

# İMALAT SİSTEMLERİNİN TASARIMINDA NÖROTİK TAHLAMA BENZETİMİ YAKLAŞIMININ KULLANILMASI

Tarık ÇAKAR<sup>1</sup>, Serdar ÖZER<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya  
tcakar@sakarya.edu.tr

<sup>2</sup>Trakya Üniversitesi, Trakya Üniversitesi Rektörlüğü, Edirne  
serdarozer@trakya.edu.tr

**Özet:** Üretim sistemlerinin tasarımında simülasyon yöntemi kullanılması kaçınılmaz yöntemlerden birisidir. Fakat elenmesi gereken pek çok çözüm alternatifi varsa simülasyon metodunun yanında kullanılması gereken başka metotlarda vardır. Bu metotlardan en çok kullanılanları başta yapay sinir ağları, sonra genetik algoritmalar, tahlama benzetimi, parçacık sürü optimizasyonu gibi arama algoritmalarıdır. Bu çalışmada simülasyon çalışması sonucu elde edilen imalat sistemine ait performans ölçütleri kullanılarak Yapay Sinir Ağı (YSA) eğitilmiştir. Yani YSA'ya istenilen performans ölçüleri girildiğinde, YSA her bir makine merkezindeki olması gereken makine sayısını vermektedir. Bunun yanında imalat sistemlerinin performansını etkileyen en önemli faktör sistemde kullanılan öncelik kurallarıdır. Bu sebeple simülasyon işlemini yaparken makine merkezlerindeki makine sayılarının değiştirilmesinin yanı sıra farklı öncelik kuralları da kullanılarak sistemin performans ölçütleri elde edilmiştir. Kullanılan öncelik kuralları SPT, EDD, CR, FCFS olmuştur. Her bir öncelik kuralı için farklı bir YSA eğitilmiştir. Çözüm elde etmek için istenilen performans ölçütleri eğitilen bu dört farklı YSA ya verilir. Elde edilen sonuçlar tekrar simülasyon prosesi uygulanarak performans ölçüleri elde edilir. İstenilen performans ölçülerine en yakın performans değerleri çözüm olarak alınır. Alınan bu çözümden daha iyi bir çözüm olup olmadığının araştırılması için ise Tahlama Benzetimi yaklaşımı kullanılır. Eğitilen YSA'ların %0.5 hata verme olasılığı vardır. Bu yüzden az bir olasılıkla da olsa gözden kaçan iyi bir çözüm varsa bunu yakalamak için Tahlama Benzetimi yaklaşımı kullanılmıştır. Alınan 100 farklı çözümün 12 tanesinde YSA dan elde edilen çözümden daha iyi bir çözüm elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Tahlama benzetimi, yapay sinir ağları, imalat hücresi tasarımı

## Using Neuro-Simulated Annealing Approach to Design Manufacturing Systems

**Abstract:** The usage of simulation methods is one of indispensable methods in the design of production systems. However, if there are some other solution alternatives to be eliminated, there should be some other solution methods to be used with simulation method. The most used methods for this purpose are mainly artificial neural networks (ANN), then genetic algorithms, simulated annealing, particle swarm optimization. In this study, an artificial neural network has been trained by using obtained performance criterion belonging production system as a result of simulation studies. In other words, when the performance criteria are entered to ANN, ANN gives the number of machines that should be in each machine center. Additionally, the most important factor affecting the performance of production systems is the priority rules used in the system. Therefore, in addition to changing the number of machines during the implementation of the simulation process in the machine centers performance criteria of the system have been obtained by using various priority rules. The used priority rules have been SPT, EDD, CR, FCFS. For each priority rule different neural network has been trained. To obtain the solution, required performance criteria are given to these trained four neural networks. The performance criteria are obtained by re-simulation of the obtained results. The nearest performance values to the performance criteria are taken as solution. The simulated annealing approach is used to investigate whether there is a better solution than this taken solution. There is error possibility of the trained neural networks as %0.5. Therefore, simulated annealing approach has been used to capture better solution missed if there is. %12 of the solutions among the obtained different solutions have been found better than the solutions obtained by using ANN.

