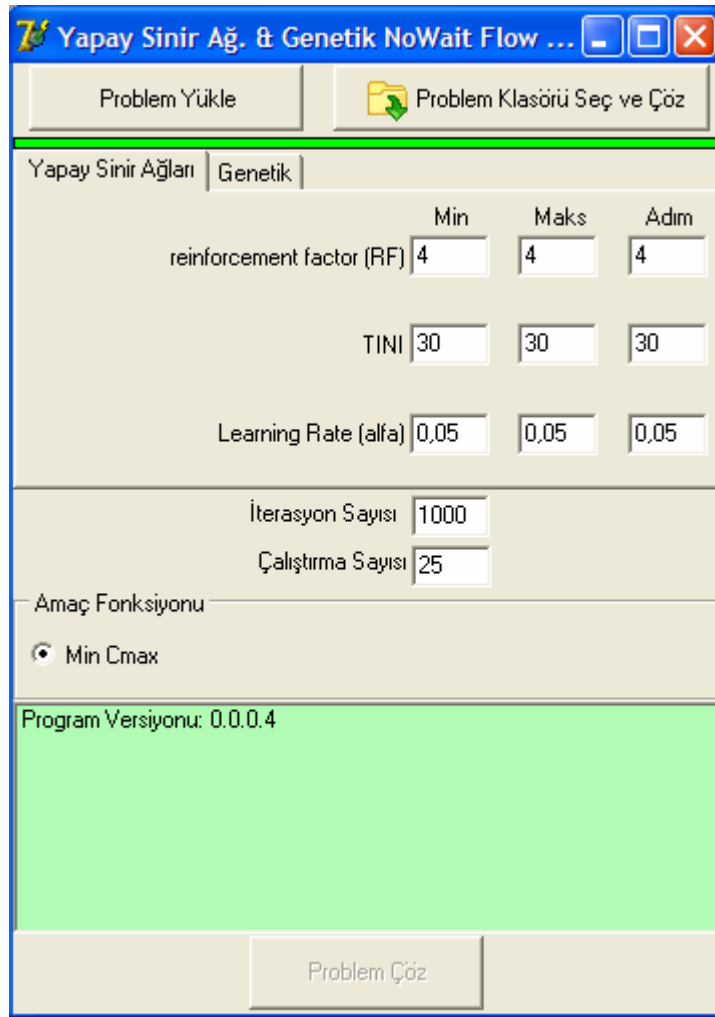
Kontrol Parametreleri	Kontrol Parametre Değerleri
Kuvvetlendirme Faktörü (RF)	1 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5 ; 6 ; 7 ; 8 ; 9 ; 10
Düzeltilmemiş iterasyonların toleransı (TINI)	10 ; 20 ; 30 ; 40 ; 50
Öğrenme Oranı (ALFA)	0,01 ; 0,02 ; 0,03 ; 0,04 ; 0,05 ; 0,06 ; 0,07 ; 0,08 ; 0,09 ; 0,1
İterasyon sayısı	250 ; 500 ; 1000
Çalıştırma sayısı	25

Problem verileri rastsal olarak oluşturulmuştur. Lüteratürdeki, Aldowaisan ve Allahverdi (2003) ve Shyu ve ark. (2004) tarafından oluşturulan problemlerin verileri referans alınarak oluşturulmuştur. İş sayıları $n = 8, 10, 12, 50, 100, 150, 200, 250$ olmak üzere 8 farklı iş sayısı tanımlanmıştır. Makine sayıları ise $m = 2, 3, 5, 8, 10, 15, 20, 25$ olarak seçilmiştir. Makinelerin hazırlık süreleri $[1,10]$ arasında üniform dağılıma göre rastsal olarak üretilmiştir. İşlem zamanları için; üç çeşit işlem zamanı seçilmiştir. Birinci tip işlem zamanı $a ; [1,10]$ arasında, ikinci tip işlem zamanı $b ; [1,50]$ arasında ve üçüncü tip işlem zamanı $c ; [1,100]$ arasında üniform dağılıma göre rastsal olarak üretilmiştir. Bu şekilde $(m \times n \times 3)$ olarak toplam $8 \times 8 \times 3 = 192$ problem rastsal olarak geliştirilmiştir.

4. SİMÜLASYON SONUÇLARI

4.1. Veri Toplama

BATÇ problemlerinin GA ve YSA algoritmaları ile çözümü için kullanılan program Borland Delphi 7.1 ile hazırlandı. Programın ekran görüntüsü Şekil 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.1: YSA ve GA programına ait ekran görüntüsü

Beklemesiz Akış Tipi Çizelgeleme problemleri için literatüre uygun oluşturulan problemler, önerilen Yapay Sinir Ağları yaklaşımı ve Genetik Algoritma ile çözülmüş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Problemler Intel Pentium 4, 3.0 GHz işlemcili, 1 GB RAM ve

Microsoft Windows XP işletim sistemi bulunan özdeş bilgisayarda hazırlanan programlar yardımıyla çözülmüştür.

YSA için elde edilen sonuçlar, Aldowasian ve Allahverdi (2003)'nin BATÇ problemleri için önerdikleri GA'dan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. BATÇ problemleri için çözüm kalitesi, GA'nın elde ettiği en iyi çözümler (C_{max}) ile YSA'nın elde ettiği en iyi çözümler (C_{max}) arasındaki yüzde sapma miktarı ile ölçülmektedir. YSA'nın yüzde sapma miktarı eşitlik 4.1 ve GA'nın yüzde sapma miktarı eşitlik 4.2'deki ifadeye göre hesaplanır.

$$\% \text{ Sapma Miktarı}_{YSA} = \frac{\text{YSA sonucu} - \text{Minimum}(C_{max})}{\text{Minimum}(C_{max})} \times 100 \quad (4.1)$$

$$\% \text{ Sapma Miktarı}_{GA} = \frac{\text{GA sonucu} - \text{Minimum}(C_{max})}{\text{Minimum}(C_{max})} \times 100 \quad (4.2)$$

BATÇ problemleri için çözüm kalitesi, YSA'nın elde ettiği sonuçlar ile Aldowasian ve Allahverdi (2003)'nin çalışmasından elde edilen sonuçlarla ayrıntılı olarak karşılaştırılmasıyla elde edilmiştir. Problemlerin çözümüne geçilmeye önce parametre optimizasyonu yapılmıştır. Her bir problem yirmi beşer kez çözülmüştür.

