

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**MAGNEZYUM AZ31 ALAŞIMININ YORULMA ÖMRÜNÜN
YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI İLE TAHMİN
EDİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEVCAN KARAGÖZ

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**MAGNEZYUM AZ31 ALAŞIMININ YORULMA ÖMRÜNÜN
YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI İLE TAHMİN
EDİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEVCAN KARAGÖZ

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019

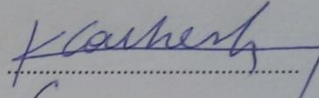
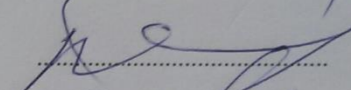
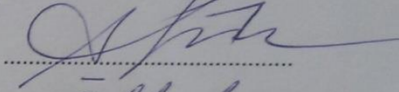
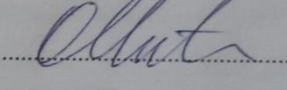
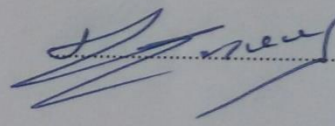
KABUL VE ONAY SAYFASI

SEVCAN KARAGÖZ tarafından hazırlanan "MAGNEZYUM AZ31 ALAŞIMININ YORULMA ÖMRÜNÜN YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI İLE TAHMİN EDİLMESİ" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 21 Ağustos 2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

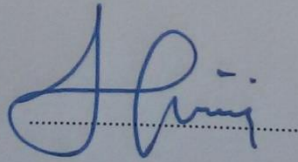
Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Doç. Dr. Can Berk KALAYCI
Pamukkale Üniversitesi
Eş Danışman
Doç. Dr. Özler KARAKAŞ
Pamukkale Üniversitesi
Üye
Prof. Dr. Aşkîner GÜNGÖR
Pamukkale Üniversitesi
Üye
Doç. Dr. Özcan MUTLU
Pamukkale Üniversitesi
Üye
Doç. Dr. Hakan ERSOY
Akdeniz Üniversitesi


.....

.....

.....

.....

.....

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
10/09/2019 tarih ve ...36/18... sayılı kararıyla onaylanmıştır.


.....

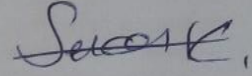
Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
tarafından 2018FEBE037 nolu proje ile desteklenmiştir.**

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

SEVCAN KARAGÖZ



ÖZET

**MAGNEZYUM AZ31 ALAŞIMININ YORULMA ÖMRÜNÜN YAPAY ARI
KOLONİSİ ALGORİTMASI İLE TAHMİN EDİLMESİ**
YÜKSEK LİSANS TEZİ
SEVCAN KARAGÖZ
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. CAN BERK KALAYCI)
(EŞ DANIŞMAN: DOÇ. DR. ÖZLER KARAKAŞ)
DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019

Bu çalışmada magnezyum alaşımının içyapısı ile ilgili davranışlardan hareketle ve literatürde kullanılmış olan sezgisel algoritmalarından farklı bir algoritma kullanılarak, yapay arı kolonisi algoritması ile yorulma ömrü tahmini yapmak amaçlanmıştır. Bunun için yorulma ömrüne etki eden, çentik faktörü, gerilme oranı ve gerilme genliği faktörleri dikkate alınmıştır. Problemin çözümü için üstel trigonometrik matematiksel fonksiyon modeli önerilmiştir. Önerilen fonksiyon modeli, veri setleri ile birlikte algoritmaya entegre edilerek parametre optimizasyonu yapılmıştır. Elde edilen tahmin sonuçları, orijinal deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmış ve minimum (kabul edilebilir) bir hata oranı elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, sezgisel algoritmaların tahmin çalışmalarında uygulanabileceğini göstermiştir. Bu çalışmanın, farklı mühendislik yapı ve malzemeleri için yorulma ömrü tahmininde uygulanabilmesi ve farklı sezgisel yöntemler ile de geliştirilmesine yardımcı olması beklenmektedir.

ANAHTAR KELİMELEER: Sezgisel Algoritmalar, Tahmin, Yapay Arı Kolonisi Algoritması, Yorulma Ömrü

ABSTRACT

ESTIMATION OF THE FATIGUE LIFE OF MAGNESIUM AZ31 ALLOY BY ARTIFICIAL BEE COLONY ALGORITHM

MSC THESIS

SEVCAN KARAGÖZ

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

INDUSTRIAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. CAN BERK KALAYCI)

(CO-SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. ÖZLER KARAKAŞ)

DENİZLİ, AUGUST 2019

In this study, it is aimed to do fatigue life estimation with artificial bee colony algorithm by using different algorithm from the heuristic algorithms used in literature based on the behaviors related to microstructure of magnesium alloy. For this purpose, notch factor, stress ratio and stress amplitude factors affecting fatigue life were taken into consideration. Exponential trigonometric mathematical function model is proposed to solve the problem. The proposed function model is integrated into the algorithm with data sets and parameter optimization is performed. The estimated results were compared with the original experimental results and a minimum (acceptable) error rate was obtained. The results showed that heuristic algorithms can be applied in estimation studies. It is expected that this research can be applied to fatigue life estimation for different engineering structures and materials and will help to develop it with different heuristic methods.

KEYWORDS: Heuristic Algorithms, Estimation, Artificial Bee Colony Algorithm, Fatigue Life

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ	v
SEMBOL LİSTESİ.....	vi
ÖNSÖZ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
3. MAGNEZYUM ALAŞIMI VE İÇYAPI DURUMLARI.....	34
3.1 Magnezyum	34
3.2 AZ31 Magnezyum Alaşımı İçyapı Durumları	35
4. SEZGİSEL ALGORİTMALAR	38
4.1 Yapay Arı Kolonisi Algoritması	39
4.1.1 Tanımı	39
4.1.2 Yapay Arı Kolonisi Algoritmasının Uygulama Alanları	40
4.1.3 Arıların Besin Arama Davranışları	40
4.1.4 Yapay Arı Kolonisinin Temel Adımları	42
4.1.4.1 Başlangıç Besin Kaynaklarının Belirlenmesi.....	42
4.1.4.2 İşçi Arıların Besin Kaynaklarına Gönderilmesi.....	43
4.1.4.3 Gözcü Arıların Besin Kaynaklarına Gönderilmesi	44
4.1.4.4 Kâşif Arılar İle Yeni Besin Kaynaklarının Bulunması	44
4.1.4.5 Algoritmanın Sonlanması	44
5. YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASININ PROBLEM	
UYGULAMASI.....	46
5.1 Önerilen Yorulma Ömrü Tahmin Modeli	46
5.1.1 Üstel Trigonometrik Model	46
5.2 Veri Setleri	48
5.3 Yapay Arı Kolonisi Algoritmasının Parametre Konfigürasyonu	50
5.4 Modelin Uygulanması	52
6. HESAPLAMALI SONUÇLAR VE ANALİZ.....	54
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	61
8. KAYNAKLAR	62
7. ÖZGEÇMİŞ.....	74

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Malzemelerin yorulma ömrü tahmini için esnek hesaplama yöntemleri arasında sezgisel algoritmaların kullanım oranı.....	4
Şekil 2.2: Malzemelerin yorulma ömrü tahmini için kullanılan sezgisel algoritmaların oranı	33
Şekil 3.1: İçyapı durumları.....	37
Şekil 4.1: Yapay Arı Kolonisi akış diyagramı	46
Şekil 5.1: Tek kademeli bir yüklemde tanım değerlerinin şematik gösterimi.	48
Şekil 5.2: Değişkenlerin ana etki grafiği.....	52
Şekil 5.3: Farklı seviyelerde algoritma parametreleri için etkileşim grafiği.....	53
Şekil 6.1: Örnek veriler için ortalama hata karesinin değişimi.....	56
Şekil 6.2: Esas malzeme için tahmin sonuçlarının ve deneysel sonuçların karşılaştırma grafiği.....	56
Şekil 6.3: Kaynak metali için tahmin sonuçlarının ve deneysel sonuçların karşılaştırma grafiği.....	57
Şekil 6.4: ITAB için tahmin sonuçlarının ve deneysel sonuçların karşılaştırma grafiği	57
Şekil 6.5: Esas metal için oluşturulan Wöhler eğrisi	58
Şekil 6.6: Kaynak metali için oluşturulan Wöhler eğrisi	58
Şekil 6.7: ITAB için oluşturulan Wöhler eğrisi	59
Şekil 6.8: Tüm içyapı durumları için tahmin sonuçlarının ve deneysel sonuçların karşılaştırılması.....	60

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Çeşitli malzemelerin yorulma ömrü tahmini için YSA kullanılarak yapılan çalışmalar.....	29
Tablo 5.1: Esas malzeme veri seti.....	48
Tablo 5.2: Kaynak metali veri seti	50
Tablo 5.3: ITAB veri seti	50
Tablo 5.4: Algoritma performansı için kullanılan parametre seviyeleri	51
Tablo 6.1: Eşitlik (5.3) ile tanımlanan fonksiyonun katsayı sonuçları	55
Tablo 6.2: Yapay Arı Kolonisi algoritmasının tahmin sonuçları.....	60



SEMBOL LİSTESİ

R^2	:	Belirlilik Katsayısı
r	:	Kolerasyon Katsayısı
K_t	:	Çentik Faktörü
R	:	Gerilme Oranı
σ	:	Gerilme Genliği
σ_{max}	:	Maksimum Gerilme
σ_{min}	:	Minimum Gerilme
σ_n	:	Nominal Gerilme
σ_m	:	Ortalama Gerilme
$\Delta\sigma$:	Gerilme Aralığı
N_B	:	Çevrim Sayısı
w_i	:	Ağırlık Faktörleri
r_f	:	Tahmini Çentik Yarıçapı
Al	:	Alüminyum
Mg	:	Magnezyum
Si	:	Silisyum
kPa	:	Kilopaskal
MPa	:	Megapaskal
g/cm^3	:	Gram/Santimetreküp
i	:	Popülasyondaki Besin Kaynağı
NS	:	Besin Kaynaklarının Sayısı ve İşçi Arı Sayısı
D	:	Parametre Sayısı
x_j^{min}	:	j. parametrenin Alt Limiti
x_j^{max}	:	j. parametrenin Üst Limiti
x_i	:	İşçi Arının Seçmiş Olduğu Çözüm
v_i	:	Yeni Kaynağın Yeri
k	:	Rastgele Bir Tamsayı
x_k	:	Popülasyonundan Seçilen Rastgele Bir Çözüm
j	:	Rastgele Bir Tamsayı
Φ_{ij}	:	[-1,1] Aralığında Seçilen Rastgele Bir Değer
fit_i	:	i. Kaynağın Uygunluk Değeri
p_i	:	Her Bir Çözüm İçin Olasılık Değeri
f	:	Amaç Fonksiyonu
X_n	:	Bir Parametrenin Normalize Değeri
X	:	Parametrenin Ölçülen Değeri
X_{max}	:	Veri Setinin Maksimum Değeri
X_{min}	:	Veri Setinin Minimum Değeri
GB	:	Gigabayt
RAM	:	Rastgele Erişilebilir Hafıza
GHz	:	Gigahertz
T_σ	:	Saçılma Değeri
F	:	Kuvvet
N_k	:	Wöhler eğrisi için bükülme noktası
k'	:	Eğim

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim süresince ve tezimin hazırlanması sırasında, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, yardımlarını, sabrını, imkânlarını, iletişimimi hiçbir zaman esirgemeyen, yazdığımız makalelerin, katıldığım konferansın ve sunduğum bildirinin mimarı danışman hocam, Sayın Doç. Dr. Can Berk KALAYCI'ya teşekkürlerimi ve saygılarımı sunmayı bir borç bilirim.

Çalışma sürecimde yardımlarını ve tecrübesini esirgemeyerek bana her fırsatta yardımcı olan, önerileriyle bana yol gösteren ikinci danışman hocam, Sayın Doç. Dr. Özler KARAKAŞ'a emek ve katkılarından dolayı teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans çalışmalarım boyunca bana yardımcı olan PAÜ Endüstri Mühendisliği Bölümündeki diğer saygı değer hocalarıma en içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Üniversite eğitimim boyunca, beni bu yolda destekleyen, tecrübeleriyle yol gösteren, Sayın Doç. Dr. Burak ERKAYMAN'a teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Bu çalışmanın, bu konuda yapılacak başka çalışmalara faydalı olmasını temenni ederim.

1. GİRİŞ

Malzeme yorulması, başta makine ve malzeme endüstrisi olmak üzere, birçok disiplinde kullanılan mühendislik yapı ve malzemelerinde ani arızalara neden olan karmaşık bir olgudur. Bu arızaların beklenmedik doğası nedeniyle yorulma, çevrimsel yüklere maruz kalan herhangi bir mühendislik yapısında karşılaşılan temel bir sorundur.

Yorulma, bir malzemede hasara, arızalanmaya veya içyapısında değişikliklere neden olabilmektedir. İstatistiklere göre, geçtiğimiz birkaç yıl içinde kaynaklı yapılardaki kazaların % 80'ine yorulma başarısızlığı neden olmuştur (Yang ve diğ. 2015). Bu kazalar sadece ulusal ekonomiye büyük zarar vermekle kalmadı, aynı zamanda insan yaşamının güvenliğini de ciddi biçimde tehdit etmiştir. Bu gibi durumların yaşanmaması için, malzemelerin yorulma ömrünün bilinmesi gerekmektedir. Böylece muhtemel kazaların yaşanması riski azaltılmış olacak ve aynı zamanda imalat maliyetlerinin düşürülmesi sağlanacaktır. Bu sebeple bu çalışmada, yorulma ömrünü belirleyebilmek için bir tahmin çalışması yapılmıştır. Bunun için yüksek özgül mukavemeti ve düşük yoğunluğu ile magnezyum alaşımından yararlanılmıştır. Yorulma ömrü, alaşımın farklı içyapı durumlarına göre incelenmiştir.

Yorulma ömrü, tasarım sürecinde öngörülebilirse, genel yapı boyunca dağılımı, gerçek işlemden kaynak bağlantılarının sayısı veya kullanım şekli, yorulma performansının iyileştirilmesi için makul şekilde ayarlanabilir. Bu şekilde daha düşük üretim maliyetleri elde edilebilir ve kazaları azaltma noktasında iyileştirme sağlanabilir.

Söz konusu malzemelerin yorulma ömürlerinin belirlenmesi hem maliyeti yüksek hem de uzun zaman gerektiren çalışmalardır. Mevcut geleneksel tahmin yöntemlerinin kullanılması, çok miktarda veri ve deney anlamına gelmektedir. Bu nedenle yapılan tahminlerin ve tahmin etmede kullanılacak yöntemlerin, doğru ve güvenilir olması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, yorulma ömrü tahmini için optimizasyon yöntemlerinden sezgisel algoritmalarından yararlanılmıştır.

Karar vericiler tarafından anlaşılabilirliği, makul sürelerde çözüme ulaştırması, kullanılabilirliği açısından bu çalışmada optimizasyon yöntemlerinden sezgisel algoritmalar; büyük miktarda veriyi inceleyerek, isabetli öngörülerde bulunabilme potansiyeline sahip algoritmalar dır. Sezgisel algoritmalar, pahalı ve zaman alıcı yorulma testlerine olan ihtiyaçı en aza indirgeyerek, zaman ve kaynak tasarrufu sağlayacaktır.

Yorulma ömrü tahmini için, literatürde kullanılan sezgisel algoritmalar dır farklı olarak bu çalışmada yapay arı kolonisi algoritması kullanılmıştır. Çalışmada öncelikle bir üstel-trigonometrik fonksiyon modeli önerilmiştir. Daha sonra, matematiksel fonksiyonun parametreleri yapay arı kolonisi algoritmasıyla optimize edilmiştir. Elde edilen tahminsel sonuçlar, orijinal deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sonuçların güvenilirliği ve tahminlerin ne derece iyi yapıldığı hesaplanan hata değerı ile ifade edilmiştir.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde, yorulma ömrü tahmini ile ilgili yapılan literatür çalışmalarına yer verilecektir.

Üçüncü bölümde magnezyum alaşımı ve içyapı durumlarına dair çalışmayla ilgili önemli noktalara değinilecektir.

Dördüncü bölümde tahmin için kullanılacak olan fonksiyon modeli tanıtılacaktır.

Beşinci bölümde sezgisel algoritmalar hakkında genel bilgi verilecek ve probleme uyarlanacak algoritma detaylı bir şekilde anlatılacaktır.

Altıncı bölümde algoritmadan yararlanarak elde ettiğimiz sonuçlara, tahmin için kullanılan modelin sonuçlarına ve bu sonuçların deneysel olarak karşılaştırılmalarına yer verilecektir.

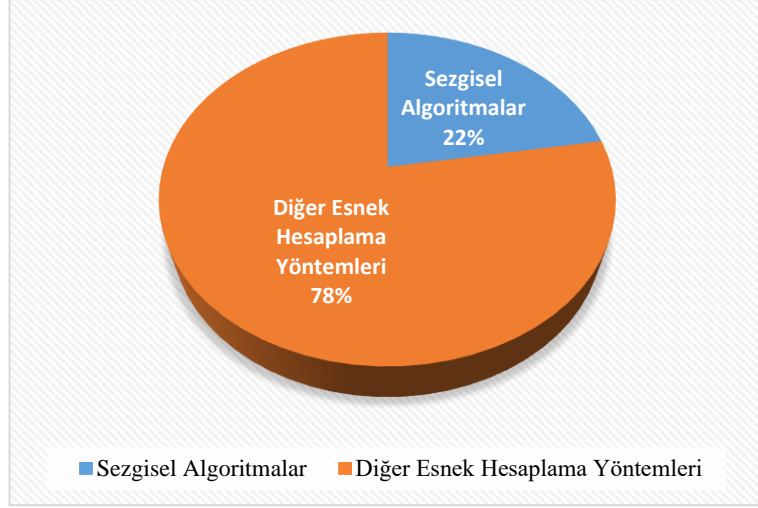
Yedinci bölümde çalışma sonunda elde edilen sonuçlar açıklanacaktır. Tablo ve grafikler ile ne kadar iyi tahmin doğruluğuna ulaştığımız gösterilecektir. Literatüre ve bilime katkı sağlamak adına öneriler ve yorumlar geliştirilecektir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Yorulma kavramı, farklı başlıklar altında literatürde kendine yer bulmuş olmakla birlikte, uzun zamandan beri süregelen bir araştırma konusu olmuştur. Konunun karmaşıklığı ve çok çeşitli mühendislik uygulamaları göz önünde bulundurulduğunda, malzemelerin yorulması kapsamlı bir şekilde incelenmiş ve son birkaç yılda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir.

Malzemelerin yorulma ömrü hakkında daha kesin tahminlere erişmek için çok sayıda yorulma analizi yöntemi önerilmiştir. Son yıllarda, birçok uzman yorulma ömrünü tahmin etmek için yapay zekâ yöntemlerini (yapay sinir ağları, uzman sistem, bulanık bilgi işlem, kaba küme teorisi, evrimsel algoritmalar vb.) kullanmıştır (Yang ve diğ. 2015). Yorulma ömrü tahmini için literatürde en çok kullanılan yöntem yapay sinir ağı (YSA) yöntemi olmakla birlikte; sezgisel algoritmalarından genetik algoritma (GA) optimizasyon işlemi için en sık kullanılan algoritma olmuştur.