**Keywords:** Simulated Annealing, Artificial Neural Networks, Manufacturing Cell Design

## GİRİŞ VE LİTERATÜR TARAMASI

Toplu imalat, toplam imalat aktiviteleri içindeki anlamlı payından dolayı dikkate alınan bir konudur. Günümüzdeki mevcut rekabetçi pazar yapısı sebebiyle, toplu imalatta müşteri ihtiyaçlarına cevap vermek için çok fazla sayıda ürünü küçük hacimlerde üretmek ve bu üretimi fiyat rekabeti sağlayacak şekilde yapmak gerekmektedir. Atölye tipi yada akış tipi atölye gibi konvansiyonel üretim

sistemlerinde bunu sağlamak çok zordur, bu yüzden grup teknolojisi kullanarak konvansiyonel sistemlerin zorlukları giderilmiştir (Shafer, 1991). Hücreli imalat, günümüzün kısa dönemli ürün hayat çevrimi, yüksek ürün çeşitliliği, tahmin edilemeyen talep, kısa teslim süreleri, her bir periyotta farklı ürün çeşitleri ve miktarları gibi dinamik koşullar altında işlevini yerine getirmek zorundadır. Hücreli imalat sistemlerinin atölye

tipi, akış tipi gibi klasik imalat sistemlerine göre çok sayıda avantajı vardır (Rheault ve ark., 1995). Literatürde farklı optimizasyon tipleri kullanılarak çok sayıda başarılı uygulamalar yapılmıştır.

Wei and Gaither (Wei ve ark.,1990) ortalama hücre kullanımını maksimize ederken, darboğaz maliyetini, iç hücre yükleme dengesizliklerini ve hücreler arası yükleme dengesizliklerini minimize eden dört amaç fonksiyonlu bir model geliştirdi. Venugopal ve Naredran hücre içi ve hücreler arası parça hareketlerini eş zamanlı olarak minimize eden iki kriterli bir matematiksel model önerdi, ayrıca toplam hücre yük değişimini minimize eden bir genetik algoritma uyguladı (Venugopal ve ark-1., 1992), (Venugopal ve ark-2., 1992). Gupta hücre içi ve hücreler arası toplam ağırlıklı hareketleri ve hücre yükleme değişimini eşanlı olarak minimize eden bir genetik algoritma tasarladı (Gupta, 1996). Defersha ve Chen çoklu zaman periyotlarında imalat hücresi oluşturmak için karşılaştırmalı matematiksel model ve iki fazlı genetik algoritma tabanlı sezgisel kullandı (Defersha ve ark-1.,2006), (Defersha ve ark-2.,2006) . Kion ve arkadaşları hücresel imalat sistemlerinde üretim planlama, dinamik olarak yeniden sistem yapılandırma ve çoklu yönlendirmeyi bütünleştiren karma tam sayılı doğrusal olmayan bir model geliştirdi (Kion ve ark., 2009). Hsu paralel tavlama benzetimi tabanlı bir çözüm prosedürü ortaya koydu, bu sistem makina yatırım maliyetini, hücre içi ve dışı taşıma maliyetlerini, hücre içi ve dışı yükleme dengesizliklerini minimize eden bir sistemdir (Su ve ark., 1998). Malakooti and Yang hücre şekillendirme problemini çözmek için çok kriterli karar alma modeli geliştirdi (Malakooti ve ark., 2002). Khoo ve arkadaşları imalat hücrelerine makina atanması için genetik algoritma tabanlı bir sistem önerdiler (Khoo ve ark., 2003). Mansouri ve arkadaşları XGA ismini verdikleri bir çok amaçlı genetik algoritma hazırladılar (Mansouri ve ark., 2000). Yasuda ve arkadaşları çok amaçlı hücre şekillendirme problemini çözmek için genetik algoritmalar gurubu kullandılar (Yasuda ve ark., 2005). Mahdavi ve arkadaşları dinamik hücresel imalat sistemi için matematiksel bir model önerdi, modelde işçi atama esnekliği vardı (Mahdavi ve ark., 2010). Solimanpur ve arkadaşları hücre şekillendirme problemini çözmek için karınca koloni optimizasyonu metodunu kullandı (Solimanpur ve ark., 2010). Chen and Srivastava hücre şekillendirme problemlerinin çözümünde kuadratik programlama tabanlı tavlama benzetimi yaklaşımını kullandı (Chen ve ark., 1994). Sofianopoulo bir matematiksel programlama modeli ile tavlama benzetimi yaklaşımını birleştirerek imalat hücrelerini tasarladı (Sofianopoulou, 1999).

Çakar ve Çil makina merkezlerindeki makina sayılarını belirleyen ve aynı zamanda makina

merkezlerinde kullanılacak olan yükleme kurallarını da belirlemek için yapay sinir ağı kullandılar (Çakar ve ark., 2004). Önerilen sistem istenilen performans ölçütlerine göre makina merkezlerindeki makina sayılarını ve kullanılması gerekli öncelik kurallarını belirliyordu. Chryssolouris and Lee makina merkezlerindeki makina sayılarını belirlemek için yapay sinir ağı kullandılar (Chryssolouris ve ark., 1990). Doğuş esnek imalat sistemlerinde makina merkezlerindeki makina sayılarını, öncelik kurallarını ve teslim tarihi atama metodunu ve teslim tarihini aynı anda belirleyen bir çalışma yaptı (Doğuş, 2001).