4.2. Parametre Optimizasyonu

Ortaya konulan yapay sinir ağları algoritması için belirlenen parametrelerden üçüncü bölümde bahsedilmiştir. Yine üçüncü bölümde üzerinde çalışılan problemler tanıtılmıştır. Problemlerin en belirgin zorluk derecesini oluşturan parametreleri makine ve iş sayılarıdır. Bu nedenle her makine ve işten örnek problemler seçilerek Tablo 3.4'de belirlenen parametreler tam faktöriyel olarak uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlardan en iyileri aynı makine ve iş sayısına

sahip problemlerin çözümü için kullanılmıştır. Aşağıda yer alan Tablo 4.1’de elde edilen en iyi parametreler yer almaktadır.

Tablo 4.1: Parametre optimizasyonu sonuçları

Makine Sayısı	İş Grupları	RF	TINI	ALFA	İTERASYON
2	8 10 12	3	30	0,02	1000
	50 100 150	7	50	0,05	500
	200 250	5	40	0,06	250
3	8 10 12	2	20	0,07	1000
	50 100 150	5	40	0,04	500
	200 250	5	40	0,06	250
5	8 10 12	2	10	0,02	1000
	50 100 150	7	50	0,06	500
	200 250	8	50	0,07	250
8	8 10 12	2	50	0,02	1000
	50 100 150	4	30	0,08	500
	200 250	10	40	0,09	250
10	8 10 12	4	40	0,03	1000
	50 100 150	4	20	0,01	500
	200 250	6	40	0,06	250
15	8 10 12	3	40	0,07	1000
	50 100 150	6	30	0,08	500
	200 250	9	40	0,06	250
20	8 10 12	4	30	0,08	1000
	50 100 150	6	20	0,06	500
	200 250	8	30	0,01	250
25	8 10 12	6	50	0,02	1000
	50 100 150	5	20	0,07	500
	200 250	9	20	0,05	250

4.3. BATÇ Problemlerinin Çözümlerinin Analizi

Rastasal olarak oluşturulan 192 adet BATÇ problemleri, öncelikle Aldowasian ve Allahverdi (2003) tarafından geliştirilen GA yardımıyla, delphi dilinde hazırlanan programla çözülmüştür. Aynı problemler, yeni önerilen YSA algoritması ile yine delphi dilinde hazırlanan program yardımıyla çözülmüştür. Her iki çözümlerin minimum tamamlanma zamanları (C_{max}) ve işlem süreleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca her iki algoritmaya ait çözümlerin yüzde sapmaları karşılaştırılmıştır. YSA ile elde edilen sonuçlar, Aldowasian ve Allahverdi (2003)'nin çalışmasından elde edilen çözümlerle birlikte karşılaştırmalı olarak Tablo 4.2, Tablo 4.3, Tablo 4.4, Tablo 4.5, Tablo 4.6, Tablo 4.7, Tablo 4.8 ve Tablo 4.9'da sunulmuştur.

Tablo 4.2: BATÇ İki makineli problemler için kıyaslama

Problem	GA		YSA	
	% Sapma	İşlem Süresi	% Sapma	İşlem Süresi
<i>8x2-a</i>	0,000	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>8x2-b</i>	0,000	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>8x2-c</i>	0,000	00:00.000	0,645	00:00.000
<i>10x2-a</i>	0,000	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>10x2-b</i>	0,000	00:00.000	1,775	00:00.000
<i>10x2-c</i>	1,541	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>12x2-a</i>	0,000	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>12x2-b</i>	0,000	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>12x2-c</i>	1,387	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>50x2-a</i>	1,054	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>50x2-b</i>	0,000	00:00.000	1,461	00:00.000
<i>50x2-c</i>	1,158	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>100x2-a</i>	0,719	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>100x2-b</i>	0,000	00:00.000	0,167	00:00.000
<i>100x2-c</i>	0,000	00:00.000	0,240	00:00.000
<i>150x2-a</i>	0,475	00:00.000	0,000	00:00.016
<i>150x2-b</i>	0,000	00:00.000	0,477	00:00.016
<i>150x2-c</i>	0,102	00:00.015	0,000	00:00.000
<i>200x2-a</i>	0,482	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>200x2-b</i>	0,000	00:00.000	0,473	00:00.000
<i>200x2-c</i>	0,483	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>250x2-a</i>	0,000	00:00.000	0,821	00:00.000
<i>250x2-b</i>	0,531	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>250x2-c</i>	0,035	00:00.000	0,000	00:00.000

2 makine için verilen problemlerin çözümleri Tablo 4.2' de görülmektedir. Buna göre 24 problemin sonucundan, 8 tanesinde GA, 11 tanesinde önerilen yeni YSA daha iyi sonuçlar bulmuştur. 5 problemin çözümünde de aynı değerler elde edilmiştir. % Sapmaların ortalaması, GA için 0,332; önerilen yeni YSA için 0,252 olarak hesaplanmıştır. En geç işlem süresi, GA için 00:00.000; önerilen yeni YSA için 00:00.016 olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.3: BATÇ Üç makineli problemler için kıyaslama