Ogarrevic ve Stephens, 1923-1990 yılları arasında magnezyum alaşımlarının yorulma verilerini gözden geçirdiler ve önemli miktarda yorulma dayanımı verilerinin bulunduğunu belirtmişlerdir. Magnezyum alaşımlarının yorulması ile ilgili ilk incelemeler, 1928 yılında Wagner tarafından gerçekleştirilmiştir. Yorulma ömrünü ve yorulma sınırını belirlemek için, işlenmiş magnezyum-alüminyum alaşımlarını bükme makineleri ile test etmiştir (Potzies ve Kainer 2004).



Şekil 2.1: Malzemelerin yorulma ömrü tahmini için esnek hesaplama yöntemleri arasında sezgisel algoritmaların kullanım oranı

Han (1995), kaynak kusurlu numunelerin yorulma ömürlerini değerlendirmek için YSA yöntemini kullanmıştır. Sonuçlar, YSA yönteminin numunelerin yorulma ömürlerini kaynak kusurları ile değerlendirmek için uygun olduğunu göstermiştir.

Aymerich ve Serra (1998), kompozit malzemelerin yorulma dayanımının öngörülmesi için YSA kullanmışlardır ve sinir ağı tekniğinin bir dizi deneysel veriyi modellemek için iyi bir araç olduğunu belirtmişlerdir.

Artymiak ve diğ. (1999), çalışmalarında yorulma dayanımı ve yorulma sınırı tahmini için YSA uygulamasını ele almışlardır. YSA kullanımı ile bileşenlerin yorulma ömrünü tahmin etmek için bir yaklaşım sunulmuştur. YSA aracılığıyla yapılan tahminin sonuçları, geleneksel yöntemlerle elde edilen sonuçlardan daha yüksek bir doğrulukla tahmin edilmiştir. Araştırmalar YSA'nın, yeterince kapsamlı bir veritabanı mevcutsa, değişken genlikli yüklemeler altında yorulma ömrünü tahmin edebileceğini göstermiştir.

Lee ve diğ. (1999), farklı gerilme oranları altında, laminatların yorulma ömrü tahmininde YSA performansı değerlendirilmiştir. Beş karbon fiber takviyeli plastik ve bir cam takviyeli plastik laminat için gerilme yorulma verileri, yorulma ömrünün tahmini için olası YSA mimarilerini değerlendirmek ve ağ eğitim yöntemleri geliştirmek için kullanılmıştır. YSA'nın, gerilme yorulma davranışını modellemek için kullanılabileceği açıklanmıştır. Ayrıca makalede YSA'nın, tahminsel doğruluğu

olumsuz olarak etkilemeden güvenilir tahminler elde edilmesi için gereken test miktarını azaltma yollarını inceleme konusunda bir fizibilite araştırmasının sonuçlarını bildirmiştir.

Venkatesh ve Rack (1999), nikel bazlı INCONEL 690 alaşımının yüksek sıcaklıkta yorulma davranışını tahmin etmek için bir geri yayılım sinir ağı (BPNN) kullanmışlardır. Bu çalışmada YSA yönteminin öngörme yeteneği, Coffin-Manson, doğrusal ömür kesri, histerezis enerji tahmin yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. YSA yaklaşımı yorulma ömrünü tahmin etmede, diğer yöntemlere göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

Pleune ve Chopra (2000), karbon ve düşük alaşımlı çeliklerin yorulma ömrü tahmini için YSA yöntemini kullanmışlardır. Optimal YSA tasarlandıktan sonra eğitildi ve belirlenen yükleme ve çevresel koşullar için yorulma ömrünü tahmin etmek için kullanıldı. Bir YSA eğitmek için 1036 yorulma testinin bir veri tabanı kullanılmıştır. YSA altı tanesi su ortamında, altı tanesi ise hava ortamındaki testlerle 12 kez eğitilmiştir. Sonuçlar, karbon ve düşük alaşımlı çeliklerin yorulma ömürlerini çevre, çelik tipi, sıcaklık, kükürt içeriği, suda çözülmüş oksijen seviyesi ve gerilme oranının fonksiyonu olarak karakterize eden eğilimler ve eşikler hakkında bilgi sağlar. YSA için belirlilik katsayısı (R^2) değerleri, hava ve su ortamları için sırasıyla 0.91 ve 0.82 olarak bulunmuştur. Çalışmada ayrıca malzemelerin yorulma ömürlerini öngörmek için YSA kullanmanın avantaj ve dezavantajları tartışılmaktadır.

Sohn ve Bae (2000), çalışmalarında YSA ile gerinim enerji yoğunluğu denklemi kullanılarak, belirli bir boyut ve yükleme koşuluna sahip nokta kaynaklı bağlantıların yorulma ömrü tahmin etmeye çalışmışlardır. YSA'nın güvenilirliği daha sonra Weibull olasılık dağılım fonksiyonu kullanılarak tahmin edilmiştir. Sonuçlardan, önerilen yorulma ömrü tahmin yönteminin gerinim enerjisi yoğunluk faktörü tarafından güvenilirliği % 85 olarak hesaplanmıştır. Gerinim enerji yoğunluğu faktörü denkleminin öngördüğü yorulma ömrü, gerçek yorulma test sonucundan elde edilen ile iyi bir uyum içindedir. Denklem ile hesaplanan yorulma ömrünün ve yorulma testinin karşılaştırmasında her iki sonucunda iyi bir uyum içinde olduğu görülmüştür.

Al-Assaf ve El Kadi (2001) ve El Kadi ve Al-Assaf (2002), çalışmalarında tek yönlü cam elyaf /epoksi kompozit laminatların yorulma davranışlarını YSA kullanarak tahmin etmişlerdir. YSA yapılarının, tek yönlü cam elyaf/epoksi kompozit laminatların farklı oryantasyon açıları ve gerilme oranları için yorulma davranışını öngörmedeki bir karşılaştırması incelenmiştir. Ayrıca El Kadi ve Al-Assaf (2002), çalışmasında farklı YSA tiplerinin performansı da karşılaştırılmıştır.

Srinivasan ve diğ. (2003), 316L (N) paslanmaz çeliğin düşük çevrimli yorulma (LCF) ve sürünme-yorulma etkileşimi (CFI) davranışı incelenmiştir. Paslanmaz çeliğin düşük çevrim yorulma davranışı, çeşitli sıcaklıklarda, gerilme genliklerinde, gerilme oranlarında, bekleme sürelerinde ve soğuk işlem koşullarında incelenmiştir. LCF ve CFI koşulları altında ömür tahmini yaklaşımı, bu araştırmada üretilen veriler kullanılarak değerlendirilmiştir.

Canyurt (2004), yapıştırılmış silindirik bileşenlerin yorulma mukavemetini tahmin etmek için, Genetik Algoritma Yorulma Dayanımı Tahmin Modeli (GAFSEM) yaklaşımını kullanmıştır. Bu yaklaşım çelik, bronz ve alüminyum gibi çeşitli yapışkan malzemeler kullanılarak yapıştırılmış boru şeklindeki yapıların yorulma mukavemetini tahmin etmek için geliştirilmiştir. Problem için kuadratik ve kübik model denklemleri kullanılmıştır. Tahmin sonuçları, literatürden alınan sonuçlarla (Şekercioğlu ve Loctite) karşılaştırılmıştır. GAFSEM'in kübik formu, kuadratik formundan daha iyi sonuçlar vermiştir. GAFSEM sonuçları, % 4.26'lık maksimum hata ile deneysel sonuçlarla uyumlu bulunmuştur.

Genel (2004), çalışmasında, bir YSA'nın gerinim ömrü yorulma özelliklerini öngörmedeki uygulanabilirliğini araştırmıştır. 73 çelik için gerilme verileri kullanılarak gerinim ömrü yorulma özelliklerini öngörmedeki uygulanabilirliği, bireysel yorulma özellikleri için 4 ayrı sinir ağı kullanılarak incelenmiştir. Literatürlerden elde edilen yorulma verileri, YSA'nın eğitim setinin oluşumunda kullanılmıştır. Sinir ağı modellemesinin sonuçları, gerinim ömrüne karşılık gerilme eğrilerini karakterize eden yorulma dayanımı katsayısı ve yorulma gerinim katsayı değerlerinin sırasıyla % 99 ve % 98'lik doğrulukla tahmin edildiğini göstermiştir. Eğitimli sinir ağı modeli tarafından tahmin edilen yorulma özelliklerinin, önerilen yaklaşık yöntemlere kıyasla daha makul olduğu sonucuna varılmıştır.

Junior ve diğ. (2005), çalışmalarında YSA'nın yorulma-ömür diyagramları oluşturmadaki uygulanabilirliğini göstermek ve YSA'nın genelleştirme kapasitesinin analiz edilmesi olasılığını araştırmayı amaçlamışlardır. Bu uygulanabilirliği göstermek için, literatürden 12 farklı S-N (gerilme- ömür) eğrisi için sürekli gerilme yorulma verileri elde edilmiştir. Hangi mimarinin sonuçları daha iyi genelleştirdiğini doğrulamak için 4 eğitim seti (3R, 4R, 5R ve 6R) ile analiz yapılmıştır. Analizde farklı sayıda gizli nöron sayısı ve farklı sayıda gerilme oran (R) değerleri kullanılmıştır. Üç S-N eğrisi eğitimi, $R = 10$, $R = -2$ ve $R = 0,1$ için tatmin edici sonuçlar vermiştir. Ayrıca S-N eğrilerinin sayısı arttıkça, daha güvenilir çözümler elde edilmiştir.

Vassilopoulos ve diğ. (2006), bu çalışmada çok yönlü cam elyafi takviyeli plastik (GFRP) kompozit laminatların, sabit genlikli gerilmeler altında yorulma ömrünün YSA kullanılarak modelleyebilmek ve eğitim ve test setinde kullanılan deneysel sonuç sayısının, YSA'nın modelleme kabiliyeti üzerindeki etkisini araştırmak amaçlanmıştır. Verilerin sinir ağı tarafından işlenmeye uygun olması için girdi değerleri normalize edilmiştir. Eğitim ve test setinde 257 test verisinin farklı yüzdeleri kullanılarak (% 90-10, % 80-20, % 70-30, % 60-40, % 50-50, % 40- 60, % 30- 70, % 20- 80 ve % 10-90) 9 farklı eğitim ve test veri seti kullanılmıştır. Sonuçlar, YSA'nın iyi bir modelleme aracı olduğu kanıtlanmıştır. Bu modelleme aracının getirdiği asıl yararın, tüm analiz için deney verilerinin % 40-50 arasındaki küçük bir kısmın gerekli olduğu belirtilmiştir.

Al-Assaf ve El Kadi (2007), tek yönlü cam elyaf/epoksi kompozit laminatların yorulma davranışlarını ileri beslemeli ve tekrarlayan sinir ağları kullanarak tahmin etmişlerdir. Bu tahminler, regresyon ve genelleme yeteneğine sahip öğrenme algoritmaları olan polinom sınıflandırıcıları (PC) ile elde edilen tahminlerle karşılaştırılmıştır. Polinom sınıflandırıcıları bu çalışmada, kompozit malzemelerin yorulma ömrünü tahmin etmek için önemli bir araç olarak tanıtılmıştır. 0° , 19° , 45° , 71° ve 90° 'lik elyaf oryantasyon açıları için, $R = 0$, $R = 0,5$ ve $R = -1$ gerilme oranlarında elde edilen deneysel veriler kullanılmıştır. PC ve sinir ağlarını eğitmek için az sayıda deneysel veri kullanılması durumunda bile, elde edilen tahminlerin diğer mevcut yorulma ömrü tahmin yöntemleriyle karşılaştırılabilir olduğu ifade edilmiştir. Sonuçlar, PC kullanılarak elde edilen tahminlerin, YSA kullanılarak elde edilen tahminlerden daha iyi olduğunu göstermiştir.

El Kadi ve Al-Assaf (2007), fiber takviyeli kompozit malzemelerin yorulma ömrünü tahmin etmek için modüler sinir ağı ve PC kullanmışlardır. Tüm giriş ve çıkış parametreleri normalleştirilmiştir. Sinir ağını eğitmek ve test etmek için Neurosolution yazılımı kullanılmıştır. Sinir ağı için ortalama hata karesi kökü (RMSE) % 36,2 hesaplanmıştır. PC için MATLAB yazılımı kullanılmıştır. Birinci dereceden PC kullanılarak elde edilen tahminler deneysel verilerle karşılaştırılmış ve yüksek bir hata oranıyla % 119'luk bir RMSE elde edilmiştir. Bu sorunu çözmek için, ikinci dereceden bir PC kullanılmıştır. Bu durumda daha yüksek hata değerine ulaşılmıştır. Birinci dereceden PC'ye birkaç yüksek dereceli terimin eklenmesi denenmiş ve bu durumda % 38,7'lik bir RMSE elde edilmiştir.

Park ve Kang (2007), çalışmalarında çeşitli geometrik faktörlere ve gerilme koşullarına maruz kalan nokta kaynaklı yapıların yorulma ömrünü tahmin etmek için BPNN kullanmışlardır. Sinir ağını geliştirmek için iki veri seti kullanmışlardır. İlk veri seti, birleşik gerilme ve kayma gerilmesine maruz kalan çelik numuneleri için, ikincisi çekme-kesme yüklemesine maruz kalan düşük karbonlu çelik için uygulanmıştır. Sinir ağı bu çalışmada test edilen örnekler için makul doğruluk göstermiştir. YSA'nın, çeşitli geometrik boyutlar ve gerilme koşulları altında nokta kaynaklı yapıların yorulma ömrünü hesaplamak için pratik bir yöntem olarak kullanılabilceği belirtilmiştir.

Vassilopoulos ve diğ. (2007), GFRP kompozit laminatların yorulma ömrünü tahmin etmek için YSA kullanmışlardır. İki farklı malzeme üzerinde, farklı sayıda girdilerle ve literatürdeki mevcut deneysel verileri kullanılarak YSA'nın tahmin doğruluğu araştırılmıştır. Değişken genlikli gerilmeler altındaki yapıların tasarımı için faydalı olan sabit yaşam diyagramlarının (CLD), verimli bir şekilde modellenebileceğini açıklamıştır. Mevcut deneysel verilerin bir kısmının, YSA'nın malzemenin yorulma ömrünü modellemesi için yeterli olduğu görülmüştür. YSA'nın, çok yönlü kompozit laminatların yorulma ömrünü modellemek için yeterli bir araç olduğu kanıtlanmıştır.

Mathur ve diğ. (2007), karbon fiber takviyeli plastiklerin yorulma ömrünü tahmin etmek için YSA yöntemini kullanmışlardır. Giriş parametresi olarak farklı monotonik, yorulma ve istatistiksel özellikler; çıktı parametresi olarak yorulma ömrü alınmıştır. Deneysel ve tahminsel sonuçlar arasındaki hatanın çoğu örnekte % 5'ten az

olduğu bulunmuştur. Bu sonuçlarla YSA'nın, kompozit malzemenin yorulma ömrünü öngörmede etkili bir araç olarak kullanılabilereği belirtilmiştir.

Majidian ve Saidi (2007), İran'ın kuzeyindeki Neka santralinde kazan içindeki bir boru setinin kalan minimum ömrünü bulmayı amaçlamışlardır. Kazanın ısıtma tüplerinin duvar kalınlığı, bakım süreleri boyunca birkaç noktada llmştir. Kalınlığa ve zamana bağlılık incelenmiştir. Bu bağımlılığı belirlemek için bir araç olarak YSA kullanılmıştır. Aynı zamanda bulanık mantık metodu ile de bir hesaplama yapılmıştır. YSA ile bulanık mantık metodlarından elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. YSA metodunun, kalan ömür süresini bulanık mantık metodundan daha doğru tahmin edebildiği grlmştir.

Bezazi ve diğ. (2007), sandviç yapılı kompozit bir malzeme için, yorulma ömrü tahmini üretmek üzere, bir Bayesian eğitimi YSA kullanmışlardır. Bir dizi çok katmanlı algılayıcı (MLP) YSA için eğitim, doğrulama ve test verileri sağlamak üzere toplam 27 numune incelenmiştir. YSA yapısını oluşturmak için, hem geleneksel maksimum olabilirlik hem de Bayesian eğitim algoritmaları kullanılmıştır. Bayesian eğitim algoritmasının, maksimum olabilirlik eğitimine kıyasla, deneysel verilere daha iyi uyum sağladığı kaydedilmiştir.

Cai ve diğ. (2008), çalışmada epoksi kalıplama bileşiğinin (EMC) yorulma testinden elde edilen deneysel verilere dayanarak, EMC malzemeleri için yorulma ömrü tahmin modeli oluşturulmuştur. Öncelikle bir BPNN yorulma ömrü tahmin modeli kuruldu. Bu yaklaşımda ağ yapısı, girdilerin temel bileşen analizi (PCA) perspektifinden indirgenmesiyle geliştirilmiştir. Daha sonra, GA, BPNN'yi iyileştirmek için eklenmiştir. Tahmin sonuçları, PCA bazlı GABPNN modelinin, epoksi kalıplama bileşiklerinin yorulma ve kırılma güvenilirliği konusunda tahmin ve optimizasyon tasarımı için uygun olduğunu göstermiştir. GABPNN tahmin modeli oluşturulduktan sonra girdi faktörlerinin, çıktı faktörleri üzerindeki duyarlılığı araştırılmıştır.

Liao ve diğ. (2008), çalışmalarında elektriksel direnç değerine dayanarak, YSA ile karbon malzemelerin yorulma ömrünü tahmin etmişlerdir. Çeşitli yorulma döngülerindeki elektriksel direnç ve malzemelere uygulanan gerilme seviyesi tespit

edilmiştir. Sonuçlar, YSA'nın karbon malzemelerin yorulma ömrünü iyi derece tahmin edebileceğini göstermiştir.

Liu ve diğ. (2008), çatlak (kusurlu) yapıların ömrünün tahmini için uzman bir sistem geliştirmişlerdir. Uzman sistemin performansı, buhar türbininin kırık rotorunun bir mühendislik örneği kullanılarak test edilmiştir. Rotorun malzemesi CrMoV çeliğidir. Uzman sistem Microsoft Visual Basic 6.0 yazılımı kullanılarak geliştirilmiştir. Gelişmiş RLPCHTS (Çatlak Yüksek Sıcaklık Yapılarının Kalan Ömür Tahminleri) uzman sistemi kullanılarak, çatlakların boyutu, etkileşimi ve kombinasyonu analiz edilmiştir. Her bir çatlığa karşılık gelen kalan ömür hesaplanmıştır. Yüksek sıcaklık bileşenlerinin kalan ömrünün tahmini için uzman sistemin güçlü bir araç olduğu belirtilmiştir.

Mathew ve diğ. (2008), azot alaşımlı 316L paslanmaz çeliğin (SS) yorulma ömrünün tahmin edilmesi için YSA modeli geliştirmişlerdir. Model, düşük karbon içerikli, normal karbon içerikli, azot alaşımlı ve azot alaşımsız bileşimlere sahip olacak şekilde genişletilmiştir. Yorulma testi parametreleri geniş bir sıcaklık, gerilme aralığı ve gerilme oranlarını kapsamıştır. Modelin, paslanmaz çeliğin yorulma ömrünü, çok çeşitli sıcaklıklarda, gerilme oranlarında ve gerilme aralıklarında, karbon ve azot içeren ve içermeyen durumlarda tahmin etmek için kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Vassilopoulos ve diğ. (2008), kompozit malzemelerin yorulma davranışlarını modellemede genetik programlama (GP) kullanmışlardır. Dört farklı kompozit malzemenin yorulma davranışı GP, doğrusal regresyon, Whitney, Sendekyj yöntemleri kullanılarak modellenmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. GP'nin, çevrimsel sabit genlik yüklemesine maruz kalan kompozit laminatların yorulma davranışlarını modellemek için güçlü bir araç olduğu kanıtlanmıştır.