Bu çalışmada yapay sinir ağlarının verdiği çözümlerden daha iyi çözümler varsa bunlar Tavlama Benzetimi algoritmasıyla aranmaktadır. Yapay sinir ağlarının az da olsa hatalı çözüm verme olasılıkları olduğundan, bu hatalı çözümler Tavlama Benzetimi algoritmasıyla doğru çözümlere ulaşmaktadır.

## TAVLAMA BENZETİMİ

Tavlama benzetimi fiziksel tavlama olayını temel alan kombinatoriyal optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılan meta sezgisel bir tekniktir. İlk olarak 1983 yılında Kirkpatrick ve arkadaşları tarafından ortaya konmuştur (Kirkpatrick ve ark., 1983) . Tavlama benzetimi yaklaşım kombinatoriyal optimizasyon problemlerini tavlama prosesine benzeterek çözer. Bu yaklaşım istatistiksel fiziğin iki yaklaşımını temel alır: birincisi termodinamik dengede verilen bir E enerjisinde sistemin başarı olasılığı, ikincisi Metropolis algoritması denilen ve verilmiş bir ısıda, bir sistemin termodinamik dengesinin değerlendirilmesinin simülasyonunda kullanılabilen yaklaşımdır. Sistemin ısısını taklit etmek için bir kontrol parametresi girilir. Kabul edilebilir enerji durumlarının sayısı bu ısıyla kontrol edilir ve bu ısı kademeli olarak düşürülerek yerel optimal çözümlerin bulunmasına öncülük eder. Sistemde, mümkün olabilir çözüm sistemin kesin bir durumuna benzetilirken, enerji ise minimizasyon problemlerinde amaç fonksiyon değerine benzetilir. Nihai çözüm, sistemin soğumuş temel durumuna benzer (Schlunz ve ark., 2013).

Şekil 1'de görüleceği gibi, tavlama benzetimi bir başlangıç çözümü ile başlar (A), Başlangıç sıcaklığı (T), ve iterasyon sayısı (C). Sıcaklık, elde edilen çözümlerin kabul olasılığını kontrol eder. Belirli sayıda iterasyon yapmanın mantığı çözüm bulana kadar kaç tekrar yapmamız gerektiği ile ilgilidir. Yeni bir komşu çözüm (N), T ve C temel alınarak üretilir. Eğer amaç fonksiyonunda bir iyileşme gözlemlenirse, bu komşu çözüm (N) iyi bir çözüm olarak görülecektir. Amaç fonksiyonunda bir iyileşme gözlenmese bile eD/T yi temel alan olasılık karşılaştırması uygun çıkarsa kötü bir çözüm referans alınarak yeni komşu alternatif

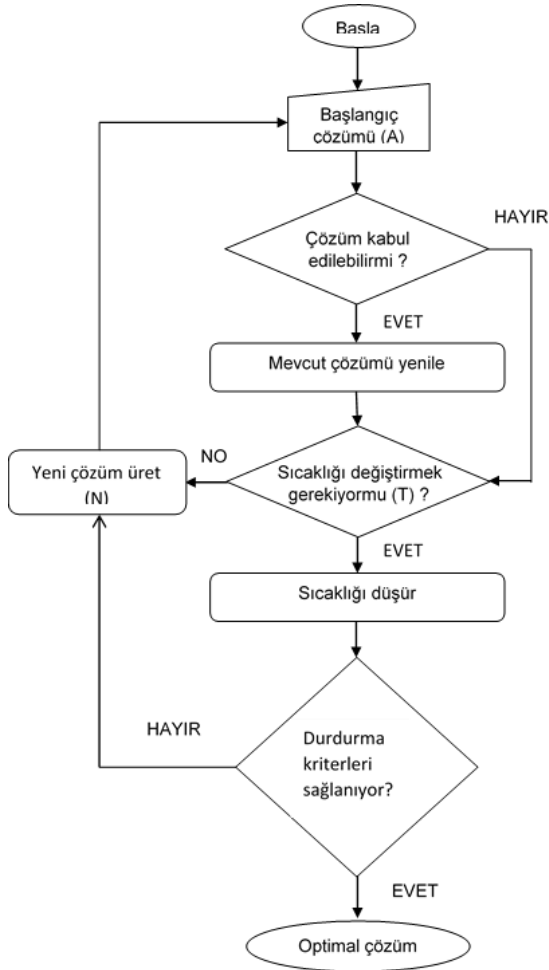
çözümler üretilir. Elde edilen iyi çözüm belirli bir sayıda tekrar ederse algoritmanın çalışması durdurulur (Koker, 2013), (Çakar ve ark. 2008).