Problem	GA		YSA	
	% Sapma	İşlem Süresi	% Sapma	İşlem Süresi
<i>8x3-a</i>	0,000	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>8x3-b</i>	0,000	00:00.000	4,828	00:00.000
<i>8x3-c</i>	0,534	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>10x3-a</i>	0,000	00:00.000	0,840	00:00.000
<i>10x3-b</i>	3,270	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>10x3-c</i>	0,727	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>12x3-a</i>	0,000	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>12x3-b</i>	1,790	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>12x3-c</i>	0,000	00:00.000	1,952	00:00.000
<i>50x3-a</i>	0,000	00:00.000	1,124	00:00.000
<i>50x3-b</i>	1,710	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>50x3-c</i>	0,292	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>100x3-a</i>	0,000	00:00.000	0,722	00:00.000
<i>100x3-b</i>	0,547	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>100x3-c</i>	0,573	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>150x3-a</i>	0,154	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>150x3-b</i>	0,113	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>150x3-c</i>	0,371	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>200x3-a</i>	0,157	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>200x3-b</i>	0,000	00:00.000	0,368	00:00.000
<i>200x3-c</i>	1,303	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>250x3-a</i>	0,000	00:00.000	0,124	00:00.000
<i>250x3-b</i>	0,235	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>250x3-c</i>	0,766	00:00.000	0,000	00:00.000

3 makine için verilen problemlerin çözümleri Tablo 4.3' de görülmektedir. Buna göre 24 problemin sonucundan, 7 tanesinde GA, 15 tanesinde önerilen yeni YSA daha iyi sonuçlar bulmuştur. 2 problemin çözümünde de aynı değerler elde edilmiştir. % Sapmaların ortalaması, GA için 0,523; önerilen yeni YSA için 0,415 olarak hesaplanmıştır. İşlem süreleri 24 problemin çözümünde her iki algoritma için de 00:00:000 olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.4: BATÇ Beş makineli problemler için kıyaslama

Problem	GA		YSA	
	% Sapma	İşlem Süresi	% Sapma	İşlem Süresi
<i>8x5-a</i>	0,794	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>8x5-b</i>	0,000	00:00.000	0,505	00:00.000
<i>8x5-c</i>	1,075	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>10x5-a</i>	1,429	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>10x5-b</i>	0,000	00:00.000	3,846	00:00.000
<i>10x5-c</i>	0,885	00:00.016	0,000	00:00.000
<i>12x5-a</i>	0,000	00:00.000	1,149	00:00.063
<i>12x5-b</i>	1,034	00:00.000	0,000	00:00.016
<i>12x5-c</i>	0,000	00:00.000	1,473	00:00.000
<i>50x5-a</i>	0,419	00:00.000	0,000	00:00.016
<i>50x5-b</i>	0,665	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>50x5-c</i>	0,000	00:00.000	3,213	00:00.000
<i>100x5-a</i>	0,756	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>100x5-b</i>	0,538	00:00.000	0,000	00:00.016
<i>100x5-c</i>	0,571	00:00.109	0,000	00:00.000
<i>150x5-a</i>	0,000	00:00.000	0,275	00:00.000
<i>150x5-b</i>	0,198	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>150x5-c</i>	1,031	00:00.016	0,000	00:00.016
<i>200x5-a</i>	0,343	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>200x5-b</i>	0,159	00:00.156	0,000	00:00.110
<i>200x5-c</i>	0,000	00:00.015	0,503	00:00.016
<i>250x5-a</i>	0,273	00:00.000	0,000	00:00.016
<i>250x5-b</i>	0,325	00:00.015	0,000	00:00.000
<i>250x5-c</i>	0,332	00:00.016	0,000	00:00.063

5 makine için verilen problemlerin çözümleri Tablo 4.4' de görülmektedir. Buna göre 24 problemin sonucundan, 7 tanesinde GA, 17 tanesinde önerilen yeni YSA daha iyi sonuçlar bulmuştur. % Sapmaların ortalaması, GA için 0,451; önerilen yeni YSA için 0,457 olarak hesaplanmıştır. En geç işlem süresi, GA için 00:00.109; önerilen yeni YSA için 00:00.110 olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.5: BATÇ Sekiz makineli problemler için kıyaslama

Problem	GA		YSA	
	% Sapma	İşlem Süresi	% Sapma	İşlem Süresi
<i>8x5-a</i>	0,000	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>8x5-b</i>	0,000	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>8x5-c</i>	0,000	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>10x5-a</i>	0,000	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>10x5-b</i>	0,000	00:00.000	0,809	00:00.000
<i>10x5-c</i>	0,000	00:00.016	0,000	00:00.000
<i>12x5-a</i>	0,995	00:00.000	0,000	00:00.063
<i>12x5-b</i>	1,108	00:00.000	0,000	00:00.016
<i>12x5-c</i>	4,808	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>50x5-a</i>	2,261	00:00.000	0,000	00:00.016
<i>50x5-b</i>	1,364	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>50x5-c</i>	0,089	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>100x5-a</i>	1,094	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>100x5-b</i>	0,000	00:00.000	0,446	00:00.016
<i>100x5-c</i>	0,575	00:00.109	0,000	00:00.000
<i>150x5-a</i>	0,493	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>150x5-b</i>	0,023	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>150x5-c</i>	0,000	00:00.016	0,665	00:00.016
<i>200x5-a</i>	0,152	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>200x5-b</i>	0,271	00:00.156	0,000	00:00.110
<i>200x5-c</i>	0,813	00:00.015	0,000	00:00.016
<i>250x5-a</i>	0,000	00:00.000	0,340	00:00.016
<i>250x5-b</i>	0,000	00:00.015	0,080	00:00.000
<i>250x5-c</i>	0,069	00:00.016	0,000	00:00.063