Karakaş ve diğ. (2008), sezgisel algoritmalarından GA'yı kullanarak, magnezyum alaşımında alın birleştirmeli kaynak yapılarının, yorulma gücünün tahmin edilmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Bunun için öncelikle Genetik Algoritma Yapısal Uzunluk Tahmin Modeli (GASLEM) kullanarak, yapısal uzunluk (SSL) değerleri tahmin edilmiştir. Yorulma dayanımı değerleri, tahmin edilen bu yapısal uzunluk değerleri kullanılarak elde edilmiştir. GASLEM sonuçları, maksimum % 0,8

hatayla deneysel sonuçlarla uyumlu bulunmuştur. GA'nın, kaynaklı bağlantı noktalarının yorulma dayanımını belirlemede kolayca uygulanabileceği ifade edilmiştir.

Karakaş ve diğ. (2008^a), çalışmalarında nominal gerilme kavramı, yapısal gerilme kavramı ve çentik gerilme kavramlarına göre, magnezyum alaşımı AZ31 ile elde edilen yorulma verileri ile kaynaklı çelik ve alüminyum yapıları için karşılık gelen yorulma değerlerini karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma $r_f = 1,0$ mm ve $r_f = 0,5$ mm'lik tahmini çentik yarıçapları ile $R = -1$, $R = 0$ ve $R = 0,5$ gerilme oranları altında test edilmiştir.

Mohanty ve diğ. (2009), bu çalışmada karışık mod (I ve II) aşırı yükü altında iki alüminyum alaşımının yorulma çatlak büyüme hızını öngörmeye bir BPNN geliştirmişlerdir. YSA yöntemiyle iki alüminyum alaşımında 7020 T7 ve 2024 T3 öngörülen çatlak büyüme oranları, deneysel veriler ve üstel bir model ile karşılaştırılmıştır. Önerilen modelin, yorulma ömrünün öngörülmesi söz konusu olduğunda oldukça tatmin edici olan bir tahmin oranıyla yorulma ömrünü öngördüğü ve sonucun üstel model ile karşılaştırılabilir olduğu gözlenmiştir. Bu araştırmada kullanılan deneysel kısımlar yazarın önceki çalışmalarından alınmıştır.

Tian (2009), makalesinde durum izlemeye tabi ekipmanların faydalı ömür tahminlerini elde etmek için bir YSA metodu önermiştir. YSA modeli, mevcut ve önceki kontrol noktalarındaki yaş ve çoklu durum izleme ölçüm değerlerini girdi ve ömür yüzdesi çıktı olarak alır. Önerilen YSA yöntemi, Kanada'da bir kâğıt fabrikası firmasında bir grup Gould pompası üzerindeki rulmanlardan toplanan durum izleme verileri kullanılarak test edilmiş ve test edilen ölçüm serilerine çok iyi uyduğu görülmüştür. Deneysel sonuçları, önerilen YSA yönteminin, duruma dayalı bakım optimizasyonuna yardımcı olacak tatmin edici tahmin sonuçları üretebileceğini göstermiştir. YSA yönteminin öngörü performansı, Wu ve diğ. (2007) tarafından önerilen yöntem ile karşılaştırılmış ve sonuçlar, önerilen yaklaşımın daha doğru tahminler verdiğini göstermiştir.

Xiao ve diğ. (2009), çalışmalarında dönüştürülmüş asfalt kaplama (RAP) içeren kauçuklanmış asfalt beton karışımlarının yorulma ömrünü öngörmeye YSA kullanımını incelemiştir. İki farklı kauçuk tipi, iki farklı RAP kaynağı, dört lastik

içeriği (% 0, 5, 10 ve % 15) ile 190'ın üzerinde yorulma deneyi yapılmış ve 5 ila 20 derece iki farklı test sıcaklığında test edilmiştir. Regresyon analizi ile elde edilen denklemler, bu karışımların yorulma ömrünü tahmin etmek için kullanılmıştır. Düşük belirlilik katsayısı ve yüksek varyasyon katsayısı yorulma ömrü tahmini için zayıf bir uyumu ve bu modellerin, karışımların yorulma ömrünü doğru bir şekilde tahmin edemediğini göstermiştir. Aynı veriler, YSA modellerini geliştirmek için kullanılmıştır. Yorulma ömrünü öngörmeye YSA tabanlı modellerin, regresyon modellerinden daha etkili olduğu görülmüştür.

Al-Assadi ve diğ. (2010), bu çalışmada kompozit malzemeler için elde edilen deneysel yorulma verilerini, farklı bir malzemedeki yapılmış bir kompozitin dögüsel davranışını tahmin etmek için YSA yöntemini kullanmışlardır. YSA'nın, deneysel olarak ölçülen sonuçlarla karşılaştırıldığında, doğru yorulma ömrü tahminleri sağladığı görülmüştür. Ayrıca çalışmada, sinir ağı mimarisinin etkisi ve kullanılan eğitim fonksiyonu da incelenmiştir. Farklı ağ tipleri, eğitim fonksiyonları ve gizli nöronların sayısı ile karşılaştırmalar yapılmıştır.

Karakaş ve diğ. (2010), AZ31 magnezyum alaşımından kaynaklı yapıların, yerel gerilme kavramına göre yorulma davranışını incelemiştir. Bu çalışmada magnezyum alaşımı ile yorulma testinin sonuçları, esas malzeme durumu, ısı tesiri altındaki bölge ve kaynak metali ile 2.10^2 - 5.10^6 çevrim aralığında sunulmuştur. Yorulma davranışları, Coffin-Manson-Basquin ve Ramberg-Osgood denklemleri ile karakterize edilmiştir. Sonuçlar, yerel gerilme modeline göre kaynaklı magnezyum birleştirmelerini değerlendirmek için kullanılabileceğini göstermiştir.

Ertaş ve Sönmez (2010), maksimum yorulma ömrüne ulaşmak ve belirli düzlem içi gerilmelere maruz kalan kompozit laminatların optimum tasarımını bulmak için bir metodoloji önermişlerdir. Bu amaçla, Fawaz ve Ellyin tarafından önerilen parametrik bir yorulma ömrü tahmin modeli, tavlama benzetiminin (SA) geliştirilmiş bir versiyonu olan "Doğrudan Simüle Edilmiş Tavlama (DSA)" adı verilen bir optimizasyon tekniği ile birleştirilmiştir. Her bir laminatın içerdiği farklı lif oryantasyon açıları tasarım değişkenleri olarak alınmış ve tasarım sürecinde belirlenmiştir. ANSYS parametrik dilinde bir bilgisayar kodu geliştirilmiş ve farklı konfigürasyonlar ve gerilme koşulları için sonuçlar elde edilmiştir.

Kumar ve diğ. (2010), çalışmalarında çok cidarlı karbon nano tüplerin (MWCNT) farklı doping (katkı, uyarıcı) oranlarında cam/epoksi laminatların yorulma ömrü tahminlerini sunmuşlardır. İki farklı MWCNT doping oranının (% 0.2 ve % 0.4), kompozit laminatın yorulma ömründeki iyileşmeyi gösterdiği düşünülmektedir. Geri yayılım (BP) algoritmasına sahip bir YSA yorulma ömrünü tahmin etmek için kullanılmıştır. Önerilen sinir ağı, yorulma testi veri seti kullanılarak eğitilmiştir. 4800 devire (% 0.2 doping) ve 8300 devire (% 0.4 doping) yakın gerilme seviyeleri için, öngörülen yorulma sonuçları \pm % 17 hata göstermiştir. Bu, ağı eğitmek için küçük bir veri setinin kullanılması nedeniyledir. Diğer tüm gerilme seviyeleri için, YSA yaklaşımdan öngörülen yorulma ömrü döngüleri, test verileriyle iyi bir uyum içinde bulunmuştur. Önerilen yaklaşım, çeşitli MWCNT doping oranlarında, cam/epoksi laminatların yorulma ömrünü tahmin etmek için kullanılabileceğini göstermiştir.

Salmalian ve diğ. (2010), tek yönlü karbon elyaf takviyeli plastik (UD CFRP) kompozitlerin yorulma ömrünü modellemek ve tahmin etmek için grup veri işleme yöntemi (GMDH) tipi sinir ağları önermişlerdir. Çalışmada GMDH tipi sinir ağlarının pareto optimizasyonu yapılmış ve sinir ağlarının tasarımını geliştirmek için bir evrimsel algoritma (EA) kullanılmıştır. GMDH tipi sinir ağlarının ele alınan önemli işlevleri eğitim hatası (TE), tahmin hatası (PE) ve nöron sayısıdır (N). Bu fonksiyonların farklı çiftleri (TE-PE), (N-TE) ve (N-PE), GMDH sinir ağ modellerinin pareto optimizasyonu için seçilmiştir. Elde edilen sonuçlara dayanarak, UD CFRP kompozitinin yorulma ömrünün modelini sunmak için uygun bir GMDH tipi sinir ağı seçilir. Dolayısıyla bu sinir ağı ve optimizasyonunun bir tasarımcı için daha optimal seçenekler sağladığı görülebilir.

Zhaohua (2010), çalışmada YSA, GA ve istatistiksel analiz yöntemlerine dayanarak, QFN (Quad Flat Non-lead) lehim bağlantılarının optimal tasarımı, yorulma ömrü tahmini ve parametre optimizasyonu incelenmiştir. İlk olarak, SPSS yazılımı kullanılarak, korelasyon katsayısı matrisi faktör analizi ile elde edilmiştir. Lehim bağlantısına ait hacim, uzunluk, genişlik, uzaklık değerleri giriş parametreleri; yorulma ömrü de çıkış parametresi olarak belirlenmiştir. Daha sonra doğrusal olmayan girdi ve çıktı parametreleri arasındaki ilişki kurulmuştur. Doğrusal regresyon yöntemi ağ performansını değerlendirmek için kullanılmıştır. GA, MATLAB yazılımı ile parametre optimizasyonu için kullanılmıştır. Sonuçta deneysel hata % 5, hata kareleri

toplamı (SSE) 0.0054 ve ortalama hata karesi (MSE) 0.0011 olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar eğitilmiş YSA'nın QFN lehim bağlantılarının ömür tahmininde kullanılabilirliğini göstermiştir.

Xu ve diğ. (2010), YSA kullanarak önceden aşınmış LC4 alüminyum alaşımının yorulma ömrünü tahmin etmeyi amaçlamışlardır. Örnekler aynı aşındırıcı ortama 24 saat, 48 saat ve 72 saat boyunca bırakılmıştır. Yorulma testleri farklı gerilme seviyelerinde yapılmıştır. Mevcut deneysel veri setleri, önerilen ağı eğitmek ve test etmek için kullanılmıştır. Gizli katmandaki en uygun düğüm sayısını belirlemek için, farklı sayıda gizli düğümle birkaç ağ modeli oluşturulmuştur. Bu çalışmada iyi performans gösteren uygun bir ağ mimarisi (2-15-1) önerilmiştir. Yöntemin verimliliğini değerlendirmek için deneysel sonuçlar, YSA tarafından öngörülen değerlerle karşılaştırılmış ve maksimum mutlak bağıl hatanın % 5'i geçmediği görülmüştür. Dolayısıyla, önceden aşınmış LC4 alüminyum alaşımının yorulma ömrünü tahmin etmek için YSA kullanmanın yeterli bir araç olduğu kanıtlanmıştır.

Abdalla ve Hawileh (2011), bu çalışmada YSA kullanarak çelik takviye çubuklarının düşük çevrim yorulma ömrünü tahmin etmek için bir model sunmuşlardır. Farklı gerilme genliği ve gerilme oranı değerlerinin çelik takviye çubukların yorulma ömrü üzerindeki etkisini araştırmak için de bir çalışma yapılmıştır. Bu testlerden elde edilen veriler YSA'yı eğitmek ve test etmek için kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda Coffin-Manson and Koh-Stephen modelleri, çelik takviye çubuklarının yorulma ömrünü tahmin etmek için kullanılmıştır. YSA'dan elde edilen tahminlerin, test verilerinin çoğunluğu için deneysel sonuçların ± 2 döngüsü içinde olduğu gözlenmiştir. YSA'nın çelik takviye çubuklarının yorulma ömrünü makul derecede iyi tahmin ettiği görülmüştür.

Al-Assadi ve diğ. (2011), elyaf takviyeli kompozitlerin farklı gerilme oranı değerleri altında yorulma ömrünü tahmin etmek için, farklı sinir ağı mimarileri kullanmışlardır. Farklı gizli nöronların sayısı, çeşitli eğitim algoritmalarına sahip sinir ağı tipleri (ileri beslemeli, ileri kademeli, Elman sinir ağı (ELM) ve katmanlı tekrarlayan ağ) kullanılmış ve karşılaştırılmıştır. Esnek BP algoritmasının, kullanılan malzemenin türüne veya ağ mimarisinin türüne bakılmaksızın tutarlı bir şekilde en iyi yorulma ömrü tahminlerini ürettiği bulunmuştur. Tek bir gizli katmanın kullanılmasıyla, 6 ila 12 arasında değişen bir dizi gizli nöron en iyi tahminleri

vermiştir. Kullanılan malzemeye ve ağ mimarisine bağlı olarak, elde edilen RMSE % 6.1 ile % 40 arasında değişmiştir. Sonuçlar YSA'nın, farklı gerilme oranı değerleri altında farklı malzemeler için doğru yorulma ömrü tahmini sağlayabildiğini göstermiştir.

Chen ve diğ. (2011), istatistiksel bir test yöntemi ile dönen makinedeki bir rulmanın yorulma ömrünü tahmin etmeye çalışmışlardır. Rulmanın yüksek hassasiyetli ömrü için GA kullanılarak, optimum matematiksel fonksiyonun araştırılmasını önerilmiştir. Önerilen yöntem, bir rulman için yorulma testinin denenmesiyle doğrulanmıştır. GA kullanarak yapılan tahminin, geleneksel yöntemlerden daha fazla geliştirilmiş olarak bulunmuştur. Önerilen yöntem kullanılarak tespit edilen optimum tahmin eğrisinin, doğrulama için verilere iyi bir uyum sağladığı gözlenmiştir.

El Kadi (2011), fiber takviyeli kompozit malzemelerin yorulma başarısızlığını tahmin etmek için YSA ve PC kullanmıştır. Bu çalışmada, her iki yöntem kullanılarak elde edilen yorulma ömrü tahminleri karşılaştırılmıştır. Tahmini etkileyen çeşitli parametrelerin etkisi sunulmuştur. Her ne kadar belirli bir mimari tutarlı bir şekilde en iyi tahminlere yol açmasa da, kullanılan YSA yapısının elde edilen tahmini etkilediğini görülmüştür. RMSE değerleri karşılaştırıldığında YSA, PC'den daha iyi tahminler sağlamıştır.

El Kadi ve diğ. (2011), farklı elyaf takviyeli kompozitlerin yorulma ömrünü tahmin etmek için PC yöntemini kullanmışlardır. Çalışmada çeşitli elyaf oryantasyon açılarına sahip farklı kompozit malzemeler göz önünde bulundurulmuştur. PC kullanılarak, sınıflandırıcıya daha yüksek dereceli terimler eklendiğinde, yeterli yorulma ömrü tahminleri elde edilmiştir. PC kullanılarak elde edilen tahminler deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır ve tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir.

Figueira Pujol ve Andrade Pinto (2011), çelik numunesinin yorulma ömrünü tahmin etmek için, YSA'ya dayalı istatistiksel bir dağılımın yapıldığı yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Yorulma ömrünü tahmin etmek için bir olasılık dağılımı, kümülatif dağılım fonksiyonu ile birleştirilmiştir. Model, çeliğin yorulma ömrü ile ilgili deneysel verilere uygun bulunmuştur. Karşılaştırma için, lognormal dağılım fonksiyonunu temel alan standart bir yaklaşım da uygulanmıştır. Her iki model de, maksimum

olabilirlik yöntemi kullanılarak evrimsel algoritma ile optimize edilmiştir. Yeni yaklaşımın sonuçlarını, lognormal dağılım fonksiyonu ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırmak için Kolmogorov Smirnov testi uygulanmıştır. Deneysel verilerle, yeni modelin standart modelden daha üstün olduğu görülmüştür.

Gao ve diğ. (2011), bu çalışmada klavuzun doğru çalışma durumunu değerlendirmek, bakım stratejisini yapmak ve işleme sırasında kalan ömrünü tahmin etmeyi amaçlamışlardır. Bunun için ömrü etkileyen faktörleri ve titreşim sinyali ile klavuz durumları arasındaki ilişkiyi analiz ederek, radyal temelli olasılıksal sinir ağlarına (RBPNN) dayanan bir klavuz durumu izleme sistemi inşa edilmiştir. RBPNN'nin parametresini ve yapısını optimize etmek için geliştirilmiş bir GA benimsenmiştir. Sonuçlar GA'nın, RBPNN'in yapısını ve parametrelerini optimize edebileceğini ve önerilen sistemin doğru strateji ve maliyet tasarrufu sağlayabileceğini göstermiştir.

Karakaş (2011), araştırmasında YSA yöntemi ile alüminyum kaynaklı birleştirmelerin yorulma davranışlarını ve yorulma eğrilerinin (S-N) belirlenmesini amaçlamıştır. Bunun için sabit genlik yüklemesine maruz kalan alüminyum kaynaklı yapılardan elde edilen yorulma verileri kullanılmıştır. Dört alüminyum alaşımının YSA yöntemiyle belirlenen sonuçları, S-N eğrilerinin saçılma bantlarında görüntülenmiştir. Elde edilen sonuçların test edilen verilerle iyi bir uyum içinde olduğu ve yorulma eğrilerinin belirlenmesini sağladığı görülmüştür.

Razzaq ve diğ. (2011), çeşitli geometrik boyutlara ve gerilme koşullarına maruz kalan ASTM A533 çeliğinin, yorulma ömrünü ve yorulma çatlak büyüme oranını tahmin etmek için YSA yöntemi uygulamışlardır. YSA modeli, MATLAB ortamı kullanılarak geliştirilmiştir. YSA sisteminden elde edilen sonuçlar, deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır ve YSA sonuçları, deneysel sonuçlarla iyi bir uyum göstermiştir. Elde edilen sonuçlar ile YSA yaklaşımı, yorulma ömrünü ve yorulma çatlak büyüme oranını öngörmek için uygun bulunmuştur.

Zhang ve Lin (2011), yorulma ömrü tahmini için YSA yöntemini kullanmış ve GA- BP ağı algoritması geliştirmişlerdir. GA-BP algoritmasına dayanarak, bir çelik örneğinin yorulma ömrü tahmin edilmeye çalışılmıştır. BP'nin ağırlıklarını belirlemek için GA kullanılmıştır. GA-BP ile öngörülen sonuç, test edilen sonuç ve Coffin-

Manson yöntemiyle elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yöntemin göreceli olarak yüksek doğruluğa sahip olduğu görülmüştür.