Tavlama benzetiminin akış diyagramı Şekil 1'de görülebilir. Bilgisayar kodlamasını temsili (pseudo-code) ise aşağıda görüldüğü gibidir.

```

Initialize (A, C, T);
Repeat
  For l=1 to C do
    N=Perturb (A); (Yeni komşu çözüm üret)
    D=C(N)-C(A)
    If C(N)<=C(A) or
    (exp(-D/T)>Random(0,1))
      Then A=N;
    Endif
  Endfor;
Until (Durdurma kriterleri sağlanana kadar)
Stop;

```



Şekil 1: Tavlama benzetimi algoritmasının akış diyagramı

## NÖROTİK TAVLAMA BENZETİMİ YAKLAŞIMIYLA İMALAT SİSTEMİ TASARIMI

İmalat sistemleri hiyerarşik olarak dört seviyede ele alabilmekteyiz. Birinci seviyede Fabrikayı görmekteyiz. Fabrika bir ya da daha fazla atölyeden ibarettir. Atölyelerin her biri tek bir ürün ağacı üretir. Ayrıca her bir atölye bir yada daha fazla iş merkezine ayrılmıştır. En alt seviyede ise kaynaklar bulunmaktadır. Kaynakları makinalar olarak tanımlayabiliriz. Mesela tornalar, nümerik kontrollü frezeler veya insanlar kaynak olarak kullanılabilir. İmalat aktiviteleri ise her bir kaynakta işlem görecektir sıralanmış işler olarak modellenmektedir. Burada ortaya konulan problem belirli performans ölçülerini yerine getirebilecek imalat sistemlerini tasarlamaktır. Kaynak kullanımı, ortalama gecikme, ortalama akış zamanı, tamamlanma zamanı gibi ölçülerinin kombinasyonlarını bütünsel bir ölçü olarak ele alabiliriz. Bu ölçüleri göz önüne alarak her bir atölyenin iş merkezlerine gereken kaynak sayısını belirlemek şeklinde problemimizi ortaya koyabiliriz. Kaynak atama problemleri ile ilgili çok az sayıda kantitatif yaklaşım mevcuttur. Bu konuda değişik matematiksel programlama yaklaşımları ortaya konulmuştur. Genelde bu formülasyon büyük sayıda veri gerektirmektedir, ayrıca bu yaklaşımların her biri zor ve pahalı yaklaşımlardır. Ayrıca bu dezavantajları aşabilen daha basit matematiksel programlama teknikleri de geliştirilmiştir. Buna rağmen belirtilen çalışmalar gerçek imalat sistemlerinin performanslarına anlamlı bir katkı sağlayan faktörleri hesaplayamamaktadır, mesela kaynak yükleme problemi makina, güvenilirliği ve kaynakları işlerin atanmasındaki öncelik kuralları gibi. Simülasyon modelleri ise karmaşık imalat sistemlerinin performanslarını değerlendirmede uzun süreden beri kullanılmaktaydı. İmalat sistemlerinin tasarımında simülasyon kullanımına ilişkin literatür de oldukça zengindir. Fakat simülasyon çalışmalarının en önemli kısıtı optimal bir sistem tasarlayamamasıdır. Sadece tasarlanan sistemin uygun olup olmadığı konusunda bize yardımcı olabilir. Simülasyon yardımıyla sistem tasarlamak, çok sayıda deneme yapaya, hataları değerlendirmeye yani oldukça fazla zamanımızı alacak işlemlere ihtiyaç duymaktadır. Bu anlamda sadece sınırlı sayıda alternatif tasarımları değerlendirme konusunda simülasyona ihtiyaç duyulacaktır.

Bu çalışmada simülasyon ve yapay sinirsel ağ birleştirilerek istem tasarlama yoluna gidilmektedir. Burada yapay sinirsel ağ, simülasyon fonksiyonunun tersine bir işlem görmektedir. Yani yapay sinirsel ağın girdileri performans ölçüleri olmakta, çıktıları ise uygun imalat sistemi tasarımını temsil eder. Simülasyon işlemi yapıldıktan

tasarlanmış bir sisteme ait performans ölçüleri elde edilmektedir. Yapay sinirsel ağın eğitilmesi işleminde ise performans ölçüleri girdi olmakta, sonuçta ise uygun tasarım elde edilmektedir. Yani simülasyon işleminin tersine bir işlem yapılmaktadır. Yapay sinirsel ağ kullanılmasının sebebi de burada ortaya çıkmaktadır. Böyle bir teknik kullandığımız taktirde uygun performans verecek sistemin oluşturmaya kadar, değişik alternatif sistemleri denemek zorunda kalacağız. Bu ise zaman ve para kaybına yol açacak. Oysa yapay sinirsel ağlarda kısıtlı sayıda da olsa elde edilen veri seti ile sinirsel ağ eğitilecek ve bu eğitim sonucu öğrenme işlemini tamamlayacaktır. Öğrenme işlemini tamamlamış olan yapay sinirsel ağ' da istenilen performans ölçüleri verildiğinde, uygun

imalat sistemini bize tasarlayacaktır. Simülasyon işlemi SIMAN paketi ile gerçekleştirilmiştir. İşler makinaya atanırken SPT, EDD, CR, FCFS gibi 4 öncelik kuralı sistemde ayrı ayrı kullanılmıştır.