8 makine için verilen problemlerin çözümleri Tablo 4.5' de görülmektedir. Buna göre 24 problemin sonucundan, 5 tanesinde GA, 14 tanesinde önerilen yeni YSA daha iyi sonuçlar bulmuştur. 5 problemin çözümünde de aynı değerler elde edilmiştir. % Sapmaların ortalaması, GA için 0,588; önerilen yeni YSA için 0,097 olarak hesaplanmıştır. En geç işlem süresi, GA için 00:00.156; önerilen yeni YSA için 00:00.063 olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.6: BATÇ On makineli problemler için kıyaslama

Problem	GA		YSA	
	% Sapma	İşlem Süresi	% Sapma	İşlem Süresi
<i>8x10-a</i>	0,658	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>8x10-b</i>	0,000	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>8x10-c</i>	0,000	00:00.000	0,602	00:00.000
<i>10x10-a</i>	0,000	00:00.000	1,099	00:00.000
<i>10x10-b</i>	0,000	00:00.000	3,823	00:00.000
<i>10x10-c</i>	5,049	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>12x10-a</i>	0,943	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>12x10-b</i>	0,000	00:00.000	2,522	00:00.000
<i>12x10-c</i>	2,291	00:00.000	0,000	00:00.016
<i>50x10-a</i>	0,231	00:00.015	0,000	00:00.000
<i>50x10-b</i>	0,500	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>50x10-c</i>	0,276	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>100x10-a</i>	0,228	00:00.000	0,000	00:00.016
<i>100x10-b</i>	0,000	00:00.000	0,339	00:00.000
<i>100x10-c</i>	0,000	00:00.000	0,080	00:00.000
<i>150x10-a</i>	0,190	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>150x10-b</i>	0,898	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>150x10-c</i>	0,890	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>200x10-a</i>	0,000	00:00.000	0,086	00:00.000
<i>200x10-b</i>	1,159	00:00.015	0,000	00:00.000
<i>200x10-c</i>	0,000	00:00.000	0,036	00:00.062
<i>250x10-a</i>	0,135	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>250x10-b</i>	0,979	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>250x10-c</i>	0,309	00:00.016	0,000	00:00.000

10 makine için verilen problemlerin çözümleri Tablo 4.6' da görülmektedir. Buna göre 24 problemin sonucundan, 8 tanesinde GA, 15 tanesinde önerilen yeni YSA daha iyi sonuçlar bulmuştur. 1 problemin çözümünde de aynı değerler elde edilmiştir. % Sapmaların ortalaması, GA için 0,614; önerilen yeni YSA için 0,358 olarak hesaplanmıştır. En geç işlem süresi, GA için 00:00.016; önerilen yeni YSA için 00:00.062 olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.7: BATÇ On beş makineli problemler için kıyaslama

Problem	GA		YSA	
	% Sapma	İşlem Süresi	% Sapma	İşlem Süresi
<i>8x15-a</i>	0,000	00:00.000	0,000	00:00.015
<i>8x15-b</i>	0,000	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>8x15-c</i>	0,000	00:00.016	0,000	00:00.000
<i>10x15-a</i>	0,905	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>10x15-b</i>	0,910	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>10x15-c</i>	0,000	00:00.000	1,426	00:00.016
<i>12x15-a</i>	0,760	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>12x15-b</i>	0,484	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>12x15-c</i>	1,403	00:00.000	0,000	00:00.016
<i>50x15-a</i>	0,000	00:00.015	1,117	00:00.000
<i>50x15-b</i>	0,158	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>50x15-c</i>	0,000	00:00.000	0,920	00:00.000
<i>100x15-a</i>	0,866	00:00.000	0,000	00:00.016
<i>100x15-b</i>	0,000	00:00.000	0,761	00:00.000
<i>100x15-c</i>	1,401	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>150x15-a</i>	0,136	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>150x15-b</i>	0,992	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>150x15-c</i>	0,773	00:00.016	0,000	00:00.000
<i>200x15-a</i>	0,903	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>200x15-b</i>	0,020	00:00.015	0,000	00:00.000
<i>200x15-c</i>	0,000	00:00.000	0,302	00:00.000
<i>250x15-a</i>	0,162	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>250x15-b</i>	1,022	00:00.063	0,000	00:00.000
<i>250x15-c</i>	0,000	00:00.016	0,035	00:00.016

15 makine için verilen problemlerin çözümleri Tablo 4.7’ da görülmektedir. Buna göre 24 problemin sonucundan, 6 tanesinde GA, 15 tanesinde önerilen yeni YSA daha iyi sonuçlar bulmuştur. 3 problemin çözümünde de aynı değerler elde edilmiştir. % Sapmaların ortalaması, GA için 0,454; önerilen yeni YSA için 0,237 olarak hesaplanmıştır. En geç işlem süresi, GA için 00:00.063; önerilen yeni YSA için 00:00.016 olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.8: BATÇ Yirmi makineli problemler için kıyaslama

Problem	GA		YSA	
	% Sapma	İşlem Süresi	% Sapma	İşlem Süresi
<i>8x20-a</i>	0,463	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>8x20-b</i>	0,000	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>8x20-c</i>	0,000	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>10x20-a</i>	0,763	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>10x20-b</i>	0,833	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>10x20-c</i>	0,858	00:00.016	0,000	00:00.000
<i>12x20-a</i>	0,000	00:00.000	3,136	00:00.000
<i>12x20-b</i>	0,000	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>12x20-c</i>	2,285	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>50x20-a</i>	0,189	00:00.015	0,000	00:00.016
<i>50x20-b</i>	0,568	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>50x20-c</i>	0,000	00:00.000	0,096	00:00.000
<i>100x20-a</i>	0,235	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>100x20-b</i>	0,523	00:00.000	0,000	00:00.016
<i>100x20-c</i>	1,630	00:00.016	0,000	00:00.000
<i>150x20-a</i>	0,063	00:00.109	0,000	00:00.000
<i>150x20-b</i>	0,000	00:00.000	0,110	00:00.000
<i>150x20-c</i>	0,498	00:00.016	0,000	00:00.000
<i>200x20-a</i>	0,000	00:00.000	0,379	00:00.000
<i>200x20-b</i>	0,365	00:00.015	0,000	00:00.063
<i>200x20-c</i>	0,000	00:00.000	0,450	00:00.016
<i>250x20-a</i>	0,261	00:00.000	0,000	00:00.016
<i>250x20-b</i>	0,442	00:00.109	0,000	00:00.000
<i>250x20-c</i>	0,434	00:00.016	0,000	00:00.063