Ertaş (2012), belirli düzlem içi yüklere maruz kalan kompozit malzemelerin maksimum yorulma ömrü için ve kompozit laminatların optimum tasarımlarını bulmak için bir metodoloji önermiştir. Bu amaçla, Fawaz ve Ellyin tarafından önerilen yorulma ömrü tahmin modeli, parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritması ile birleştirilmiştir. Her katmandaki fiber oryantasyon açıları tasarım değişkenleri olarak alınmış ve tasarım sürecinde belirlenmiştir. Gerilme seviyesini artırarak ve farklı fiber açı sayısı ile yorulma ömründeki değişiklikler izlenmiştir. Yorulma ömrünün gerilme seviyesine çok duyarlı olduğu ve mümkün olan en iyi tasarımı elde etmek için çok sayıda, farklı oryantasyon açısı seçmenin gerekli olduğu belirtilmiştir.

Li ve diğ. (2012), literatürden alınan deneysel verilere dayanarak P91 çeliği için Elman YSA ile bir yorulma ömrü tahmin modeli oluşturmuşlardır. Model girişi olarak tutma süresi ve çıktı olarak yorulma ömrü seçilmiştir. Sinir ağı modelinin genelleme yeteneğini test etmek için bir destek vektör makinesi (SVM) modeli ile karşılaştırılmıştır. YSA modelinin test hatalarının, SVM modelinden çok daha az olduğunu görülmüştür. Test numunesi sayısının artırılması ve sonraki çalışmalarda deney sırasındaki belirsiz faktörlerin azaltılmasıyla, tahmin doğruluğunun ve modelin genelleme yeteneğinin artacağı düşünülmektedir.

Peng ve diğ. (2012), çok eksenli yükleme altındaki sarmal boru çalışma ömrünü tahmin etmek için BP yapay sinir ağına dayalı bir yöntem önermişlerdir. Üç katmanlı bir BP sinir ağı oluşturulmuş ve eğitim örnekleri ile eğitilmiştir. Duvar kalınlığı, çap, bükülme yarıçapı, iç basınç giriş vektörleri olarak kullanılırken; çevrim süreleri çıktı vektörü olarak alınmıştır. YSA modeli eğitim ve test örnekleri ile doğrulanmıştır. Öngörülen değerler deneysel verilerle karşılaştırıldığında, sonuçların tutarlı olduğunu görülmüştür. BP sinir ağı uygulayarak sarmal boru çalışma ömrünü tahmin etmenin uygulanabilirliği kanıtlanmıştır. Tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki maksimum nispi hata % 4.84 olarak hesaplanmıştır.

Salmalian ve diğ. (2012), deneysel verileri kullanarak, tek yönlü cam elyaf takviyeli plastik kompozitlerin yorulma ömrünün modellenmesi ve tahmini için geliştirilmiş GMDH tipi sinir ağlarının çok amaçlı pareto tabanlı optimizasyonu

için evrimsel algoritmaları uygulamışlardır. GMDH tipi sinir ağlarının bu çalışmada ele alınan önemli hedefleri eğitim hatası (TE), tahmin hatası (PE) ve nöron sayısıdır (N). Bu fonksiyonların farklı çiftleri (TE - PE), (N - TE) ve (N - PE), GMDH sinir ağı modelinin pareto optimizasyonu için seçilmiştir. Pareto sonuçları tüm optimal noktaları içerir ve yorulma ömrünü tahmin etmek için bunlardan biri uygun bir nihai model olarak seçilmiştir. Toplam deneysel veri sayısı 74'tür; bunlardan 50'si TE değerlendirmesinde, geri kalan 24 veri ise PE değerlendirmesinde kullanılmıştır. Pareto grafikleri GMDH tipi sinir ağlarının çok amaçlı tasarımı için daha uygun seçenekler sunmaktadır. Bu çalışmada optimal tasarım ilkeleri gibi önemli sonuçlar, sinir ağlarının çok amaçlı bir optimizasyon yaklaşımı kullanılarak elde edilmiştir.

Abdalla ve Hawileh (2013), bu çalışmada ilk çevrimde (W1), ortalama çevrimlerde (WA) ve tüm çevrimlerde (WT) harcanan toplam enerjiye dayanarak çelik çubukların yorulma ömrünü tahmin etmek için 7 YSA modeli (ANN-W1, ANN-WA, ANN-WT, ANN-W1WA, ANN-W1WT, ANN-WAWT, ANN-W1WAWT) geliştirmişlerdir. Çelik takviye çubuklarının yorulma ömrü döngüsel yüklemeye sırasında harcanan enerjiye bağlıdır. İlk çevrim enerji değeri, ortalama çevrim enerji değeri ve toplam çevrim enerji değeri sistemin girdi değerleridir. Burada MLP, bir gizli katmana sahip ileri beslemeli YSA ve BP algoritması kullanılmıştır. Çelik takviye çubuklarında yorulma ömürlerini ölçmek ve yüklemeye çevrimleri sırasında harcanan enerjiyi hesaplamak için kapsamlı deneysel testler gerçekleştirilmiştir. Önerilen denklemlerden elde edilen enerji verileri YSA'yı eğitmek ve test etmek için kullanılmıştır. YSA'nın öngörülen değerleri, deneysel olarak ölçülen değerlerle ve ayrıca doğrusal olmayan regresyon modelleri (NLR) tarafından öngörülen değerlerle karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda karşılaştırma YSA ve NLR modellerinin tek giriş parametresi ve giriş parametrelerinin bir kombinasyonuna dayalı olduğu durumlar için de yapılmıştır. Üç giriş değerinin (ANN-W1WAWT) YSA için giriş parametresi olarak kullanıldığında, korelasyon katsayısı (r) = 0.985, normalize edilmiş ortalama hata karesi (NMSE) = 0.0517 ve ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) = % 10.79 ile deneysel olarak ölçülen değerlere en yakın olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, tek bir giriş için en iyi YSA öngörüsü $r = 0.984$, NMSE = 0.096 ve MAPE = %12.89 (ANN-WA) olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, geliştirilen YSA modelinin çelik takviye çubuklarının yorulma ömrünü güvenilir bir şekilde tahmin etmek için kullanılabilceği görülmüştür.

Karakaş ve Tomasella (2013), YSA kullanarak, nüfuz etmemiş magnezyum (Mg) ve alüminyum (Al) kaynaklı yapıların yorulma ömrünü tahmin etmek için bir model sunmuşlardır. Yorulma verileri literatürdeki farklı kaynaklardan toplanmıştır. Farklı çentik ve gerilme genliği değerlerinde, Mg ve Al kaynaklı yapıların S-N eğrilerini belirlemek için YSA uygulaması ile bir yorulma ömrü modeli geliştirilmiştir. YSA kullanılmasıyla belirlenen sonuçlar, S-N eğrilerinin aynı saçılma bantlarında gösterilmiştir. Eğitilmiş sonuçların test edilen verilerle iyi bir uyum içinde olduğu ve YSA'nın nüfuz etmemiş kaynaklı Mg ve döngüsel yükleme altındaki Al bağlantıların S-N eğrilerini tahmin etmek için uygulanabilir olduğu gözlenmiştir.

Jin ve diğ. (2013), alaşımlı dökme çelik merdanelerin (ACSR) temas yorulma ömrünü tahmin etmek için YSA kullanmışlardır. Amaç, alaşım bileşiminin, ısıl işlem parametrelerinin ve temas gerilmesinin bir fonksiyonu olarak, ACSR'lerin temas yorulma ömrünü tahmin etmek ve ACSR gelişimini teşvik etmektir. Sinir ağı deneysel veriler kullanılarak eğitilmiş ve test edilmiştir. Daha sonra eğitilmiş sinir ağı modeli, farklı alaşım bileşimleri ve ısıl işlem süreçleri ile krom alaşımlı dökme çelik merdanelerin temas yorulma ömrünü öngörmek için kullanılmıştır. Sinir ağı eğitildikten sonra elde edilen tahminler, deneysel değerlerle karşılaştırılmıştır. YSA'nın çok iyi bir performans gösterdiği görülmüştür. İstatistiksel analiz, YSA tahmininin hata değerlerinin kabul edilebilir hata sınırları içinde olduğunu ve gerçek değerler ile tahminler arasında iyi bir uyum sağlandığını göstermiştir.

Lotfi ve Beiss (2013), toz metalurjisi (PM) çelik parçalarının yorulma limiti tahmini için YSA kullanmışlardır. Bu çalışma, çeşitli PM çelik parçalarının işleme parametrelerinin, dayanıklılık limitleri üzerindeki etkisini tahmin etme çabasıdır. Farklı deneysel koşullar altında üretilen çentiksiz PM çelik numunelerinin mevcut yorulma dayanımı verileriyle sinir ağı eğitilmiştir. Veriler, YSA tarafından yorulma dayanımını tahmin etmek için yayınlanan deneysel araştırmalardan toplanmıştır. Amaç, giriş verilerindeki (sıcaklık ve zaman) değişikliklere göre dayanıklılık limit trendlerini tahmin edebilen bir YSA oluşturmaktır. Levenberg-Marquardt (LM) eğitim algoritmasına sahip ileri beslemeli mimari, dayanıklılık sınırlarını tahmin edebilen bir model geliştirmek için kullanılmıştır. Sinir ağına zaman ve sıcaklığı daha objektif bir şekilde sunmak için, Larson-Miller parametresi kullanılmıştır. Bu çalışmanın diğer amacı, önceden belirlenmiş bazı dayanıklılık limit trendlerini elde etmek için en uygun

deney koşullarını etkin bir şekilde tahmin edebilecek bir sistem oluşturmaktır. Bunun için de GA kullanılmıştır. GA, hatayı en aza indirerek, en uygun giriş kombinasyonunu bulmaktadır. Modelin doğrulanmasının ardından, giriş parametrelerindeki değişikliklere göre hassasiyet ve dayanıklılık limitinin değişiminin görülmesi için bir Monte Carlo duyarlılık analizi yapılmıştır.

Susmikanti (2013), çalışmasında GA ve sinir ağları kullanarak alüminyum alaşımlarının yorulma ömrü tahmin etmek için modelleme ve simülasyon yaklaşımını kullanmıştır. GA ile optimal gerilme değerlerini elde etmek için simülasyon yapılmıştır. Deneysel veriler sinir ağı öğreniminde girdi verileri olarak uygulanmış ve örnek veriler eğitim verilerinin test edilmesi için kullanılmıştır. Sinir ağı yaklaşımı ile alüminyum alaşımlarının yorulma davranışı gözlemlenmiştir. Önerilen model ve simülasyon birkaç farklı gerilme seviyesinde, iki farklı alüminyum alaşımının Al6061T-6 ve Al7075T-6 yorulma davranışını test etmek için başarıyla uygulanmıştır.

Ertaş ve Sönmez (2014), çalışmalarında kompozit malzemelerin yorulma ömrünü tahmin etmek ve optimum tasarımlarını bulmak için bir metodoloji önermişlerdir. Her katmandaki fiber oryantasyon açıları tasarım değişkenleri olarak alınmış ve tasarım sürecinde belirlenmiştir. Fawaz ve Ellyin modeli, kompozit laminatların yorulma ömrünü tahmin etmek için kullanılmıştır. Optimizasyon prosedüründe bir SA algoritması kullanılmıştır. Gerilme seviyesini artırılarak, farklı gerilme durumlarında yorulma ömründeki değişiklikler izlenmiştir.

Mohanty ve diğ. (2014), üstel bir model uygulayarak, 7020-T7 alüminyum alaşımının yorulma ömrünü tahmin etmeye çalışmışlardır. Çalışmada öncelikle çatlak büyüme oranı hesaplanmış; daha sonra yorulma ömrü tahmin edilmiştir. Önerilen üstel modelin performansı, YSA ve uyarlamalı nöro-bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) ile karşılaştırılmıştır. ANFIS, YSA'nın ve bulanık çıkarım sisteminin (FIS) avantajlarını kullanan entegre bir sistemdir. Sonuçlar üstel modelin, YSA ve ANFIS ile karşılaştırıldığında çok daha iyi performans verdiğini göstermiştir. Üstel modelin öngördüğü yorulma ömrünün, sırasıyla % -4,37 ve % -2,48 olan YSA ve ANFIS'e kıyasla, maksimum % -0,65 sapma ile daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

Tapkın (2014), bitümlü (zift, katran) karışımların yorulma ömrü tahmini için YSA yöntemini kullanmıştır. Deneysel çalışmaları yaparken yorulma testleri,

kontrollü gerilme koşullarında bir test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yorulma ömrünün belirlenmesinde testi sonlandırmak için makro çatlak başlangıcı ana kriter olarak kabul edilmiştir. Çalışmada deneysel veriler eğitim seti olarak kullanılmış ve YSA kullanılarak Marshall örneklerinin yorulma ömürleri tahmin edilmiştir. Elde edilen değerler, gerçek test sonuçları ile karşılaştırılmıştır ve önerilen sinir ağı mimarisi ile bitümlü karışımların yorulma ömürleri hakkında makul tahminler elde edilmiştir. Farklı sayılarda denenen gizli katmanlar arasından, tek katmanlı en iyi performansı vermiştir. Çalışmada ayrıca dolgu maddesi yerine uçucu külün, bitümlü karışımların mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Uygun ve diğ. (2014), bu çalışmada farklı metal yapıları kompozitlerin YSA yaklaşımı kullanılarak, gerilme oranları, çentik geometrileri ve farklı sıcaklıklar için yorulma ömrü tahminleri yapılmıştır. BP algoritmasına dayalı olarak geliştirilen YSA modeli, LM öğrenme algoritması ile eğitilmiştir. Gerçek veriler ve öngörülen veriler MATLAB platformunda geliştirilen bir bilgisayar programı ile simüle edilmiştir. Tahmin edilen değerlerin çoğunun deney sonuçlarına çok yakın olduğu görülmüştür. Eğitim ve test verileri için RMSE değeri 0.007251 ve ortalama hata yüzdesinin (MEP) % 4.039562 olduğu tespit edilmiştir. Sonuçların kabul edilebilir hata sınırları içerisinde olduğunu görülmüştür. Bu çalışma, YSA'nın metal yapıları kompozitlerin yorulma ömrünü tahmin etmek için kullanılabileceğini göstermektedir.

Xiang ve diğ. (2014), doğal kauçuk kompozitlerin yorulma ömrünün tahmin edilmesi için BP-YSA modeli oluşturmuşlardır. Girdi değeri olarak, %100 gerilme, kopma uzaması, gerilme mukavemeti, viskoelastisite özelliği alınmıştır. Çıktı parametresi ise yorulma ömrüdür. Hangi girdi parametresinin çıktı üzerinde en büyük etkiye sahip olduğunu bulmak için, çıktı vektörünün kısmi türevini temel alarak, girdi vektörlerine duyarlı bir analitik yöntem uygulanmış ve maksimum hassasiyet katsayısı matrisi elde edilmiştir. Duyarlılık analizinde % 100 gerilme en önemli faktör olarak bulunmuştur. Kopma uzaması, yorulma ömrü üzerinde neredeyse aynı derecede etki gösterirken; gerilme mukavemeti en az katkıda bulunmuştur. Yorulma ömrü için ortalama tahmin doğruluğu % 97,3 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçların, kauçuk kompozitlerin yorulma özelliğinin daha iyi anlaşılmasını sağlayacağı ve yorulmaya karşı daha dirençli tasarımlar yapılmasına yardımcı olacağı belirtilmiştir.

Kamal ve diğeri (2015), bu çalışmada, dayanıklılık fonksiyon modeli ve sonlu elemanlar analizi ile birleştirilmiş GA prosedürleri kullanılarak bileşenlerin yorulma ömrünü tahmin etmek için bir metodoloji önermişlerdir. Önerilen metodolojide sonlu elemanlar analizi, dayanıklılık fonksiyon modelinin uygulamasını basitleştirmek için kullanılmıştır. Çalışma için iki çelik alaşımı EN3B soğuk haddelenmiş düşük karbonlu çelik ve C40 karbonlu çelik seçilmiştir ve literatürden deneysel yorulma ömrü verileri kullanılmıştır. Parametrelerin optimum değerlerini bulmak için GA kullanılmıştır. Üç boyutlu model, bilgisayar destekli tasarım yazılımı kullanılarak tasarlanmıştır ve sonlu eleman modeli ANSYS yazılımı kullanılarak geliştirilmiştir. Deneysel sonuçlarla yapılan karşılaştırma, modelin yorulma ömrünü doğru şekilde tahmin edebildiğini göstermiştir. Sonuçlar, önerilen metodolojinin, özellikle çentik hassasiyet faktörlerine olan ihtiyacı azaltarak, dayanıklılık fonksiyon modelinin uygulanmasını basitleştirdiğini göstermiştir.

Mohanty ve diğeri (2015), deneysel verilere dayanarak 2024 T3 alüminyum alaşımlarının yorulma çatlak yayılma ömrünü tahmin etmek için, GP tabanlı bir model sunmuşlardır. Sonuçlar GP'nin, yorulma çatlak büyüme oranı verilerini etkili bir şekilde yorumlayabildiğini göstermiştir. Çalışmada GP'nin sonuçları, YSA verileri ile istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır ve GP'nin, YSA'dan daha iyi tahmin doğruluğu sağladığı belirtilmiştir.

Vadood ve diğ. (2015), bu çalışmada polipropilen ve polyester elyaflar kullanarak, hibrit elyaf takviyeli sıcak asfalt karışım (HMA) numunelerinin yorulma ömrünü değerlendirmişlerdir. Yorulma ömrünü tahmin etmek için regresyon ve YSA olmak üzere iki model kullanılmıştır. YSA parametrelerini optimize etmek için GA kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, regresyon yöntemlerinin lif parametreleri ile yorulma ömrü arasındaki ilişkiyi tatmin edici bir şekilde modelleyememesine rağmen; GA ile optimize edilmiş YSA'nın, fiber takviyeli asfaltın yorulma ömrünü yüksek doğrulukla tahmin edebileceğini göstermiştir. Doğrusal regresyon modelinin, yorulma ömrünü tahmin etmek için uygun bir araç olmadığı görülmüştür. Ayrıca, en iyi sonucu elde etmek için popülasyon büyüklüğü, çaprazlama parametreleri (fonksiyon ve oran) ve seçim fonksiyonu gibi GA parametrelerini optimize etmek için deneme yanılma yöntemi uygulanmıştır.

Zhang ve diğ. (2015), bu makalede SVM parametrelerini GA ile optimize etmek için, GA'ya dayanan SVR tahmin modelini önermişlerdir. SVM tahmin sürecinde, parametrelerin seçimi ve optimizasyonu önemlidir. Parametre seçimi makul değilse, tahmin doğruluğu ve çalışma süresi etkilenmektedir. Tahmin için P91 çelik, esas metal ve kaynak sarf malzemesi olarak kullanılmıştır. Materyal örnekleri literatürden alınmıştır. GA'nın yanı sıra, PSO algoritması ile de bir model oluşturulmuştur. MSE ve R^2 modellerin değerlendirme göstergesi olarak seçilmiştir. Esas metal ve kaynak sarf malzemesi için, SVR, GA-SVR ve PSO-SVR modellerinden oluşan MSE ve R^2 değerleri karşılaştırılmıştır. Üç modelin tahminlerinin karşılaştırılmasında en yüksek hassasiyet ve en iyi sonuçları GA-SVR modeli vermiştir. Bunu PSO-SVR modeli ve SVR modeli izlemiştir. GA-SVR modelinin malzemelerin yorulma ömrünü yüksek doğrulukla tahmin edebileceği görülmüştür. GA'ya dayalı SVM parametrelerinin optimizasyonu, malzemelerin yorulma ömrünün öngörülmesi için iyi bir etkiye sahiptir. Ayrıca malzemelerin yorulma ömrünü tahmin etmek için SVM uygulamasının, yorulma test maliyetlerinin ve test süresinin azaltılmasına yardımcı olabileceği belirtilmiştir.