### DENEYSSEL TASARIM

İmalat sistemlerinin tasarım modellemesi için örnek bir imalat sistemi alınarak bu sistem simüle edilmiş ve elde edilen verilerle YSA ağı eğitilmiş ve test edilmiştir. İmalat sisteminde 4 adet makina merkezi vardır, her bir makina merkezinde en fazla 5 makina bulunmaktadır. İmalat sistemine yüklenecek işler ve rotaları aşağıda Tablo 1'de belirtilmiştir. Gelişler arası süre üstel dağılıma uymaktadır.

**Tablo 1.** Sistemdeki işlerin iş merkezlerindeki işlem süreleri ve rotaları

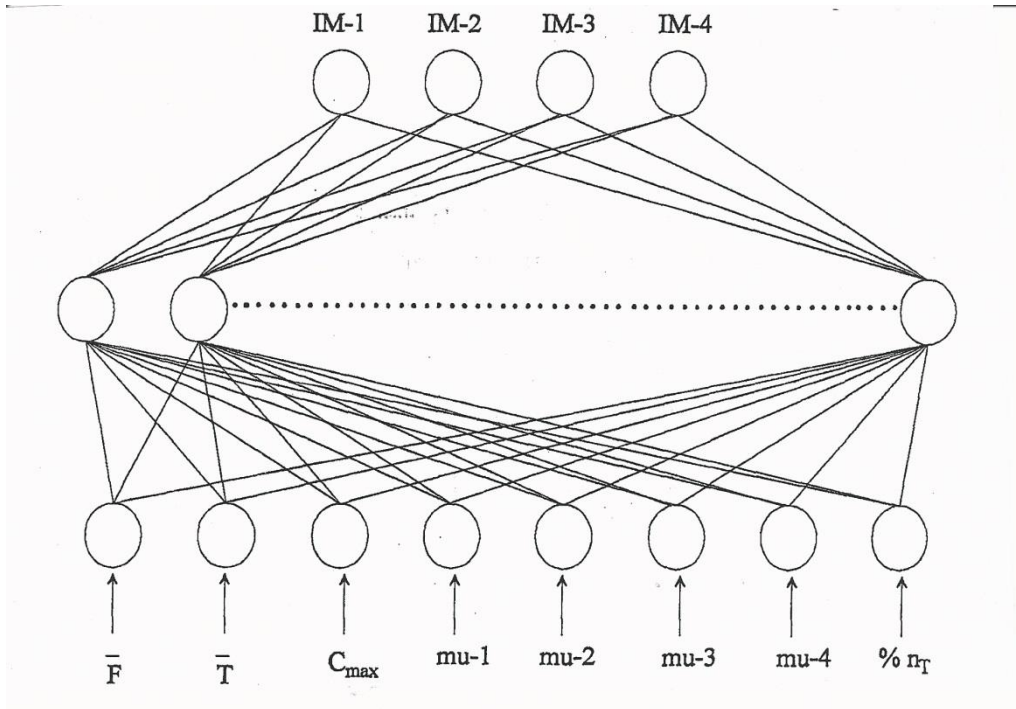
İŞ	GELİŞLER ARASI SÜRE	PARCA SAYISI	İM-1	İM-2	İM-3	İM-4
J1	20	17	24	12	21	5
J2	15	50	25	21	9	3
J3	12	30	18	25	-	-
J4	17	17	-	25	15	-
J5	10	43	32	25	22	25
J6	14	43	-	-	40	15

Yapılan simülasyon işlemi sonucu aşağıda verilen performans ölçüleri elde edilmiştir. Bu performans ölçülerine ait değerler iş merkezlerindeki makina sayılarına göre elde edilmektedir. Sistemin amacı istenilen performans ölçü değerlerine göre makina merkezlerindeki makina sayılarını tasarlamaktır. Performans ölçüleri ortalama akış zamanı (F), ortalama gecikme (T), tamamlanma zamanı (Cmax), iş merkezlerindeki ortalama makina kullanım oranı (mu) ve geciken

işlerin yüzdesi (% n<sub>T</sub>). YSA simülasyon işleminin tersine işlem yapmaktadır, YSA ya girdi olarak performans ölçüleri verilmekte ve çıktı olarak da makina merkezlerindeki makina sayıları alınmaktadır, kullanılan YSA'nın yapısı Şekil 2'de görülmektedir. Sistemde SPT, EDD, CR, FCFS öncelik kuralları kullanılmıştır. Her bir öncelik kuralı için ayrı bir YSA eğitilmiştir. Kullanılan eğitime ve test parametreleri Tablo 2'de görülmektedir.