20 makine için verilen problemlerin çözümleri Tablo 4.8’ de görülmektedir. Buna göre 24 problemin sonucundan, 5 tanesinde GA, 16 tanesinde önerilen yeni YSA daha iyi sonuçlar bulmuştur. 3 problemin çözümünde de aynı değerler elde edilmiştir. % Sapmaların ortalaması, GA için 0,434; önerilen yeni YSA için 0,174 olarak hesaplanmıştır. En geç işlem süresi, GA için 00:00.109; önerilen yeni YSA için 00:00.063 olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.9: BATÇ Yirmi beş makineli problemler için kıyaslama

Problem	GA		YSA	
	% Sapma	İşlem Süresi	% Sapma	İşlem Süresi
<i>8x25-a</i>	0,000	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>8x25-b</i>	0,842	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>8x25-c</i>	2,487	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>10x25-a</i>	0,352	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>10x25-b</i>	0,160	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>10x25-c</i>	1,632	00:00.016	0,000	00:00.000
<i>12x25-a</i>	0,597	00:00.000	0,000	00:00.063
<i>12x25-b</i>	0,349	00:00.000	0,000	00:00.016
<i>12x25-c</i>	0,000	00:00.000	0,177	00:00.000
<i>50x25-a</i>	0,086	00:00.000	0,000	00:00.016
<i>50x25-b</i>	0,534	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>50x25-c</i>	0,729	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>100x25-a</i>	0,000	00:00.000	0,214	00:00.000
<i>100x25-b</i>	0,158	00:00.000	0,000	00:00.016
<i>100x25-c</i>	0,560	00:00.109	0,000	00:00.000
<i>150x25-a</i>	0,116	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>150x25-b</i>	0,924	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>150x25-c</i>	0,000	00:00.016	0,673	00:00.016
<i>200x25-a</i>	0,131	00:00.000	0,000	00:00.000
<i>200x25-b</i>	1,598	00:00.156	0,000	00:00.110
<i>200x25-c</i>	0,055	00:00.015	0,000	00:00.016
<i>250x25-a</i>	0,295	00:00.000	0,000	00:00.016
<i>250x25-b</i>	0,000	00:00.015	0,809	00:00.000
<i>250x25-c</i>	0,616	00:00.016	0,000	00:00.063

25 makine için verilen problemlerin çözümleri Tablo 4.9’ da görülmektedir. Buna göre 24 problemin sonucundan, 4 tanesinde GA, 19 tanesinde önerilen yeni YSA daha iyi sonuçlar bulmuştur. 1 problemin çözümünde de aynı değerler elde edilmiştir. % Sapmaların ortalaması, GA için 0,509; önerilen yeni YSA için 0,078 olarak hesaplanmıştır. En geç işlem süresi, GA için 00:00.156; önerilen yeni YSA için 00:00.110 olarak ölçülmüştür.

BATÇ için çözülen, toplam 192 tane kıyaslama probleminden 50 tanesinde GA daha iyi sonuçlar elde etmiştir. 20 problemin çözümünde ise aynı sonuçlar elde edilmiştir. Kalan 122 problemin çözümünde yeni önerilen YSA daha iyi sonuçlar vermiştir. Yüzde sapma miktarları göz önüne alındığında; tüm problemler için GA'nın ortalama % Sapma miktarı 0.488, yeni önerilen YSA'nın ortalama % Sapma miktarı 0,258 olarak ölçülmüştür.

Çözülen kıyaslama problemleri için genel sonuçlar dikkate alındığında, BATÇ problemleri için yeni oluşturulan YSA algoritmasının, GA'ya göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde değişik alanlarda birçok yapay zekâ sistemi kullanılmaktadır. Uzman sistemler, bulanık mantık, yapay sinir ağları bunlardan bazılarıdır. Yapay zekâ teknikleri ile oluşturulan sistemler sayesinde işlemler daha kısa sürede gerçekleşmektedir. Böylece işletmeler için önemli olan zaman faktöründen de kazanım sağlanmaktadır. Çizelgeleme alanında da bu teknikler kullanılmaya başlanmıştır. İşte bu aşamada karşımıza yapay zekâ tekniklerinden yapay sinir ağları çıkmaktadır. Birçok çizelgeleme problemlerinin çözümünde yapay sinir ağlarından yararlanılmıştır.

Atölye çizelgeleme problemleri, kombinatorik problemlerdendir. Bu tip problemlerde kısıtlar arttıkça çözüm uzayı sonsuza doğru gitmeye başlar ve tam optimum çözümü bulmak gittikçe zorlaşır. Bu nedenle son yıllarda bu tip problemleri çözmek için sezgisel algoritmalarla yararlanılmaya başlanılmıştır. Yapay sinir ağları da bu sezgisel algoritmalarındandır. Yapay sinir ağları, ürün ve proses tasarımı, çizelgeleme ve üretim sistemi tasarımı gibi problemlerin çözümünde uygulanmaktadır.