Mishra ve diğ. (2016), bu araştırmada, Al-Si-Mg bazlı alaşımların LCF ömrünü tahmin etmek için bir model geliştirmeyi ve incelenen alaşımın bazı önemli işlem parametreleri ile LCF ömrü arasında bir korelasyon oluşturmayı amaçlamışlardır. Tahmin yaklaşımı için çok katmanlı ileri beslemeli sinir ağına dayanan bir YSA modeli kullanılmıştır. Yorulma ömrünün doğru tahmin edilmesi için, mevcut literatürden elde edilen deneysel sonuçlar göz önünde bulundurulmuştur. Si (silisyum) içeriği, Mg içeriği, ısıl işlemler vb. gibi çeşitli işleme parametrelerinin LCF ömrü üzerindeki etkileri de oluşturulan ağ kullanılarak tahmin edilmiştir. Tahmin sonuçları alaşımdaki hem Si hem de Mg içeriğindeki artışla yorulma ömrünün arttığını göstermiştir. Sonuçlar literatürde yer alan bazı deneysel gözlemlere uygun bulunmuştur. Geliştirilen ağın $10^2 - 10^7$ çevrim aralığında yorulma ömrünü tahmin ettiği bulunmuştur. Oluşturulan sinir ağı ile öngörülen sonuçların çoğu iyi bir kabul edilebilirlik göstermiştir. Karşılaştırma grafiğinden, ağın düşük devirli yorulma ömrünü etkili bir şekilde öngördüğü açıktır.

Agius ve diğ. (2017), bu makalede P-3C uçakyükü spektrumları için, Chaboche olarak adlandırılan modelin parametrelerinin etkinliğini değerlendirmek için bir GA

kullanmışlardır. Yorulma ömrü tahmininde modelin kalibrasyonu ve uygulanması için, 7075-T6 alüminyum alaşımından elde edilen test verileri kullanılmıştır. Her bir optimizasyondan ve çeşitli iş akışlarından elde edilen parametreler daha sonra bir şirket içi yazılımı ile yorulma hesaplamalarında kullanılmıştır. Optimizasyon işleminden elde edilen Chaboche model parametrelerinin kullanımı, Masing modeli tahminleri ile karşılaştırıldığında, yorulma tahminlerini önemli ölçüde geliştirdiği görülmüştür. Optimizasyon işlemi için kullanılan GA, geleneksel yöntemlere göre önemli ölçüde geliştirilmiş tahmin sağlayan model parametrelerini tanımlamak için başarıyla kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, model parametrelerinin işlevine ve yorulma tahminlerine dair yeni bilgiler sunmaktadır.

Azarhoosh ve diğ. (2018), sıcak asfalt karışımlarının (HMA) yorulma ömrünü tahmin etmek için GP yaklaşımını kullanmışlardır. HMA numuneleri dört farklı çökeltmiş kalsiyum karbonat (PCC) içeriğinde (% 0,% 5,% 10 ve % 15), üç farklı test sıcaklığında (2 °C, 10 °C ve 20 °C) ve farklı gerilme seviyelerinde (100, 300 ve 500 kPa) test edilmiştir. Sonuçlar GP modelinin asfalt karışımlarının yorulma ömrünü yüksek hassasiyetle tahmin edebildiğini göstermiştir. Sertlik modülü ve başlangıç gerilme değişkenlerinin yorulma ömrüne etkisini incelemek için korelasyon analizi yapılmıştır. Sertlik modülünün, asfalt karışımlarının yorulma ömrü üzerinde, başlangıçtaki gerilimine kıyasla daha büyük bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Rohman ve diğ. (2018), değişken genlikli yükleme altında polimerik bazlı kompozit malzemelerin yorulma ömrünü tahmin etmek için, bir YSA'nın MLP modelini geliştirmişlerdir. YSA'nın ağırlıklarını optimize etmek için GA kullanılmıştır. İki farklı kompozit malzeme için YSA modeli, iki farklı gerilme oranından elde edilen yorulma verileriyle eğitilmiştir. Modelin doğruluğunu değerlendirmek için istatistiksel gösterge olarak MSE kullanılmıştır. En düşük MSE değerinin kaç iterasyonda, hangi eğitim seti ve ağ boyutu için elde edilebileceğini değerlendirmek için 3-way ANOVA testi kullanılmıştır. Denemeler sonucunda, en düşük MSE değerinin eğitim için veri seti 3 kullanılarak, maksimum 100 iterasyon ve 9 ya da daha fazla gizli düğüm sayısı kullanılarak elde edilebildiği bulunmuştur. Oluşturulan S-N eğrisinden YSA ile tahmin edilen değerlerin, deneysel verilerle tutarlı olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, YSA modelinin tüm gerilme oranları için yüksek doğrulukta tahminler üretebileceğini doğrulamıştır.

Song ve diğ. (2018), karmaşık yapıların güvenilirlik temelli tasarım optimizasyonu için bir fikir sunmuşlardır. Karmaşık yapılar için güvenilirlik esaslı yorulma ömrü tahmininin hesaplama verimliliğini ve doğruluğunu geliştirmek için, TV/PSO-GRNN (Time Varying/ Particle Swarm Optimization- General Regression Neural Network) olarak adlandırılan bir matematiksel regresyon modeli önermişlerdir. PSO-GRNN modeli, GRNN modelinin hesaplama doğruluğunu arttırmak için, PSO algoritması ile birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. TV/PSO-GRNN modeli kullanılarak bir uçak türbini bliskinin yorulma ömrü tahmini yapılmıştır. Ardından bu model, yanıt yüzey modeli (RSM), GRNN, PSO-GRNN modeliyle karşılaştırılmıştır. TV/PSO-GRNN modelinin performansı diğer yöntemlerden daha üstün bulunmuştur. Bu model hesaplama verimliliğini artırırken, kabul edilebilir bir hesaplama doğruluğu sağlamıştır. Yapılan simülasyon ve yorulma ömrünün olasılıksal dağılımı, türbin bliskinin yorulma ömrünün % 99.87 güvenilirlikle lognormal bir dağılıma uyduğunu göstermiştir. TV/PSO-GRNN modelinin, karmaşık yapıların güvenilirlik temelli yorulma ömrü tahmininde etkin bir yaklaşım olduğu gösterilmiştir. Ayrıca girdi değişkenlerinin yorulma üzerindeki hassasiyetleri ve etki olasılıkları için yapılan duyarlılık analizi, rotor hızının en önemli faktör olduğunu göstermiştir. Duyarlılık analizinde rotor hızını gaz sıcaklığı izlemiştir. Dolayısıyla, rotor hızı ve gaz sıcaklığı türbin bliskinin tasarımında öncelik dikkate alınmalıdır.

Xu ve Cui (2018), metal manyetik hafıza sinyallerine dayanarak, cıvatanın yorulma ömrünü tahmin etmek için bir SVM modeli oluşturmuşlardır. Bunun için yorulma testleri yapılmış ve cıvatanın farklı yükleme döngülerindeki sinyalleri ölçülmüştür. Girdi olarak 48 karakteristik parametre kullanılmıştır. Modelin parametreleri, ızgara arama, PSO ve GA olmak üzere üç yaklaşım kullanılarak optimize edilmiştir. GA cıvataların yorulma ömrü tahmininde, SVM modelinin parametrelerini optimize etmek için daha uygun bulunmuştur. Modelin, mühendislik yapılarının yapısal bütünlüğü için önemli olan cıvataların yorulma ömrünü tahmin etmede umut verici bir yol sunduğu belirtilmiştir.

Yan ve diğ. (2018), asfalt karışımlarının yorulma ömrünün tahmin etmek için, tek bir gizli katmana sahip YSA modeli oluşturmuşlardır. YSA için eğitim verisi elde etmek amacıyla farklı koşullar altında, dört nokta (dört noktalı eğilme testi (4PB), asfalt karışımlarının yorulma özelliklerini sürekli olarak değerlendirmek için

kullanılan güvenilir bir testtir) eğilme yorulma testi yapılmış ve eğitim için toplam 27 numune düzenlenmiştir. Bir karşılaştırma yapmak için, aynı veriler geleneksel ampirik bir tahmin modeli için kullanılmıştır. Sinir ağı modelinin R^2 değeri 0.91 olarak; ampirik modelin R^2 değeri ise 0.83 olarak hesaplanmıştır. RMSE ve istatistiksel analiz indeksleri ile, sinir ağı modelinin tahmin doğruluğu, ampirik modelden daha yüksek bulunmuştur. Uygulanan sinir ağı modelinin yorulma ömrünü öngörmeye etkili olduğu kanıtlanmıştır. Ayrıca, sinir ağı modelinden girdilerin çıktı üzerindeki etkisini ölçmek için yararlanılmıştır. Belirlenen ağırlıklara göre yorulma ömrü en çok asfalt içeriğinden etkilenmiş; ardından bunu gerilme seviyesi ve hava boşluğu izlenmiştir.

Ahmad ve diğ. (2019), farklı malzemeden kaynaklı bağlantıların yorulma ömrü tahminini, hızlandırılmış ömür testi ve YSA ile değerlendirmişlerdir. Hızlandırılmış ömür testi, bir materyalin arıza yapmasına kadar geçen süreyi tahmin etmek için kullanılmaktadır. YSA eğitimi için Bayesian ve LM olmak üzere iki antrenman algoritması kullanılmıştır. Bayesian algoritması, LM algoritmasından daha iyi bir performans sergilemiştir. Deneysel test verileri ve öngörülen yorulma ömrü sonuçları birbiriyle iyi bir uyum içinde elde edilmiştir. Hızlandırılmış ömür testi yaklaşımı farklı dağılımlar için değerlendirilmiştir ve % 95 güvenilirlikle Weibull dağılımı, yorulma verilerine en çok uyan dağılım olmuştur. Sonuçlar, değerlendirme yöntemlerinin farklı malzemeden kaynaklı bağlantı parçalarının ömür tahmini için etkili olduğunu göstermiştir.

Liu ve diğ. (2019), titreşim izolasyonu kauçuk malzemelerin yorulma ömrünü öngörmek için SVM kullanarak bir tahmin modeli oluşturmuşlardır. SVM'nin parametrelerini optimize etmek için modifiye bir yerçekimi arama algoritması (MGSA) önerilmiştir. Model, titreşim izolasyonu kauçuk malzemelerinin deneysel yorulma verilerine dayanarak eğitilmiştir. GA, PSO, SA ve MGSA, parametre optimizasyon yönteminin üstünlüğünü ve çalışma verimliliğini doğrulamak için karşılaştırılmıştır. Her bir algoritma 10 kez çalıştırılmış ve ortalama çalışma süresi hesaplanmıştır. Önerilen MGSA nispeten iyi bir verimliliğine sahip ve verimliliği, GA'ya yakın olan SA ve PSO'dan daha iyi bulunmuştur. Kapsamlı hassasiyet ve verimlilik analizi MGSA'nın en iyi performansa sahip olduğunu göstermiştir. SVM modelinin üstünlüğünü doğrulamak için bir BPNN modeli, titreşim izolasyon kauçuğunun yorulma ömrünü öngörmek için kullanılmıştır. MGSA ile optimize

edilmiş SVM modeli, BPNN modeli ile karşılaştırıldığında, SVM'nin tahmin doğruluğu BPNN'den daha yüksek olarak bulunmuştur.

Zou ve diğ. (2019), titanyum alaşımlı kaynaklı bağlantıların yorulma ömrünü tahmin etmek için PSO-SVRM modelini önermişlerdir. Öncelikle yorulma ömrünü etkileyen faktörlerin kapsamlı bir değerlendirmesini elde etmek ve yorulma ömrü tahmin doğruluğunu daha da artırmak için, kaba küme teorisi (RST) kullanılarak, mafsal tipi, levha kalınlığı vb. gibi yorulma ömrünü etkileyen faktörler için nitelik azaltma yoluna gidilmiştir. Daha sonra SVRM (Support Vector Regression Machine) modelinin parametreleri PSO algoritması ile optimize edilmiştir. PSO-SVRM modelinin yorulma ömrü tahmin değerleri, en küçük kareler yöntemi ile elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. PSO-SVRM modelinin tahmin sonuçlarının, gerçek yorulma ömrü verilerine çok daha yakın olduğu gözlenmiştir.

Kaynaklı veya kaynaklı yapı elemanları, bileşenleri, kompozit malzemeler, alaşımlar vb. gibi pek çok çeşitli malzemelerin yorulma ömrünü tahmin ederken tek bir metod kullanıldığı gibi; birden fazla metodun hibrit olarak kullanıldığı çalışmalar da literatürde yer almaktadır.

Ma ve diğ. (2010), metal kaynaklı bağlantıların yorulma ömrünü tahmin etmek için YSA'nın, GA ile optimize edilmesiyle elde edilen, karma genetik sinir ağı olarak nitelendirilen yeni bir yöntem önermişlerdir. YSA ile karşılaştırıldığında, karma genetik sinir ağı sonuçlarının daha iyi olduğu ve tahmin hatalarını etkili bir şekilde azalttığı görülmüştür. Metot, metal kaynaklı yapıların yorulma ömrü ile onu etkileyen çeşitli faktörler arasındaki ilişkiyi analiz ederek, yüksek bir tahmin doğruluğu ortaya koymuştur.

Mohanty ve diğ. (2010), çalışmalarında mod-I aşırı yükleme ile sabit genlikli yükleme altında yorulma ömrünü öngörmek için MLP sinir ağı önermişlerdir. Öncelikle iki alüminyum alaşımı 7020-T7 ve 2024-T3 üzerinde yorulma çatlak büyüme testleri yapılmıştır. Deneysel veri setleri, önerilen YSA modelini eğitmek için kullanılmıştır. Tahmin edilen sonuçlar, alüminyum alaşımları üzerinde yapılan deneysel verilerle ve ayrıca Wheeler modeliyle karşılaştırılmıştır. Modelin, test edilen yükleme koşullarında maksimum % + 4.0 hatayla yorulma ömrünü tahmin ettiği

gözlenmiştir. YSA deneysel bulgularla karşılaştırıldığında ömrü makul bir doğrulukla öngördüğü açıktır.

Yang ve diğ. (2013), alüminyum alaşımlı kaynaklı bağlantıların yorulma davranışlarını tahmin etmek için RST, karınca kolonisi algoritması (ACO) ve BPNN'ye dayanan yeni bir tahmin yöntemi kullanmışlardır. Önerilen yöntemde öncelikle, yorulma verileri üzerinde RST'nin gereksiz verileri azaltma yeteneği kullanılarak; minimum yorulma özellikli bir alt küme elde edilmiştir. Daha sonra minimum indirgenmiş alt küme, yorulma davranışı tahmin modelini oluşturmak için sinir ağı modeline girilmiştir. ACO algoritması, BPNN'nin ağırlıklarını optimize etmek için kullanılmıştır. RST-ACO-BPNN tahmin modelinin geçerliliğini doğrulamak için, alüminyum alaşımlı kaynaklı bağlantılarda uygulanmıştır. Simülasyon sonuçları önerilen yöntemin, alüminyum alaşımlı kaynaklı bağlantı noktalarının yorulma davranışlarını etkin bir şekilde tahmin edebileceğini göstermiştir. Ayrıca önerilen RST-ACO-BPNN modeli ile RST-BPNN modelinin tahmin sonuçları karşılaştırıldığında, RST-ACO-BPNN yönteminin tahmin etkinliği, RST-BPNN yönteminden daha iyi bulunmuştur.

Tablo 2.1: Çeşitli malzemelerin yorulma ömrü tahmini için YSA kullanılarak yapılan çalışmalar

YSA Mimarisi / Öğrenme Algoritması	YSA Kullanılan Yayınlar
İleribeslemeli Sinir Ağı Kullanılan Çalışmalar	Al Assaf ve El Kadi (2001), Bezazi ve diğ. (2007), Şekercioğlu ve Kovan (2007), Salmalian ve diğ. (2010), Figueira Pujol ve Verade Pinto (2011), Salmalian ve diğ. (2012), Susmikanti (2013), Rohman ve diğ. (2018), Kong ve diğ. (2019)
Geri Yayılım Algoritması Kullanılan Çalışmalar	Han (1995), Aymerich ve Serra (1998), Venkatesh ve Rack (1999), Pleune ve Chopra (2000), Sohn ve Bae (2000), Genel (2004), Junior ve diğ. (2005), Marquardt ve Zenner (2005), Vassilopoulos ve diğ. (2006), Mathur ve diğ. (2007), Cai ve diğ. (2008), Liao ve diğ. (2008), Al-Assadi ve diğ. (2010), Kumar ve diğ. (2010), Ma ve diğ. (2010), Zhaohua (2010), Xu ve diğ. (2010), Barsoum ve diğ. (2011), Zhang ve Lin (2011), Yang ve diğ. (2013), Mohanty ve diğ. (2014), Uygur ve diğ. (2014), Xiang ve diğ. (2014), Vadood ve diğ. (2015), Yang ve diğ. (2015), Mishra ve diğ. (2016), Mohanty (2016), Liu ve diğ. (2019)
İleribeslemeli Sinir Ağı'nın ve Geri Yayılım Algoritması'nın Birlikte Kullanıldığı Çalışmalar	Artymiak ve diğ. (1999), Srinivasan ve diğ. (2003), Al-Assaf ve El Kadi (2007), Park ve Kang (2007), Vassilopoulos ve diğ. (2007), Majidian ve Saidi (2007), Mathew ve diğ. (2008), Mohanty ve diğ. (2009), Xiao ve diğ. (2009), Mohanty ve diğ. (2010), Al-Assadi ve diğ. (2011), El Kadi (2011), Karakaş (2011), Razzaq ve diğ. (2011), Peng ve diğ. (2012), Abdalla ve Hawileh (2013), Karakaş ve Tomasella (2013), Jin ve diğ. (2013), Lotfi ve Beiss (2013), Tapkın (2014), Moghaddam ve diğ. (2016), Yan ve diğ. (2018)
Radyal Tabanlı Sinir Ağı Kullanılan Çalışmalar	El Kadi ve Al-Assaf (2002), Abdalla ve Hawileh (2011), Gao ve diğ. (2011)
Modüler Sinir Ağı Kullanılan Çalışmalar	El Kadi ve Al-Assaf (2002), El Kadi ve Al-Assaf (2007)
Diğer YSA Türleri Kullanılan Çalışmalar	Lee ve diğ. (1999), Tian (2009), Li ve diğ. (2012), Song ve diğ. (2018), Ahmad ve diğ. (2019)

Yang ve diğ. (2015), RST, YSA ve PSO algoritması ile titanyum alaşımlı kaynaklı bileşenlerin yorulma ömrünü tahmin etmek amacıyla hibrid bir modele dayanan yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Yorulma ömrü tahmin modelini oluştururken öncelikle RST'nin avantajları kullanılarak, gereksiz verileri azaltma ve kaynak bileşenlerinin yorulma ömrünü etkileyen temel faktörler belirlenmiştir. Ardından nitelikleri azaltılmış minimum özellikli alt küme sinir ağına girdi olarak kullanılmıştır. YSA'nın başlangıç parametrelerini optimize etmek için PSO algoritması kullanılmıştır. Örnek veriler ile modelden elde edilen veriler karşılaştırıldığında, önerilen yorulma ömrü tahmin modelinin daha yüksek hassasiyet ve daha doğru yorulma ömrü değerleri sağladığı sonucuna varılmıştır. PSO-BP yönteminin öngörü etkinliği, BP yönteminden daha iyi bulunmuştur.