**Tablo 2.** Kullanılan YSA'ların eğitime ve test parametreleri

	SPT	EDD	CR	FCFS
Eğitime setindeki örnek sayısı	100	100	100	100
Eğitime setindeki öğrenilen örnek yüzdesi	% 100	% 100	% 100	% 100
Test setindeki örnek sayısı	200	200	200	200
Test setinin başarı oranı	% 99,5	% 100	% 99,5	% 100
Aktivasyon fonksiyonu	Sigmoidal	Sigmoidal	Sigmoidal	Sigmoidal
İterasyon sayısı	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000
Öğrenme oranı	0,35	0,35	0,34	0,35
Momentum oranı	0,65	0,65	0,66	0,65



Şekil 2. Kullanılan geriye yayılım yapay sinir ağının yapısı

### SAYISAL UYGULAMA

Tablo 3 de sisteme girilen performans ölçülerine göre, YSA ların verdiği cevaplar görülmektedir. YSA nın verdiği çözümlere göre en iyi seçenek 3 2 3 1 FCFS seçeneği olmaktadır. Yani 1. İş merkezinde 3 makina, ikincisinde 2 makina, ikincisinde 3 makina ve dördüncüsünde 1 makina

olacaktır ve sistemde öncelik kuralı olarak FCFS kullanılacaktır. Fakat Tablo 2'ye bakılırsa YSA'nın %0.5'de olsa hatalı çözüm verme olasılığı vardır. Bu sebeple başka çözümler olup olmayacağı araştırılacaktır. Bunun için de tavlama benzetimi yöntemi kullanılacaktır.

Tablo 3. Girilen performans ölçülerine göre YSA ların vereceği cevaplar.

EĞİTİLMİŞ YSA'YA VERİLEN PERFORMANS ÖLÇÜLERİ		YSA'NIN VERDİĞİ CIKTIKLAR VE HATA ANALİZLERİ							
		SPT		EDD		CR		FCFS	
		DEĞER	HATA	DEĞER	HATA	DEĞER	HATA	DEĞER	HATA
<b>F</b>	650	562	13.5	580	10.7	700	7.7	664	2.1
<b>T</b>	400	423	5.7	391	2.2	450	12.5	396	1
<b>C<sub>max</sub></b>	2000	1841	7.9	1791	10.4	1700	15.0	1751	1.,4
<b>mu-1</b>	0.60	0.69	9	0.71	11	0.73	13	0.72	12
<b>mu-2</b>	0.90	0.93	3	0.95	5	0.99	9	0.97	7
<b>mu-3</b>	0.70	0.66	4	0.68	2	0.70	0	0.70	0
<b>mu-4</b>	0.90	0.86	4	0.88	2	0.91	2	0.91	1
<b>% nr</b>	0.80	0.76	4	0.77	3	0.38	5	0.85	5

### TAVLAMA BENZETİMİ İÇİN MODELLEME

Tavlama benzetimi yaklaşımında yeni çözümler üretmek için iki farklı operatör kullanılmıştır. Birincisi yer değiştirme operatörü, diğeri ise ters sıralama operatörü. Bunların nasıl çalıştığı aşağıda açıklanmıştır.

#### Yer değiştirme operatörü

Mesela aşağıda verilen çözüm için yer değiştirme operatörü uygulanarak yeni çözüm elde etme prosedürü aşağıdaki gibidir;

Çözüm;

1	2	3	4	SPT
---	---	---	---	-----

Burada rassal olarak 1 ve 3 sayılarını seçmiş olalım bunların yerini değiştirirsek aşağıdaki yeni çözüm alternatifini elde ederiz.

Yeni çözüm alternatifi :

3	2	1	4	SPT
---	---	---	---	-----

Eğer rassal seçimde öncelik kuralı denk gelirse o zaman yer değiştirme işlemi yapmayıp öncelik kuralını değiştireceğiz. Bir ile 4 arasında bir rassal sayı üretilip ona göre yeni öncelik kuralımızı belirleyeceğiz. 1-SPT, 2- EDD, 3-CR, 4-FCFS. Eğer tekrar aynı öncelik kuralı denk gelirse işlemi yenileyeceğiz. Yukarıdaki çözüm için rassal olarak seçim yaptığımızda öncelik kuralının seçtiğimizi düşünelim, SPT kuralının yerine yeni bir kural atayacağız demektir. Mesela rassal olarak 3

sayısının geldiğini düşünelim, 3 sayısı CR ye denk gelir, dolayısıyla yeni çözüm alternatifimiz aşağıdaki gibidir.