Atölyede yapılacak işler aynı rotaya sahip ise, yani tüm işler, aynı makineleri aynı sırada takip ediyorlar ise, bu ortam akış tipi olarak adlandırılır. Akış tipi problemlerinin önemli bir sınıfı beklemesiz kısıtı ile karakterize edilir. Yani işler ardışık makineler arasında veya üzerinde beklemeksizin sürekli olarak işlem görmek zorundadır. Beklemesiz akış sisteminde kesintisiz işlem zorunluluğu dolayısı ile gerektiğinde bir işin işleme başlaması, bir işlemin verilen bir makinede tamamlanması ile takip eden işlemin diğer makinede hemen başlamasını sağlayacak şekilde geciktirilebilir. Son yıllarda, beklemesiz çizelgeleme problemlerine olan ilgi ve bu noktada yapılan çalışmalar dikkate değer miktarda artmaktadır.

Araştırmada, BATÇ problemlerinin çözümünde YSA metodunun kullanılışı ve performansı incelenmiştir. Agarwal ve ark. (2006) tarafından geliştirilen ve akış tipi çizelgeleme problemlerine uygulanan YSA'da Adaptif Öğrenme Yaklaşımı, BATÇ

problemlerinin çözümü için önerilmiştir. Böylece ilk defa BATÇ problemlerinin çözümünde YSA kullanılmıştır.

Literatüre uygun rastsal olarak oluşturulan 192 adet BATÇ problem verisi öncelikle Aldowasian ve Allahverdi (2003) tarafından geliştirilen GA yardımıyla, yazılan delphi programında çözülmüştür. Aynı parametrelili problem verilerinin, Agarwal ve ark. (2006b) tarafından yapılan çalışmadaki aralıklar seçilerek, yine delphi programlama diliyle yazılan, önerilen yeni YSA programında çözümleri yapılmıştır. Her iki çözümlerin minimum tamamlanma zamanları (C_{max}) ve işlem süreleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca her iki algoritmaya ait çözümlerin yüzde sapmaları karşılaştırılmıştır

BATÇ için çözülen kıyaslama problemlerinden 50 tanesinde, Aldowasian ve Allahverdi (2003)'nin geliştirmiş olduğu GA daha iyi sonuçlar elde etmiştir. 20 problemin çözümünde ise aynı sonuçlar elde edilmiştir. Kalan 122 problemin çözümünde, yeni önerilen YSA daha iyi sonuçlar vermiştir.

BATÇ için çözülen kıyaslama problemlerinde yüzde sapma miktarları göz önüne alındığında; tüm problemler için GA'nın ortalama % Sapma miktarı 0.488, yeni önerilen YSA'nın ortalama % Sapma miktarı 0,258 olarak ölçülmüştür. İşlem süreleri karşılaştırıldığında çok farklılık görülmemektedir. GA için ölçülen en geç işlem süresi 00.00:156 iken, YSA için 00:000:110 olarak tespit edilmiştir.

Bu çalışmayla birlikte akış tipi çizelgeleme problemlerinin bir çeşidi olan BATÇ problemlerinin çözümünde YSA kullanılabilirliği ortaya konulmuştur. Ayrıca bilinen sezgisel yöntemlerin başında gelen GA'ya göre daha iyi sonuçlar verdiği ispat edilmiştir.

Bundan sonra çalışma konuları olarak, BATÇ problemlerinin diğer YSA teknikleriyle çözümleri gerçekleştirilerek, sonuçların daha da iyileştirilmesi amaçlanabilir. Ayrıca beklemesiz akış tipi çizelgeleme problemlerinin diğer meta sezgisel yöntemlerle çözümlerle optimum/optimuma yakın sonuçlar vermesi araştırılabilir.

6. KAYNAKLAR

1. **Agarwal, A., Çolak, S., Jacob, V.S., Pirkul, H. 2006a.** Heuristics and augmented neural networks for task scheduling with non-identical machines. *European Journal of Operational Research* 175, 296-317
2. **Agarwal, A., Çolak, S., Eryarsoy, E. 2006b.** Improvement heuristic for the flow-shop scheduling problem: An adaptive-learning approach. *European Journal of Operational Research* 169, 801-815
3. **Agarwal, A., Jacob, V.S., Pirkul, H. 2006c.** An improved augmented neural-netork approach for scheduling problems. *INFORMS Journal on Computing* Vol. 18, 119-128
4. **Akyol, D.E. 2004.** Application of neural networks to heuristic scheduling algorithms. *Computers & Industrial Engineering* 46, 679–696
5. **Akkaya, G., Gökçen, T. 2006.** Job-shop scheduling design with artificial neural networks. *Journal of Engineering and Natural Sciences*. Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
6. **Akyol, D.E., Bayhan, G.M. 2007.** A review on evolution of production scheduling with neural networks. *Computers & Industrial Engineering* 53, 95-122
7. **Aldowaisan, T., Allahverdi, A. 2004.** New heuristics for m-machine no-wait flowshop to minimize total completion time. *Omega* 32, 345 – 352
8. **Aldowaisan, T., Allahverdi, A. 2003.** New heuristics for no-wait flowshops to minimize makespan. *Computers & Operations Research* 30, 1219–1231
9. **Aldowaisan, T. 2001.** A new heuristic and dominance relations for no-wait flowshops with setups. *Computers & Operations Research* 28, 563-584
10. **Allahverdi, A., Aldowaisan, T. 2004.** No-wait flowshops with bicriteria of makespan and maximum lateness. *European Journal of Operational Research* 152, 132–147
11. **Baykasoğlu, A., Özbakır, L. 2004.** Yapay Sinir Ağları ile Teslim Tarihi Belirleme. YA/EM'2004 - Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği - XXIV Ulusal Kongresi, Gaziantep - Adana