Mohanty (2016), çalışmasında gerilme oranı etkisi altındaki AA 6061 alüminyum alaşımının yorulma çatlak büyüme oranını ve yorulma ömrünü tahmin etmek için ANFIS yöntemini uygulamıştır. Çalışmada öncelikle çatlak büyüme oranı hesaplanmış; daha sonra yorulma ömrü tahmin edilmiştir. ANFIS modelinin, alaşımın yorulma ömrünü -0.024 sapma yüzdesi ve 1.025 tahmin oranı ile makul derecede iyi tahmin ettiği görülmüştür.

Moghaddam ve diğ. (2016), polietilen tereftalat (PET) modifiye asfalt karışımının yorulma ömrünü tahmin etmek için SVM ve ateşböceği algoritması (SVM-FFA) uygulaması yapmışlardır. Girdi parametresi PET yüzdeleri, gerilme seviyeleri ve çevre sıcaklıkları olarak alınmıştır. Önerilen yöntemin performansı, gözlemlenen deneysel verilere göre doğrulanmıştır. Daha sonra SVM-FFA yaklaşımın tahmin sonuçları SVM, YSA ve GP yaklaşımını uygulayanlarla karşılaştırılmıştır. SVM-FFA'nın gözlemlenen deneysel veriler ile karşılaştırıldığında daha doğru sonuçlar sağladığı belirtilmiştir.

Deveci ve Artem (2017), farklı tasarım durumlarına göre farklı elyaf dizilimlerinden oluşan kompozit laminatların, optimum tasarımlarının bulunması ve yorulma ömrü tahmininin yapılması için, Yorulma Arıza Tensörü Polinomu (FTPF) olarak adlandırılan bir tahmin modeli uygulamışlardır. Modelin öngörü kabiliyeti, literatürdeki veriler kullanılarak deneysel bir korelasyon ile incelenmiştir. Korelasyon çalışması, FTPF'nin güvenilirliğini ve farklı kompozit materyallere uygulanabilirliğini göstermiştir. Optimizasyon için, GA'yı ve genelleştirilmiş model arama algoritmasını

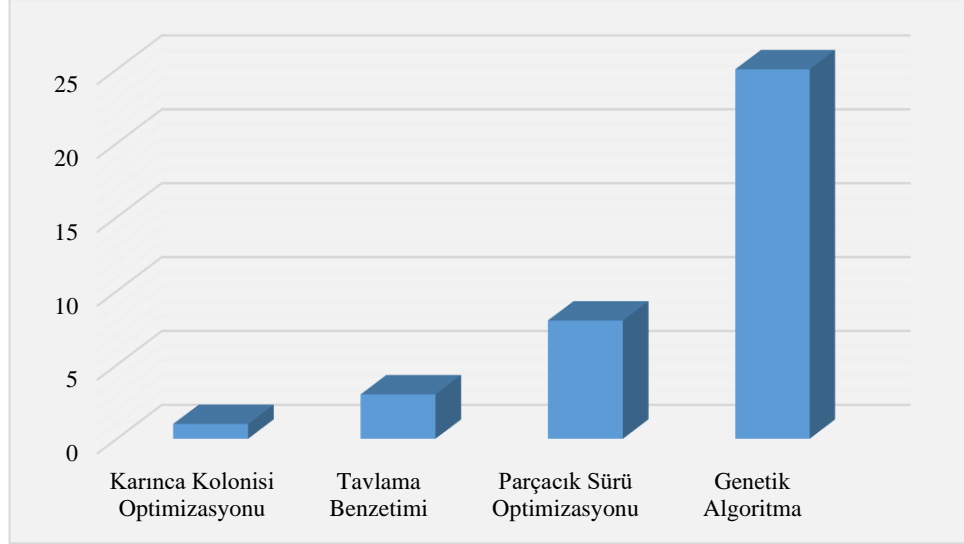
(GPSA) birleştiren bir hibrid algoritma kullanılmıştır. Tahmin eğrisinin verilere ne kadar iyi uyduğunu göstermek için, her laminat için regresyon analizi yapılmıştır. Hibrid algoritmanın sonuçları, literatürdeki farklı hibrit algoritmalar ile çalışılan sonuçlarla karşılaştırılmış ve literatürdeki en iyi sonuçlara kıyasla üstün veya en azından karşılaştırılabilir bir performansa sahip olduğu görülmüştür. Deneysel çalışmanın sonuçları FTPF modelinin, tek ve çok yönlü kompozit laminatların farklı davranış ve konfigürasyonlarla yorulma davranışını başarılı bir şekilde tahmin edebileceğini göstermiştir. Doğrulamalardan sonra, maksimum yorulma ömrünü veren ayrı lif açlarından oluşan optimum tasarımlar önerilmiştir.

Deveci ve Artem (2018), bu çalışmada farklı kompozit malzemeler üzerinde (grafit / epoksi, karbon / epoksi, cam / epoksi, karbon / PEEK laminatlar) FTPF, Fawaz - Ellyin (FWE), Sims-Brogdon (SB) ve Shokrieh – Taheri (ST) yorulma ömrü tahmin modellerinin tahmin yeteneğini ve maksimum yorulma ömrü için optimizasyon yeteneklerini karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Yorulma verileri literatürden alınmıştır. Sonuçlar önerilen modellerin, kompozit laminatların yorulma davranışını farklı yakınlık derecelerinde tahmin edebildiğini göstermiştir. Herhangi bir modelin, diğer modellere göre belirgin bir avantajı olmadığı; bununla birlikte FTPF ve SB modellerinin, yorulma davranışını diğer modellere kıyasla daha iyi tahmin ettiği görülmüştür. Optimizasyonda PSO ve GPSA algoritmasını birleştiren hibrid bir algoritma kullanılmıştır. PSO-GPSA hibrit algoritması literatürde yayınlanan verilerle karşılaştırılmıştır. Diğer algoritmalara göre daha kısa hesaplama süresi ve literatürde sunulan en iyi sonuçlara kıyasla daha iyi sonuçlar bulma kabiliyetine sahip olduğu görülmüştür. Modellerin kabiliyetleri ve algoritmanın güvenilirliği ortaya konulduktan sonra, farklı çevrimsel yükleme senaryoları içeren birkaç tasarım problemi çözülmüştür. Aynı zamanda bu optimizasyon çalışmasında, FTPF, FWE, SB ve ST modelleri kullanılarak yorulma ömrü için kompozit laminatların, yorulmaya dirençli optimum istifleme dizisi tasarımlarının araştırılması ve böylece modellerin gelecekteki potansiyel kullanılabilirliğinin belirlenmesi de ikinci bir amaç olarak belirtilmiştir.

Kong ve diğ. (2019) bu çalışmada, otomotiv helezon yaylarının yorulma ömrünü, taşıtın dikey titreşimlerine ve taşıt süspansiyon sisteminin doğal frekanslarına dayanarak tahmin etmek için hibrid çok katmanlı algılayıcı yapay sinir ağı (HMLP ANN) mimarileri, Coffin-Manson, Morrow ve Smith-Watson-Topper gerilim ömrü

modelleri ile birleştirmişlerdir. Optimum mimarileri belirlemek için, LM eğitim algoritması kullanılarak HMLP ANN modelleri eğitilmiştir. MSE, HMLP ANN modelleri tarafından yapılan tahminlerin doğruluğunu değerlendirmek için kullanılmıştır. En düşük MSE değerlerini verecek optimum HMLP ANN modellerini belirlemek için, gizli katmanların ve nöronların sayısı değiştirilmiştir. Üç model içinde, farklı sayıda gizli katman için elde edilen MSE değerleri karşılaştırılmıştır. En düşük MSE değeri 0.0117 ile üç gizli katmanı olan Morrow HMLP ANN modeli için elde edilmiştir. 0.0824 MSE değerine ve üç gizli katmana sahip olan eğitimli Smith-Watson-Topper HMLP ANN modelinin, otomotiv helezon yayının yorulma ömrünü tahmin edebildiği, ancak Coffin-Manson ve Morrow HMLP ANN modellerine kıyasla biraz daha düşük doğrulukta olduğu görülmüştür. Optimum HMLP ANN modellerinin doğruluğunu göstermek için, bu modeller tarafından öngörülen yorulma ömrü değerleri, korelasyon yaklaşımı kullanılarak hedeflenen yorulma ömrü değerleri ile karşılaştırılmıştır. R^2 değeri 0.9559'dan fazla hesaplanmıştır. Bu da eğitim ve test veri setleri ile optimum HMLP ANN modelleri ile tahmin edilen veriler arasında iyi bir uyum olduğunu göstermektedir. Optimum HMLP ANN modellerinin, otomotiv helezon yaylarının yorulma ömrünü kabul edilebilir doğrulukla tahmin edebildiği sonucuna varılmıştır. Otomotiv helezon yaylarının yorulma ömrünü doğru bir şekilde tahmin edebilen HMLP ANN mimarilerinin, araç süspansiyon sistemlerinin tasarım ve geliştirilmesinde, tasarımcı ve mühendislere büyük ölçüde kolaylık sağlayacağı düşünülmektedir.

Literatüre bakıldığında çeşitli malzemelerin yorulma ömrü tahmini için sezgisel algoritmalarından en çok GA'nın kullanıldığı görülmektedir. Bu sırayı GA'ya kıyasla daha az sıklıkta kullanılan, PSO algoritması izlemektedir. Bu çalışmada yararlanılan yapay arı kolonisi algoritması ile malzemelerin yorulma ömrü tahmini hakkında yapılan mevcut bir çalışmaya rastlanmamıştır.



Şekil 2.2: Malzemelerin yorulma ömrü tahmini için kullanılan sezgisel algoritmaların oranı

Bu çalışmada yorulma ömrü tahmini için bir yapay arı kolonisi algoritması kullanılmıştır. Geniş bir kategoriye sahip sezgisel algoritmalarından, diğer algoritmaların da tahmin çalışmalarında yer verilmesine destek olmak ve bu konuda yapılan araştırmalara katkı sağlamak amaçlanmıştır. Çünkü bilişim teknolojileri her geçen gün gelişmekte ve yeni algoritma, yöntem ve modellerin araştırılması ihtiyacını beraberinde getirmektedir.

3. MAGNEZYUM ALAŞIMI VE İÇYAPI DURUMLARI

3.1 Magnezyum

Magnezyum, yer kabuğunun ağırlıkça yaklaşık olarak % 2'sini oluşturan ve deniz suyunda çözünmüş olarak en bol bulunan üçüncü elementtir (Guo 2009).

Magnezyumun belki de en önemli özelliği, 1,7 g/cm³ gibi yapı malzemeleri içinde en düşük özgül ağırlığına sahip olmasıdır. Magnezyum, düşük yoğunluğundan dolayı araç ağırlığını azaltma potansiyeline sahiptir. Bu özelliğinden dolayı başta havacılık ve otomotiv endüstrisi olmak üzere birçok sektörde talep gören bir metaldir.

Magnezyum, spesifik dayanımı yüksek, aşınmaya ve darbelere karşı etkili bir şekilde direnebilecek bir metaldir. Özellikle deniz ortamında korozyona karşı oldukça dirençlidir. Bu sebeple uzay araçlarında, yüksek hızlı makine ve nakliye araçlarında da kullanılmaktadır.

Magnezyum alaşımları, hafifliği, işlenebilirliği, iyi kaynaklanabilirlik özelliği, üstün sönümleme özelliği, çevre dostu olması, yüksek mukavemet-ağırlık oranı gibi avantajlarından dolayı, makinelerin ve yapıların yüksek performans ve enerji tasarrufu sağlamak için çok tercih edilen malzemelerdir. Bundan dolayı günümüzde pek çok uygulamada yapısal malzemeler olarak ilgi görmeye başladılar.

Hafif metal alaşımlarından olan magnezyum alaşımlarının, endüstriyel alandaki kullanımlarının gelecekte daha fazla yaygınlaşacağı düşünülmektedir. Yeni alaşımlı çeşitlerinin geliştirilmesinin yanı sıra, kaynak ve birleştirme gibi tekniklerle, bu alaşımlardan daha fazla yararlanılması beklenmektedir. Bu çalışmaya yönelik olarak çeşitli yükleme koşullarında yorulma başarısızlığı doğru olarak tespit edilirse, magnezyum alaşımlarının kullanımı artacaktır.

3.2 AZ31 Magnezyum Alaşımı İçyapı Durumları

Mekanik bileşenlerin çoğu çevrimsel yüklerle karşı karşıya kalabilmektedir. Bu çeşitli yüklerden kaynaklanan maksimum gerilme, bileşen malzemesinin mukavemetinden daha az olsa da, bu yüklerin uygulandığı döngü sayısı belirli bir değere ulaşırsa, bileşenler üzerinde ani bir yapısal hasar meydana gelir. Bu yaygın olay “yorulma” olarak nitelendirilir (Karakaş ve Tüzün 2015).

Yorulma, bir malzeme çevrimsel yüklenmeye maruz kaldığında oluşan aşamalı ve lokalize yapısal hasardır. Yorulma süreci, genellikle yüksek gerilme yığılmalarının oluştuğu bölgelerde veya hatalı noktalarda çatlak oluşumunu ile başlar. Bir çatlak oluştuğunda, çevrimsel gerilme çatlağı yavaş yavaş büyütür ve yıpranma yavaş yavaş tüm kesite yayılır. Yıpranma nedeniyle kesitin geri kalan kısmı yükü taşıyamaz duruma gelir ve malzeme aniden kopar. Havacılık ve otomotiv endüstrisindeki makine elemanları ve türbin, kompresör, fan, pompa, gibi makine parçalarında görülen mekanik hasarların çoğu yorulma sonucu meydana gelmektedir.

Yorulma dayanımını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır ve bu faktörlerin tasarım aşamasında belirlenerek etkilerinin dikkate alınması gerekmektedir.

Yorulmaya neden olan temel faktörler şunlardır:

- Ortalama Gerilme: Eğer ortalama gerilme düşük bir değere sahipse, yorulma dayanımı fazla; yüksek bir değerde ise yorulma dayanımını az olmaktadır.
- Çentik Etkisi: Çentikli kısımlarda gerilme yüksek bir seviyededir. Dolayısıyla çentik, yorulma dayanımını azaltan bir faktördür. Çentikten dolayı gerilme yığılması oluşan kısımlarda iyileştirme yapılabilmesi adına, yüzey işlemleri uygulanabilir veya tasarım değiştirilebilir.
- Yüzey Kalitesi: Yüzey kalitesi azaldıkça, yorulma dayanımı da azalmaktadır. Örneğin, yüzey pürüzlülüğü yorulma mukavemetini olumsuz etkilemektedir. Pürüzler çentik etkisi göstererek çatlak oluşumunu kolaylaştırır.
- Parça Büyüklüğü: Malzemenin boyutu arttıkça, mukavemet değeri azalmaktadır.
- Sıcaklık: Sıcaklığın artması, yorulma ömrünü azaltan bir faktördür.

Korozyon, kesit etkisi, malzeme özellikleri (malzemenin cinsi, kimyasal bileşimi vb.), tasarım faktörleri yorulma dayanımını etkileyen diğer faktörlerdendir.

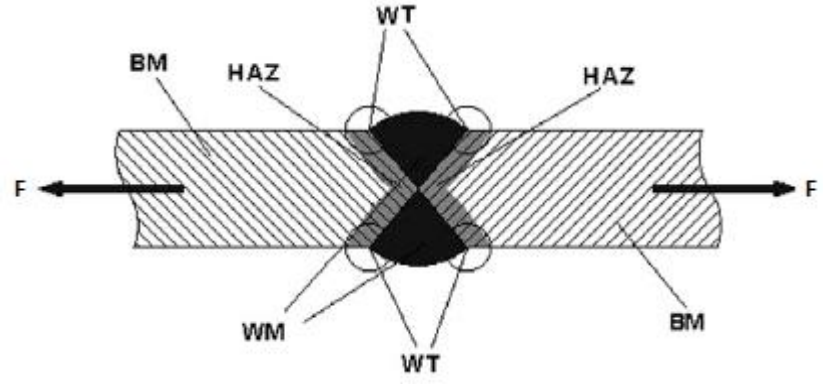
Yorulmaya genellikle içyapıdaki kusurlar etrafında oluşan yerel gerilme yığılmaları sebep olmaktadır. Çünkü yorulma, değişken gerilmeler altında malzemenin içyapısında meydana gelen değişimlerdir. İçyapı burada önemli bir noktadır. Çünkü bir malzemenin hem statik hem de değişken genlikli yüklemeler altındaki davranışları içyapılarına bağlıdır. Farklı içyapıya sahip malzemelerin doğal olarak farklı yorulma davranışları olmaktadır. Dolayısıyla yorulma olayı içyapı ile büyük ölçüde ilişkilidir.

Bu çalışmada AZ31 magnezyum alaşımının yorulma davranışlarını değerlendirmede üç farklı içyapı durumu dikkate alınmıştır:

- Esas malzeme,
- Isı tesiri altındaki bölge,
- Kaynak dikişi ya da kaynak metali

Bir malzemenin kaynak yapılmadan önce tek içyapı durumu vardır. Kaynak yapıldıktan sonra üç farklı içyapı durumu ortaya çıkmaktadır. Kaynak yapılmasının ardından ortaya çıkan bu farklı içyapı durumlarının sebebi ısı değişimidir. Sıcaklıktan dolayı içyapı değişmekte ve dolayısıyla farklı mekanik davranışlar elde edilmektedir. Bir malzemenin mukavemeti direkt içyapıyla alakalı olduğu için de farklı yorulma davranışları elde edilecektir.

Kaynak yapıldıktan sonra artık kenarlarda esas malzeme, tam ortada kaynak dikişi ya da kaynak metali, kaynak metali ile esas malzeme arasındaki bölge de ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) olarak nitelendirilir. İçyapı durumları Şekil 3.1'de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.1: İçyapı durumları (Karakaş 2013)

Burada, “WT” kaynak ucu, “BM” esas malzeme, “WM” kaynak metali ve “HAZ” ifadesi ısı tesiri altındaki bölge İTAB anlamına gelmektedir.

4. SEZGİSEL ALGORİTMALAR

Günlük hayatta, hemen hemen her insan yaşamın her alanından karmaşık problemlerle karşı karşıya kalabilmekte ve bu problemlere çözüm bulmaya çalışmaktadır. Yeni çözüm yolları, alternatif teknikler, çeşitli yöntemler bu çözüm ihtiyacını karşılayabilmek için ortaya çıkmıştır. Fakat bazı durumlarda insan beyni bu görevi yerine getiremez ve bir problemle baş etmek için yeni arayışlara yönelir. Bu noktada bilgisayarlar inanılmaz derecede karmaşık sorunları çözmek için kullanılmaktadır. Yazılımlar, uygulamalar, programlar, algoritmalar vb. bu yolda istenen amaçlara ulaşılmasını sağlayan araçlardır.