Yeni çözüm :

1	2	3	4	CR
---	---	---	---	----

#### Ters sıralama operatörü

Aşağıda verilen çözüm için rassal olarak 2-3-4 sırasını seçtiğimizi düşünelim.

Çözüm;

1	2	3	4	SPT
---	---	---	---	-----

Yeni çözüm;

1	4	3	2	SPT
---	---	---	---	-----

Eğer sıralama noktaları rassal olarak belirlenirken öncelik kuralı denk gelirse, yukarıda anlattığımız prosedür aynen uygulanacaktır. Tavlama benzetimi uygulamasında Geometrik oran kullanıldı,  $T_{k+1} = T_k$ , başlangıç sıcaklığı 10000 derecedir ve soğutma oranı 0.95 olarak alınmıştır. Tavlama benzetimi yaklaşımı ile başarıları %99.5 olan YSA'nın başarıları Tavlama Benzetimi yaklaşımı sayesinde %100'e yükselmiştir. Tavlama benzetimi yaklaşımı ile girilen 300 farklı örnekten 26 tanesinin sonucu daha iyi bir çözüme ulaşmıştır. Yukarıda verilen sayısal örneğin çözümüne Tavlama Benzetimi uygulanarak daha iyi bir çözüm elde edilmiştir. Sonuç Tablo 4'te görülmektedir.

**Tablo 4.** YSA'lardan elde edilen tasarımlara Tavlama Benzetimi uygulandıktan sonra elde edilen sonuçlar

		YSA'NIN VERDİĞİ ÇIKTILAR VE HATA ANALİZLERİ							
		SPT		EDD		CR		FCFS	
		3 2 3 1		3 2 3 1		3 2 3 1		3 2 3 1	
EĞİTİLMİŞ YSA'YA VERİLEN PERFORMANS ÖLÇÜLERİ		DEĞER	HATA	DEĞER	HATA	DEĞER	HATA	DEĞER	HATA
<b>F</b>	650	562	13.5	580	10.7	652	0.03	664	2.1
<b>T</b>	400	423	5.7	391	2.2	401	0.7	396	1
<b>C<sub>max</sub></b>	2000	1841	7.9	1791	10.4	1933	3.3	1751	12.4
<b>mu-1</b>	0.60	0.69	9	0.71	11	0.71	11	0.72	12
<b>mu-2</b>	0.90	0.93	3	0.95	5	0.93	3	0.97	7
<b>mu-3</b>	0.70	0.66	4	0.68	2	0.70	0	0.70	0
<b>mu-4</b>	0.90	0.86	4	0.88	2	0.91	1	0.91	1
<b>% NT</b>	0.80	0.76	4	0.77	3	0.75	5	0.85	5

Daha önce elde edilen en iyi çözüm 3-2-3-1 FCFS iken Tavlama Benzetimi uygulandıktan sonra

daha iyi çözüm olan 3-2-3-1 CR çözümü elde edilmiştir.

## SONUÇLAR

Yapay sinir ağları doğrusal olmayan ilişkileri modellemede kullanılan çok etkili bir araçtır. İmalat sistemlerinin problemlerinin çözümünde ve tasarımlarında çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. İmalat sistemlerinin simülasyon işlemiyle tasarımı deneme yanılmaya dayalı zaman alıcı bir işlemdir. Her bir alternatif için simülasyon işlemi yapıldı değerlendirilmeye tabi tutulur. Her seferinde simülasyon yapılması oldukça önemli bir zaman kaybı anlamına gelmektedir. Ama simülasyon işlemi yani tasarım prosesi YSA ya öğretilirse çok fazla deneme yapmadan kolayca imalat sistemini tasarlayabiliriz. Burada YSA simülasyon işleminin tersine yönde çalışacaktır. Dolayısıyla istediğimiz performans ölçülerini YSA ya verip kolayca imalat sisteminin konfigürasyonunu elde edebilmekteyiz. Fakat az da olsa YSA'nın hata verme olasılığı olduğundan hem bu hatayı gidermek hem de daha iyi bir çözüm olup olmadığını araştırmak için Tavlama Benzetimi yaklaşımı kullanılmış ve 100 adet örnekten 12 tanesinde daha iyi bir çözüm bulunmuştur. Sistemin hibrid olması çözüme daha da mükemmellik kazandırmıştır.