12. **Bertolissi, E. 2000.** Heuristic algorithm for scheduling in the no-wait flow-shop. *Journal of Materials Processing Technology* 107, 459-465
13. **Birogul S. 2005.** Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Atölye Çizelgeleme, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
14. **Bouquard, J.L., Billaut, J.C., Kubzin, M.A., Strusevich, V.A. 2005.** Two-machine flowshop scheduling problems with no-wait jobs. *Operations Research Letters* 33, 255-262
15. **Ceran, G. 2006.** Esnek Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Veri Madenciliği ve Genetik Algoritma Kullanılarak Çözülmesi. Selçuk Üniversitesi. Fen Bilimler Enstitüsü. Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi. Konya
16. **Chang, J., Gong, D., Ma, X. 2007.** A heuristic genetic algorithm for no-wait flowshop scheduling problem. *China Univ Mining & Technol* 17, 0582 – 0586
17. **Chen, R.M., Lo, S.T., Huang, Y.M. 2007.** Combining competitive scheme with slack neurons to solve real-time job scheduling problem. *Expert Systems with Applications* 33, 75-35
18. **Chen, R.M., Huang, Y.M. 2001.** Competitive neural network to solve scheduling problems. *Neurocomputing* 37, 177-196
19. **Cheng, T.C.E., Liu, Z. 2003.** Approximability of two-machine no-wait flowshop scheduling with availability constraints. *Operations Research Letters* 31, 319 – 322
20. **Csáji, B.C., Monostori, L., Kádár, B. 2006.** Reinforcement learning in a distributed market-based production control system. *Advanced Engineering Informatics* 20, 279–288
21. **Dannenbring, D.G. 1977.** An evaluation of flowshop sequencing heuristics. *Management Science* 23, 1174-1182
22. **Dileepan, P. 2004.** A note on minimizing maximum lateness in a two-machine no-wait flowshop. *Computers & Operations Research* 31, 2111–2115
23. **Efe, Ö., Kaynak, O. 2004.** Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul
24. **Elmas, Ç. 2003.** Yapay Sinir Ağları, Seçkin Yayıncılık, Ankara

25. **Eren, D. 2001.** Application of Neural Networks to heuristic scheduling algorithms. The thesis of Master of Science Dokuz Eylül University. Engineering and Science Institute. İzmir
26. **Eren, T., Güner, E. 2005** İki ölçütlü beklemesiz akış tipi çizelgeleme problemi: Toplam tamamlanma zamanı ve maksimum gecikme. V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, İstanbul Ticaret Üniversitesi, 25-27 Kasım 2005
27. **Ergezer, H., Dikmen, M. ve Özdemir, E. 2003.** Yapay sinir ağları ve tanıma sistemleri. PiVOLKA, 2(6), 14-17.
28. **Espinouse, M.L., Formanowicz, P., Penz, B. 1999.** Minimizing the makespan in the two-machine no-wait flow-shop with limited machine availability. Computers & Industrial Engineering 37, 497-500
29. **Feng, S., Li, L., Cen, L., Huang, J. 2003.** Using MLP networks to design a production scheduling system. Computers & Operations Research 30, 821–832
30. **Fourie, C.J. 2005.** Intelligent scheduling using a neural network model in conjunction with reinforcement learning. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers; 219, 2; ProQuest Science Journals pg.229
31. **Fonseca, D.J., Navarrese, D. 2002.** Artificial neural networks for job shop simulation. Advanced Engineering Informatics 16, 241–246
32. **Gangadharan, R., Rajendran, C. 1993.** Heuristic algorithms for scheduling in the no-wait flowshop. International Journal of Prpduction Economics 32, 285-290
33. **Gaafar, L.K., Choueiki, M.H. 2000.** A neural network model for solving the lot-sizing problem. Omega 28, 175-184
34. **Gözen, Ş. 2007.** Bulanık Esnek Akış Tipi Çok Prosesli Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma Ve Tavlama Benzetimi İle Çözümü. Selçuk Üniversitesi. Fen Bilimler Enstitüsü. Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. Konya
35. **Gupta, J.N.D., Strusevich, V.A., Zwaneveld, C.M. 1997.** Two-stage no-wait scheduling models with setup and removal times separated. Computers and Operations Research Vol. 24, 1025-1031

- 36. Güvenç, U., Biroğlu, S., Sönmez, Y. 2007.** Yapay Sinir Ağları Eğitim Seti. 7th International Educational Technology Conference, 3-5 May, Near East University-North Cyprus
- 37. Kaya, S. 2006.** Operasyonel Sabit İş Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritmalar ile Çözümü. Selçuk Üniversitesi. Fen Bilimler Enstitüsü. Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. Konya
- 38. Kaya, İ., Oktay, S., Engin, O. 2005.** Kalite Kontrol Problemlerinin Çözümünde Yapay Sinir Ağlarının Kullanımı. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 21 (1-2), 92-107
- 39. Kalczynski, P.J., Kamburowski, J. 2007.** On no-wait and no-idle flow shops with makespan criterion. European Journal of Operational Research 178, 677–685
- 40. Kurt, A. 2003.** Simülasyon-Yapay Sinir Ağı İle Esnek Üretim Sistemi Tasarımı. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 18, No 2, 31-38
- 41. Keçe, A. 2006.** Yapay Sinir Ağları İle Plastik Enjeksiyon Süreci Başlangıç Parametrelerinin Belirlenmesi. Uludağ Üniversitesi. Fen Bilimler Enstitüsü. Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. Bursa
- 42. Lagerholm, M., Peterson, C., Söderberg, B. 2000.** Airline crew scheduling using Potts mean field techniques. European Journal of Operational Research 120, 81-96
- 43. Lee, I., Shaw, M.J. 2000.** A neural-net approach to real time flow-shop sequencing. Computers & Industrial Engineering 38, 125-147
- 44. Lee, H.C., Dagli, C. H. 1997.** A parallel genetic-neuro scheduler for job-shop scheduling problems. Int. J. Production Economics 51, 115-122
- 45. Lee, J.K., Lee, K.J., Park, H.K., Hong, J.S., Lee, J.S. 1997.** Developing scheduling systems for Daewoo Shipbuilding: DAS Project. European Journal of Operational Research 97, 380-395
- 46. Lia, D.C., SenWua, C., Tsaib, T.I., Lina, Y.S. 2007.** Using mega-trend-diffusion and artificial samples in small data set learning for early flexible manufacturing system scheduling knowledge. Computers & Operations Research 34, 966–982