Pratikte ortaya çıkan ve verimli bir şekilde çözülmesi gereken çok sayıda ve çeşitli karmaşık problemin, optimal çözümler bulma girişiminde etkin yöntemler geliştirilmiştir. İşlem hızının, elde edilen çözüm kalitesi kadar önemli olduğu bu yöntemlere “Sezgisel Algoritmalar” denir (Marti ve Reinelt 2011). Sezgisel kelimesinin İngilizce karşılığı olan “heuristic” Yunanca kökenlidir ve bulmak, keşfetmek anlamına gelmektedir. Algoritma ise, bir problemin çözümü için adım-adım gerçekleştirilen işlemlerdir. Dolayısıyla sezgisel algoritmalar için, bir problemi çözüme kavuşturmak amacıyla izlenen adımlar oluşturduğunu söyleyebiliriz.

Sezgisel algoritmalar optimizasyon problemlerinin çözümünde yararlanılmaktadır. Bu problemlerde amaç, tüm olası çözümlerin en uygununu bulmaktır, yani bir amaç fonksiyonunun minimum veya maksimum çözümünü bulmaktır. Sezgisel algoritmalar optimum çözümü garanti etmezler fakat optimuma yakın bir çözüm elde edebilirler.

Optimizasyon problemlerine çözüm bulmak için sezgisel algoritmalar kullanmak daha avantajlıdır. Çünkü gerçek hayattaki optimizasyon problemlerinin çoğu matematiksel modelleme yoluyla çözülemeyecek kadar karmaşık olabilmektedir. Ayrıca bu tür bir problemin çözümü uzun sürebilir ve buna rağmen istenilen netice elde edilemeyebilir. Bu algoritmalar daha az matematiksel ihtiyaç gerektirir ve doğrusal olmayan problemlere de etkili çözümler sunar.

Sezgisel algoritmalar, biyolojik tabanlı sürü tabanlı, sosyal tabanlı, fizik ve kimya tabanlı, müzik tabanlı, stokastik, deterministik vb. gibi oldukça geniş bir

kategoriye sahiptir. Genetik Algoritma (Genetic Algorithm-GA), Karınca Kolonisi Optimizasyonu (Ant Colony Optimization-ACO), Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization-PSO), Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony-ABC), Diferansiyel Gelişim Algoritması (Differential Evolution Algorithm-DEA), Tavlama Benzetimi (Simulated Annealing-SA) literatürde en çok kullanılan sezgisel algoritmalarındandır.

Bu çalışmada ele alınan, döngüsel gerilmelere maruz kalan malzemelerin yorulma davranışlarının belirlenmesi önemli bir konudur. Maliyetlerdeki artış ve zaman, yorulma ömrü tahmini yapmak için daha etkili yöntemler arayışına sevk etmiştir. Bu sebeple sezgisel algoritmalar gibi yorulma davranışlarını hızlı bir şekilde değerlendirebilen, aynı zamanda doğru tahminler yapılabilen sistematik yöntemlerin kullanılmasına ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada, magnezyum alaşımının içyapı durumlarına göre yorulma ömrü tahmini yapmak için sezgisel algoritmalarından yapay arı kolonisi algoritması kullanılmıştır.

4.1 Yapay Arı Kolonisi Algoritması

4.1.1 Tanımı

Optimizasyon problemlerinin çözümü için geliştirilen sezgisel algoritmaların biride 2005 yılında Derviş Karaboğa tarafından ortaya atılan yapay arı koloni algoritmasıdır (Gao ve Liu 2012).

Sürü zekâsına dayanan yapay arı kolonisi algoritması, popülasyon tabanlı bir optimizasyon algoritmasıdır. Sürü zekâsı, birbirleriyle etkileşim içerisinde olan bireylerin topluca sergilemiş oldukları zeki davranışlardır. Sürü içerisindeki bireylerin sergilemiş oldukları bu zeki davranışlar birçok problemin çözümünde esin kaynağı olmuştur. Bu algoritma ise bal arılarının besin ararken sergilemiş oldukları davranışlardan esinlenerek ortaya çıkan bir algoritmadır.

4.1.2 Yapay Arı Kolonisi Algoritmasının Uygulama Alanları

Arıların sergilemiş oldukları davranışlar birçok araştırmacının dikkatini çekmiş ve onları bu davranışları modellemeye yönlendirmiştir. Oldukça esnek bir çalışma şekline sahip olan ve az sayıda parametre bulunduran yapay arı koloni algoritması, araştırmacılar tarafından çoğunlukla çeşitli optimizasyon problemlerinin (Xiang ve diğ. 2014^a) çözümünde kullanılmıştır.

Yapay arı koloni algoritması, kısıtlı optimizasyon problemlerinde (Karaboğa ve Akay 2011), çok amaçlı optimizasyon problemlerinde (Omkar ve diğ. 2011), veri kümeleme (Zhang ve diğ. 2010), (Karaboğa ve Öztürk 2011), görüntü analizi (Banharnsakun ve diğ. 2011), (Hornig 2011), (Ma ve diğ. 2011), araç rotalama problemlerinde (Szeto ve diğ. 2011), (Yao ve diğ. 2013), (Zhang ve diğ. 2014), portföy problemlerinin çözümünde (Chen 2014), (Chen ve diğ. 2014), (Milan ve Nebojsa 2014), gezgin satıcı problemlerinde (Akça 2011), (Koçer ve Akça 2014), sıralama ve montaj hattı dengeleme problemlerinde (Saif ve diğ. 2014), (Kalaycı ve Gupta 2013), iş çizelgeleme (Zhang ve diğ. 2013) ve üretim çizelgeleme (Banharnsakun ve diğ. 2012), (Liu ve diğ. 2013) gibi birçok mühendislik problemlerinde başarıyla uygulanmıştır.

Yapay arı kolonisi algoritması, başta endüstri ve bilgisayar mühendisliği olmak üzere mühendislik, havacılık ve uzay bilimi gibi farklı alanlardaki uygulamalarından başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

4.1.3 Arıların Besin Arama Davranışları

Her bir bal arısının, besin bulma, taşıma, gözetme gibi belli görevleri bulunmaktadır ve arılar bu görevleri içgüdüsel olarak, kusursuz bir düzen içerisinde gerçekleştirirler.

Arı kolonisi algoritmasının çalışma prensibinde öncelik besin aramadır. Besin arama süreci arının kovandan ayrılmasıyla başlar ve rastgele yapılan aramalarla devam eder. Eğer bulunan kaynakta besin miktarı azalır, arılar yeni besin aramaya veya

diğer arılardan alınan bilgiye göre farklı kaynaklara yönelmeye başlarlar. Sürü zihniyetinin bir faktörü olan iş paylaşımı arılarda açıkça görülmektedir.

Arıların besin aramada ortaya çıkan bu akıllı davranışları şöyle özetlenebilir:

1. Besin arama işleminin ilk aşamasında, arılar bir besin kaynağı bulmak için çevreyi rastgele araştırmaya başlarlar.

2. Bir besin kaynağı bulduktan sonra, işçi arı keşfedilen kaynaktan yararlanmaya başlar. Nektarla birlikte kovana döner ve nektarı boşaltır. Nektarı boşalttıktan sonra, doğrudan keşfedilen kaynağa geri dönebilir veya dans alanında bir dans gerçekleştirerek kaynak bölgesi hakkında bilgiyi paylaşabilir. Kaynağı tükenirse, kâşif arı olur ve rastgele yeni bir kaynak aramaya başlar.

3. Kovanda bekleyen gözcü arılar, dansları izler ve kaynağın kalitesiyle orantılı bir dansın sıklığına bağlı olarak bir kaynak alanı seçerler.

Arılar bu bilgi paylaşımı ve iletişimi dairesel dans, kuyruk dansı ve titreme dansı gibi çeşitli danslar ile gerçekleştirmektedirler. Bu danslar ile besin kaynağının yönünü, besin kaynağının kovandan ne kadar uzakta olduğunu ve nektar kalitesi hakkında edindikleri bilgileri diğer arılarla paylaşırlar. Örneğin, dairesel dans besin kaynağının 50-100 metre mesafede bulunduğu belirten bir dans çeşididir. Titreme dansı tespit edilen kaynağın nektar miktarını ve kalitesini ifade eden danstır. Sekiz rakamına benzeyen kuyruk dansı ile konum bilgisini, güneş ışığı ile yörüngeleri arasındaki açıyı hesaplayabilme yetenekleri sayesinde birbirleriyle paylaşırlar. Yön bilgisi ise sekiz rakamı şeklindeki dansın açı bilgisinden elde edilir. Dansın tekrarlanma sayısı, besin kaynağının uzaklığı hakkında bilgi verir. Daha az tekrarlanması daha uzak bölgelerde olduğu anlamına gelmektedir (Koçer ve Akça 2014).

Arı kolonisi üç grup arıdan oluşmaktadır: işçi arılar, gözcü arılar ve kâşif arılar.

- İşçi Arılar: Nektar miktarının fazla olan yiyecek kaynaklarını araştırırlar. Her bir besin kaynağında bir işçi arı görevli olduğu için, işçi arı sayısı ile besin kaynağı sayısı birbirine eşittir.

- Gözcü Arılar: İşçi arılardan besin kaynaklarına ait bilgileri alır ve sonra besin miktarının fazla olduğu kaynağa yönelirler.
- Kâşif Arılar: Besin kaynaklarının keşif işleminde görevlidirler. Yapay arı kolonisindeki temel varsayımlardan biri işçi arı ile gözcü arı sayısının birbirine eşit olmasıdır. Bir besin kaynağında nektar tükendiği zaman, o kaynakta görevli olan arı kâşif arı olur ve farklı kaynak arayışına başlar.

4.1.4 Yapay Arı Kolonisinin Temel Adımları

Adım 1: Başlangıç besin kaynaklarının rastgele olarak belirlenmesi

Adım 2: İşçi arıların besin kaynaklarına gönderilmesi

Adım 3: İşçi arıların besin kaynaklarını değerlendirmesi

Adım 4: Besin kaynaklarına ait olasılık değerlerinin bulunması

Adım 5: Olasılık değerlerine göre gözcü arıların belirledikleri besin kaynaklarına gitmeleri

Adım 6: Kâşif arıların yeni besin kaynakları bulması

Adım 7: Sonlandırma koşulu sağlanması

Algoritmanın temel adımları detaylandırılarak genel başlıklar altında aşağıdaki gibi açıklanmıştır.

4.1.4.1 Başlangıç Besin Kaynaklarının Belirlenmesi

İlk adım besin kaynaklarının yerinin tespit edilmesidir. Yapay arı kolonisi algoritmasında bir besin kaynağının yeri, problem için olası bir çözümü simgeler. Besin kaynağının nektar bakımından kalitesi ise çözümün amaç fonksiyonu ile temsil edilir (Kang ve diğ. 2009).

Ayrıca burada, arıların besin kaynağını terk etmesi için belirlenen deneme sayısı değeri yani durdurma kriteri (limit değeri) tespit edilir ve başlangıçta tüm besin kaynakları için geliştirilememeyi ifade eden sayaç değişkeni oluşturulur.

Yeni besin kaynağı (4.1) eşitliği kullanılarak hesaplanır:

$$x_{ij} = x_j^{min} + rand(0,1)(x_j^{max} - x_j^{min}) \quad (4.1)$$

Burada:

- “ i ” popülasyondaki besin kaynaklarını, $i=\{1,2,\dots,NS\}$ NS : besin kaynaklarının sayısını,
- “ j ” parametreleri, $j=\{1,2,\dots,D\}$ D : problemin parametre sayısını,
- “ x_j^{min} ” ve “ x_j^{max} ” ise sırasıyla j . parametrenin alt ve üst limitlerini göstermektedir.

4.1.4.2 İşçi Arıların Besin Kaynaklarına Gönderilmesi

İkinci adımda işçi arılar rastgele besin kaynaklarına yönelerek, herhangi bir besin kaynağını işlemeye başlarlar. Bu kaynağa ait besin kalitesi yani amaç fonksiyonu hesaplanır. Hesaplanan çözüm değeri, önceki çözüm değerine göre daha iyi ise bu besinle ilgili bilgiler hafızaya alınır. Eğer çözüm değeri geliştirilemezse limit değeri bir arttırılır; aksi durumda sayaç sıfırlanır. Limit değerinin, bir üst değeri aşıp aşmadığı kontrol edilerek, algoritmanın sonsuz döngüye girmesi engellenir.

Bu durum (4.2) eşitliğiyle açıklanır (Akay ve Karaboğa 2012):

$$v_{ij} = x_{ij} + \Phi_{ij}(x_{ij} - x_{kj}) \quad (4.2)$$

Burada:

- “ x_i ”, işçi arının seçmiş olduğu o anki çözümü belirtir.
- “ v_i ”, “ x_i ” komşuluğunda bulunan yeni bir çözümdür yani yeni kaynağın yerini ifade etmektedir.
- “ k ”, $[1, NS]$ aralığında rastgele bir tam sayıdır.
- “ x_k ”, besin kaynağı popülasyonundan seçilen rastgele bir çözümdür ve x_i 'den farklı olmalıdır.

- “ j ”, $[1, D]$ aralığında rastgele bir tam sayıdır.
- “ Φ_{ij} ”, $[-1, 1]$ aralığında seçilmiş rastgele bir değerdir.

4.1.4.3 Gözcü Arıların Besin Kaynaklarına Gönderilmesi

Tüm işçi arılar besin arama safhası tamamlandıktan sonra kaynak hakkında edindikleri bilgileri gözcü arılarla paylaşırlar. Gözcü arı, besin kaynağını nektar miktarı ile orantılı bir olasılıkla seçmektedir ve bu olasılık değerleri aşağıdaki (4.3) eşitliğiyle hesaplanmaktadır (Gao ve Liu 2012):

$$p_i = \frac{fit_i}{\sum_1^{NS} fit_i} \quad (4.3)$$

Burada:

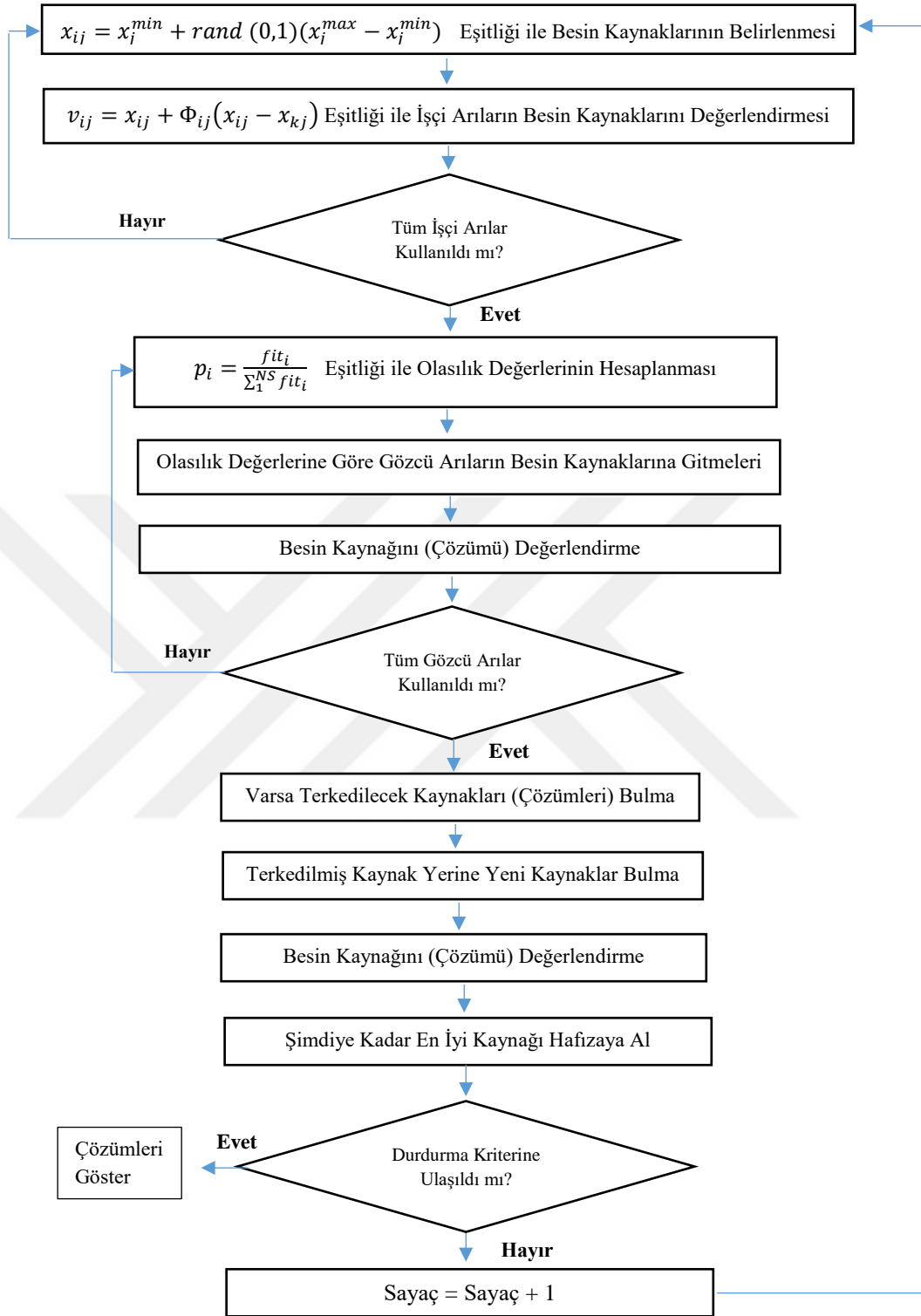
- “ fit_i ” i.kaynağın uygunluk değerini ifade etmektedir.
- “ NS ”, işçi arı sayısını göstermektedir.
- “ p_i ”, her bir çözüm için olasılık değerlerini göstermektedir.

4.1.4.4 Kâşif Arılar İle Yeni Besin Kaynaklarının Bulunması

Bütün arılar görevlerini tamamladıktan sonra sayaç değişkeni kontrol edilir. Eğer sayaç değeri, limit değerine ulaşmışsa, amaç fonksiyonu değeri daha da iyileştirilemiyorsa kâşif arılar yeni bir besin kaynağı arayışına girer.

4.1.4.5 Algoritmanın Sonlanması

En iyi kaynağı bulmak için gerçekleştirilen tüm bu adımlar algoritmanın bir çevrimini oluşturur ve maksimum çevrim (iterasyon) sayısına ulaşılan kadar bu adımlar devam eder.



Şekil 4.1:Yapay Arı Kolonisi akış diyagramı

5. YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASININ PROBLEM UYGULAMASI

5.1 Önerilen Yorulma Ömrü Tahmin Modeli

Yorulma ömrü, numunelerin her birine farklı periyodik gerilmeler uygulanarak, malzemenin kırılmasına veya çatlamasına kadar direnç gösterebildiği süre ya da çevrim sayısıdır.