## KAYNAKLAR

1. CAKAR, T., CIL, I., "Artificial Neural Networks for design of manufacturing systems and selection of priority rules", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, vol.17, 3: 195-211, 2004.
2. CAKAR T. , YAZGAN, HR, KOKER, R., "Parallel robot Scheduling with genetic algorithms", Parallel robot manipulators, New Developments. In: Ryu J-H (Ed), Vienna, I-Tech Education and Publishing, 2008, pp. 153-170.
3. CHEN, W.H., SRIVASTAVA, B., "Simulated annealing procedures for forming machine cells in group technology", 75: 100-111, 1994.
4. CHRYSSOLOURIS, G., LEE, M. , "Use of neural networks for design of manufacturing systems", Manufacturing Review, vol.3, 3: 187-194, 1990.
5. DEFERSHA, F., CHEN,M., "A comprehensive mathematical model for the design of cellular manufacturing systems", International Journal of Production Economy, 103: 767-783, 2006.
6. DEFERSHA, F., CHEN,M., "Machine cell formation using a mathematical model and a genetic-algorithm-based heuristic", International Journal of Production Research, vol.44, 12: 2421-2444, 2006.
7. DOGUC, U., Doguc, "Esneklik imalat sistemlerinde makina sayılarının ve teslim tarihinin belirlenmesinde yapay sinir ağlarının kullanılması", PhD dissertation, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2001.
8. GUPTA,Y. GUPTA, A. KUMAR, A., SURDARAM, C., "A genetic algorithm-based approach to cell composition and layout design problems", International Journal of Production Research, 34.:447-482, 1996.
9. KHOO, L.P., LEE, S.G., YEN, X.F., "Multi-objective optimization of machine cell layout using genetic algorithm", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 16: 140-155, 2003.
10. KIRKPATRICK, S, GELATT, CD, VECCHI, MP., "Optimization by simulated annealing", Science, vol.220, 4598: 671- 680, 1983.
11. KIOONS, S.A., GULGAK, A.A., BEKTAS, T. "Integrated cellular manufacturing systems design with production planning and dynamic system reconfiguration", European Journal of Operational Research, 192: 414-428, 2009.
12. KOKER R., "A neuro-simulated annealing approach to the inverse kinematics solution of redundant robotic manipulators", Engineering With Computers, Vol. 29, 4: 507-515, 2013.
13. MALAKOOTI, B., YANG, Z., "Multiple criteria approach and the generation of efficient alternatives for machine-part family formation in group technology", IIE Transaction, 34., 837-846, 2002.
14. MANSOURI, S.A., MOATTAR-HUSSEINI, S.H., ZEGORDI, S.H., "A genetic algorithm for multiple objective dealing with exceptional elements in cellular manufacturing", Production Planning Control, vol.14, 5:437-446, 2000.
15. MAHDAVI, I., ALAEI, A., PAYDAR, M.M., SOLIMANPOUR, M., "Designing a mathematical model for dynamic cellular manufacturing systems considering production planning and worker assignment", Computational Mathematic with Applications, 3: 74-82 , 2010.
16. RHEAULT, M., DROLET, J., ABOULNOUR, G., "Physically reconfigurable virtual cells: a dynamic model for a highly dynamic environment", Computers and Industrial Engineering, vol.29, 1-4: 221-225, 1995.
17. SCHLUNZ, E.B., VAN HUUREN, J.H., "An investigation into the effectiveness of simulated annealing as a solution approach for the generator maintenance scheduling problem, Electrical Power and Energy Systems, 53: 166-174, 2013.
18. SHAFER, S.M., "A gola programming approach to cell formulation problems", Journal of Operational Management, 10: 28-43, 1991.
19. SOLIMANPOU, M., SAEEDI, I., MAHDAVI, I., "Solving cell formation problem in cellular manufacturing using ant-colony-based optimization", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol.50, 9-12: 1135-1144, 2010.
20. SOFIANOPOULOU, S., "Manufacturing cells design with alternative process plans and or replicate machines", International Journal of Production Research, vol.37, 3: 707-720., 1999.
21. SU, C-T., HSU, C-M., "Multi-objective machine-part cell formation through parallel simulated annealing", International Journal of Production Research, 36: 2185-2207, 1998.
22. VENUGOPAL, V., NARENDRAN, T,T, "A genetic algorithm approach to the machine-component grouping problem with multiple objectives ", Computers and Industrial Engineering, 22: 469-480, 1992.

23. VENUGOPAL, V., NARENDRAN, T,T, “Cell formation in manufacturing systems through simulated annealing: an experimental evaluation”, *European Journal of Operational Research*, 63:409-422, 1992.
24. WEI, J.C., GAITHER, N., “A capacity constrained multi-objective cell formation method”, *Journal of Manufacturing Systems*, 9: .222-232, 1990.
25. YASUDA, K., HU,L., YIN, Y., “A grouping genetic algorithm for the multi-objective cell formation problem”, *International Journal of Production Research*, vol.43, 4: 829-853, 2005. tbaası, İstanbul, 1944.