47. **Lin, B.M.T., Cheng, T.C.E. 2001.** Batch scheduling in the no-wait two-machine flowshop to minimize the makespan. *Computers & Operations Research* 28, 613-624
48. **McMullen, P.R. 2001.** A Kohonen self-organizing map approach to addressing amultiple objective, mixed-model JIT sequencing problem. *Int. J. Production Economics* 72, 59-71
49. **Nguyen, H.H., Chan, C.W. 2006.** Applications of artificial intelligence for optimization of compressor scheduling. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 19, 113–126
50. **Oulamara, A. 2007.** Makespan minimization in a no-wait flow shop problem with two batching machines. *Computers & Operations Research* 34, 1033–1050
51. **Öztemel, E. 2003.** *Yapay Sinir Ağları*, Papatya Yayıncılık, İstanbul
52. **Pan, Q.K., Tasgetiren, M.F., Liang, Y.C. 2007.** A discrete particle swarm optimization algorithm for the no-wait flowshop scheduling problem. *European Journal of Operational Research* [10.1016/j.cor.2006.12.030](https://doi.org/10.1016/j.cor.2006.12.030)
53. **Park, Y., Kima, S., Lee, Y.H. 2000.** Scheduling jobs on parallel machines applying neural network and heuristic rules. *Computers & Industrial Engineering* 38, 189-202
54. **Pirim, H. 2004.** *Yapay Zeka*, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Yaşar Üniversitesi, İstanbul
55. **Raaymakers, W.H.M., Weijters, A.J.M.M. 2003.** Makespan estimation in batch process industries: A comparison between regression analysis and neural networks. *European Journal of Operational Research* 145, 14-30
56. **Sağiroğlu, Ş., Beşdok, E., Erler, M. 2003.** *Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları:1 Yapay Sinir Ağları*, Ufuk Yayıncılık, Kayseri
57. **Saraç, T. 2004.** *Yapay Sinir Ağları Seminer Projesi*, Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara
58. **Seçme, G. 2006.** Akıts tipi çizelgeleme problemlerinin yapay sinir ağları ile modellenmesi. Erciyes Üniversitesi. Sosyal Bilimler Enstitüsü. İşletme Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. Kayseri

- 59. Shiuea, Y.R., Guh, R.S. 2005.** Learning-based multi-pass adaptive scheduling for a dynamic manufacturing cell environment. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 22, 203–216
- 60. Shyu, S.J., Lin, B.M.T., Yin, P.Y. 2004.** Application of ant colony optimization for no-wait flowshop scheduling problem to minimize the total completion time. *Computers & Industrial Engineering* 47, 181–193
- 61. Sidney, J.B., Potts, C.N., Sriskandarajah C. 2000.** A heuristic for scheduling two-machine no-wait flow shops with anticipatory setups. *Operations Research Letters* 26, 165-173
- 62. Song, L., Wang, P., Abourizk, S. 2006.** A virtual shop modeling system for industrial fabrication shops. *Simulation Modelling Practice and Theory* 14, 649-662
- 63. Spieksma, F.C.R., Woeginger, G.J. 2005.** The no-wait flow-shop paradox. *Operations Research Letters* 33, 603 – 608
- 64. Su, L.H., Lee, Y.Y. 2007.** The two-machine flowshop no-wait scheduling problem with a single server to minimize the total completion time. *Computers and Operations Research* [10.1016/j.cor.2007.01.002](https://doi.org/10.1016/j.cor.2007.01.002)
- 65. Svetlana, A. K. 1998.** A polynomial algorithm for a two-machine no-wait job-shop scheduling problem. *European Journal of Operational Research* 106, 101-107
- 66. Şen, Z. 2004.** *Yapay Sınır Ağları İlkeleri*, Su Vakfı Yayınları, İstanbul
- 67. Wang, G., Cheng, T.C.E. 2001.** Heuristics for two-machine no-wait flowshop scheduling with an availability constraint. *Information Processing Letters* 80, 305–309
- 68. Wang, X., Cheng, T.C.E. 2006.** A heuristic approach for tow-machine no-wait flowshop scheduling with due dates and class setups. *Computers & Operations Research* 3, 1326–1344
- 69. Wang, Z., Xing, W., Bai. F. 2005.** No-wait flexible flowshop scheduling with no-idle machines. *Operations Research Letters* 33, 609 – 614

- 70. Xie, J., Xing, W., Liu, Z., Dong, J. 2004.** Minimum deviation algorithm for two-stage no-wait flowshops with parallel machines. *Computers and Mathematics with Applications* 47, 1857-1863
- 71. Yildirim, M.B., Cakar, T., Doguc, U., Meza, J.C. 2006.** Machine number, priority rule, and due date determination in flexible manufacturing systems using artificial neural Networks. *Computers & Industrial Engineering* 50, 185–194
- 72. Yurtoğlu, H. 2005.** Yapay Sinir Ağları Metodolojisi İle Öngörü Modellemesi: Bazı Makroekonomik Değişkenler İçin Türkiye Örneği, DPT – Uzmanlık Tezleri Yayın No: 2683