Tahmin etmenin doğruluğu, hem verilerin özelliklerine hem de kullanılan tahmin modeline bağlıdır. Önemli olan, verilerin özelliklerine de uygun olan en doğru model ya da modellerin seçilmesidir. Yorulma ömrü tahmininde, deneysel sonuçlara en iyi uyan verileri üreten model bizim için geçerli olacaktır. Kullanılacak fonksiyon toplam hatayı en aza indirerek, en isabetli tahmin değerlerini vermelidir.

5.1.1 Üstel Trigonometrik Model

Magnezyum alaşımının yorulma ömrü tahmin problemi için, bu bölümde üstel trigonometrik bir model önerilmiştir.

Üstel-trigonometrik fonksiyon Eşitlik (5.1) 'de gösterildiği gibidir:

$$f = |w_1| + |w_2|e^{w_3x_1+w_4x_2+w_5x_3+w_6}|\tanh(w_7x_1 + w_8x_2 + w_9x_3 + w_{10})| \quad (5.1)$$

Önerilen modelde gösterilen “ x_1 ”, “ x_2 ” ve “ x_3 ” değişkenleri, probleme ait girdi değerlerini temsil etmektedir. Burada, “ x_1 ” çentik faktörü (K_t), “ x_2 ” gerilme oranı (R) ve “ x_3 ” gerilme genliği (σ) değeridir. Çıktı değeri ise belirli bir gerilme seviyesine karşılık gelen çevrim sayısı (N_B), yani yorulma ömrüdür. “ w_i ” ise parametrelerin karşılık gelen ağırlık faktörlerini göstermektedir.

- **Çentik Faktörü (K_t)** : Çentik, bir malzemedeki ani kesit değişimidir. Çentikten dolayı gerilme yığılması oluşmakta ve daha büyük gerilmeler meydana gelmektedir.

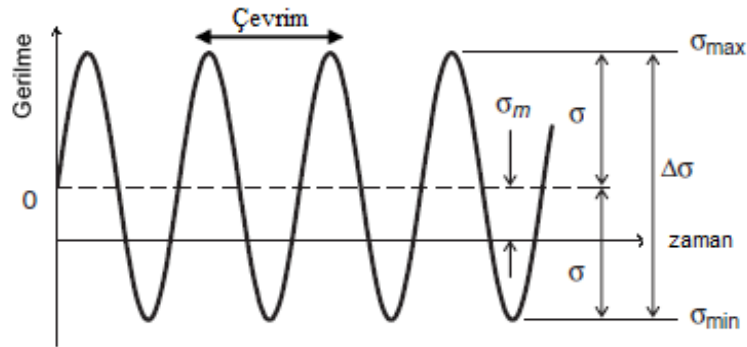
$$K_t = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_n} \quad (5.2)$$

Eşitlik (5.2)' de, “ K_t ” çentik faktörü, “ σ_{max} ” max gerilme ve “ σ_n ” nominal gerilme değeridir.

Probleme ait iki farklı “ K_t ” değeri bulunmaktadır: “ $K_t = 1$ ” ve “ $K_t = 11,2$ ”. Çentiksiz parçalar daha yüksek yorulma ömrü gösterir. Çünkü gerilme ile yorulma ömrü ters orantılıdır. Keskin çentiklerde gerilme daha çok artmaktadır (Karakaş ve Gülsöz 2012). Dolayısıyla “ K_t ” ne kadar keskin olursa yorulma ömrü o kadar kısa olacaktır.

- **Gerilme Oranı (R)** : Maksimum gerilmenin, minimum gerilmeye oranı ($R = \sigma_{min}/\sigma_{max}$) olarak ifade edilmektedir. Problemden kullanacağımız iki gerilme oranı değeri vardır. Bunlar “0” ve “-1” dir. Gerilme oranı “ $R = -1$ ” ise tam değişken yükleme, “ $R = 0$ ” ise çekme gerilmesi yüklemesidir.

- **Gerilme Genliği (σ)** : Gerilme aralığının ($\Delta\sigma$) yarısıdır. Gerilme genliği ve ortalama gerilme ne kadar büyükse, malzemenin ömrü de o kadar kısa olmaktadır.



Şekil 5.1: Tek kademeli bir yüklemde tanım değerlerinin şematik gösterimi (Dowling 2009)

Bu çalışmada esas malzeme, kaynak metali ve ısı tesiri altındaki bölge için, “ $K_t = 1$ ” ve “ $K_t = 11,2$ ” çentik değerleri, “ $R = -1$ ” ve “ $R = 0$ ” gerilme oranı değerleri ve her bir numuneye karşılık gelen gerilme genliği değerlerinden oluşan ve her biri için ayrı kategoride yapılan deneysel sonuçlardan yararlanılmıştır. İkinci danışmanım Doç. Dr. Özler Karakaş’ın, Almanya’nın Darmstadt Şehri’nde bulunan

Fraunhofer İşletme Dayanımı ve Sistem Güvenilirliği Enstitüsü'nde (Fraunhofer Institute for Structural Durability and System Reliability, LBF) yapmış olduğu deney sonuçları kullanılmıştır (Karakaş 2006, Karakaş ve diğ. 2007).

5.2 Veri Setleri

Algoritmanın, magnezyum alaşımının yorulma ömrünü tahmin etmedeki etkinliği test etmek için 17 tane esas malzeme, 17 tane kaynak metali ve 19 tane ITAB numunesine ait veri setleri kullanılmıştır. Üç içyapı durumu için, her bir numuneye ve girdi parametrelerine karşılık gelen deneysel değerler sırasıyla Tablo 5.1'de, Tablo 5.2'de ve Tablo 5.3'te sunulmuştur.

Tablo 5.1: Esas malzeme veri seti

Örnekler	Çentik Faktörü (K_t)	Gerilme Oranı (R)	Gerilme Genliği (σ [MPa])	Deneysel Yorulma Ömrü (N_B)
1	1	-1	90	246236
2	1	-1	95	114019
3	1	-1	100	77558
4	1	-1	110	19153
5	1	-1	120	17011
6	11.2	-1	30	316913
7	11.2	-1	35	187601
8	11.2	-1	40	76111
9	11.2	-1	50	32573
10	1	0	70	157407
11	1	0	80	109728
12	1	0	90	66294
13	1	0	100	45774
14	11.2	0	20	404131
15	11.2	0	25	139319
16	11.2	0	35	38395
17	11.2	0	40	24695

Tablo 5.2: Kaynak metali veri seti

Örnekler	Çentik Faktörü (K_t)	Gerilme Oranı (R)	Gerilme Genliği (σ [MPa])	Deneyisel Yorulma Ömrü (N_B)
1	1	-1	60	949092
2	1	-1	70	359840
3	1	-1	75	160384
4	1	-1	85	49780
5	11.2	-1	13	484443
6	11.2	-1	16	231525
7	11.2	-1	20	108142
8	11.2	-1	30	39060
9	1	0	60	323621
10	1	0	70	28392
11	1	0	75	25863
12	11.2	0	9	425450
13	11.2	0	10	384977
14	11.2	0	13	207821
15	11.2	0	16	118579
16	11.2	0	20	63910
17	11.2	0	30	19331

Tablo 5.3: ITAB veri seti

Örnekler	Çentik Faktörü (K_t)	Gerilme Oranı (R)	Gerilme Genliği (σ [MPa])	Deneyisel Yorulma Ömrü (N_B)
1	1	-1	80	235752
2	1	-1	100	80077
3	1	-1	120	37139
4	1	-1	140	6611
5	11.2	-1	17.5	248988
6	11.2	-1	20	97855
7	11.2	-1	25	53934
8	1	0	50	329468
9	1	0	55	254563
10	1	0	60	129246
11	1	0	80	53084
12	1	0	90	55500
13	1	0	100	26516
14	1	0	110	22398
15	11.2	0	12	450303
16	11.2	0	13.5	284688
17	11.2	0	15	159033
18	11.2	0	20	68467
19	11.2	0	25	35466

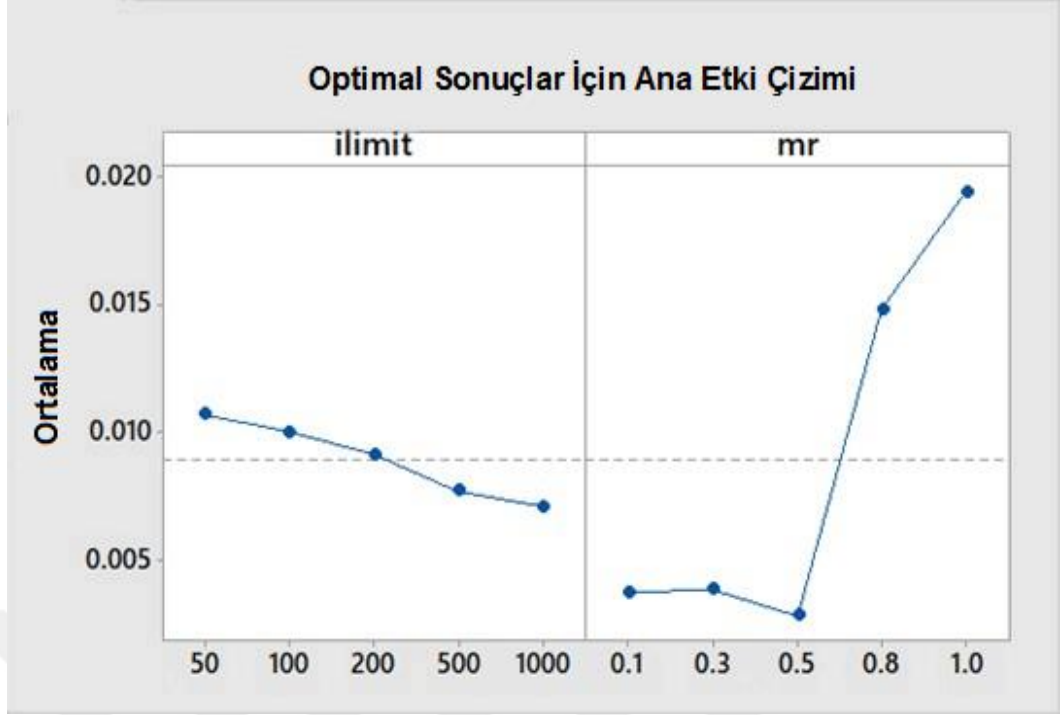
5.3 Yapay Arı Kolonisi Algoritmasının Parametre Konfigürasyonu

Yapay arı kolonisi algoritmasında kullanılan ilimit (iteration limit) değeri ve modifikasyon oranı (modification rate) gibi parametreler aldıkları değere göre, ortaya çıkan sonuca etki etmektedirler. Bu nedenle en iyi sonuçları ve en düşük hata oranını elde etmek için, algoritmadaki parametrelere farklı değerler atanarak çeşitli kombinasyonlar oluşturulmuştur. Bu kombinasyonlardan hangilerinin optimum olduğunu belirleyebilmek için, MATLAB yazılımı ile bir deneme yanılma çalışması yapılmıştır.

Tablo 5.4: Algoritma performansı için kullanılan parametre seviyeleri

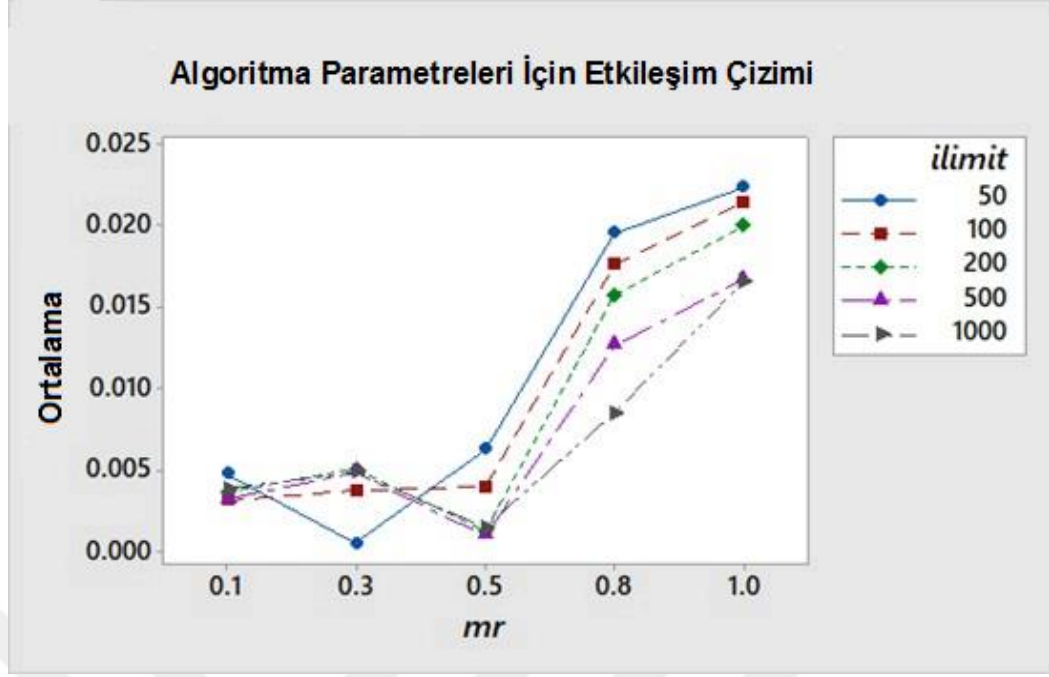
Parametreler	Seviyeler				
	1	2	3	4	5
<i>ilimit</i>	50	100	200	500	1000
<i>mr</i>	0.1	0.3	0.5	0.8	1

Önerilen algoritmada yer alan parametrelerin performansını test etmek için parametre değerleri, Tablo 5.4'te verilen seviyeler kullanılarak test edilmiştir. Burada ilimit, kâşif arıları serbest bırakmak için yineleme sınırıdır. MR, çözümün mevcut boyutta ne kadar az/çok değiştirileceğine karar veren değişiklik oranıdır.



Şekil 5.2:Değişkenlerin ana etki grafiği

Şekil 5.2, ilimit ve mr değerlerinin, optimal sonuçlar için ana etki grafiğini göstermektedir. Burada daha küçük değerler, daha iyi sonuçları temsil etmektedir. Dolayısıyla zm tüm boyutlarda değiştirmek anlamına gelen en yüksek değerli değişiklik oranı $mr = 0.5$ değerine en iyi sonucu vermiştir. ilimit değerine ise, daha iyi performansını 1000 değerine için verdiği görülmektedir.



Şekil 5.3: Farklı seviyelerde algoritma parametreleri için etkileşim grafiği

Şekil 5.3’de verilen algoritma parametreleri için etkileşim grafiği de bu bulguları doğrular. Sonuç olarak $mr = 0.5$ ve $ilimit = 1000$ değerleri parametre kombinasyonu en iyi sonucu vermiştir.

5.4 Modelin Uygulanması

Tüm giriş parametreleri, algoritmanın hesaplama verimliliğini artırmak ve verilerin algoritma tarafından işlenmeye uygun olması için, Eşitlik (5.3) kullanılarak normalize edilmiştir:

$$X_n = \frac{(X - X_{min})}{(X_{max} - X_{min})} \quad (5.3)$$

Burada “ X_n ” belirli bir parametrenin normalize edilmiş değeri ise, “ X ” bu parametrenin ölçülen değeridir. “ X_{max} ” ve “ X_{min} ” bu parametre için sırasıyla veri setinin maksimum ve minimum değerleridir.

Önerilen yaklaşımın etkinliğini test etmek için, bölüm 5.2’de her bir iç yapı durumu (esas malzeme, kaynak metali, ısı tesiri altındaki bölge) için sunulan veriler,

üstel trigonometrik modele uygulanmıştır ve yapay arı kolonisi algoritmasına entegre edilerek katsayı optimizasyonu yapılmıştır.

Önerilen yaklaşım, MATLAB R2018a yazılımı kullanılarak modellenmiş ve test edilmiştir. Sayısal deneyler 32 GB RAM'e sahip bir Intel Xeon E5-2650 2.0 GHz işlemcide gerçekleştirilmiştir. Programdan algoritma aracılığıyla tahmin sonuçları, hata değerleri ve grafikler elde edilmiştir. Ardından elde edilen tahmin sonuçları, deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Burada önemli olan algoritmadan elde edilen tahmin değerleri ile deneysel sonuçlar arasındaki uyumun yüksek olması ve hata değerinin minimum olarak elde edilmesidir. Bu sonuç bize tahmin çalışmasının ne derece iyi yapılabildiğini gösterecektir.



6. HESAPLAMALI SONUÇLAR VE ANALİZ

Tahminsel çalışmanın doğruluğunu ve etkinliğini göstermek için, Eşitlik (6.1) kullanılarak her bir örnek için, deneysel sonuçlar ve tahmin sonuçları arasında hata hesaplaması yapılır:

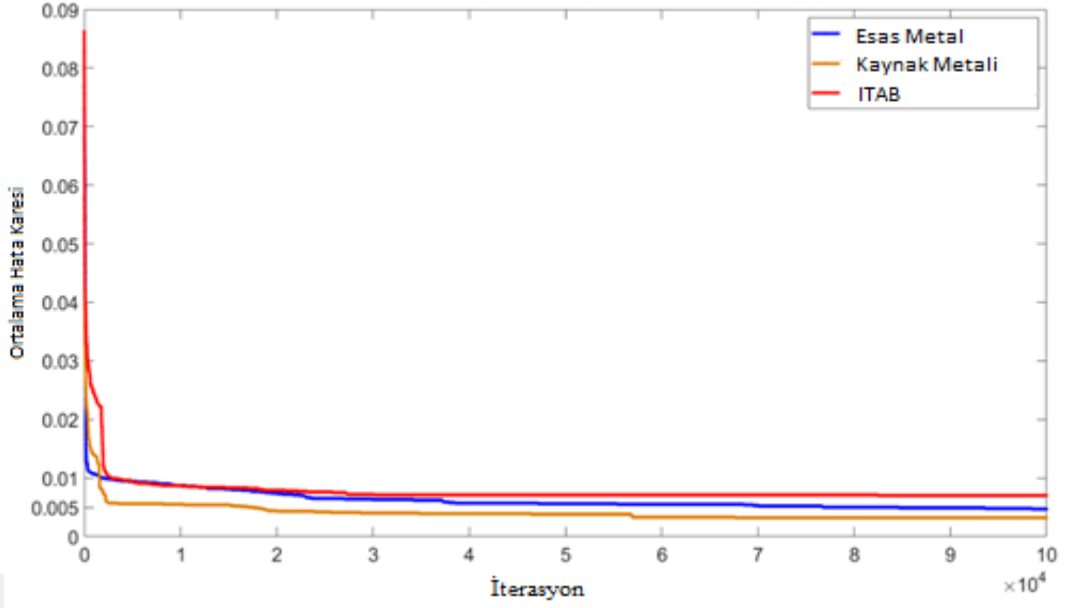
$$f = \frac{\sum_1^{Numune\ sayısı} (Tahmin\ Sonuçları - Deneysel\ Sonuçlar)^2}{Numune\ sayısı} \quad (6.1)$$

Tablo 6.1 algoritmanın tek bir çalışmasında, Eşitlik (5.3) ile tanımlanan fonksiyonun katsayıları için yaklaşık sonuçları göstermektedir.

Tablo 6.1: Eşitlik (5.3) ile tanımlanan fonksiyonun katsayı sonuçları

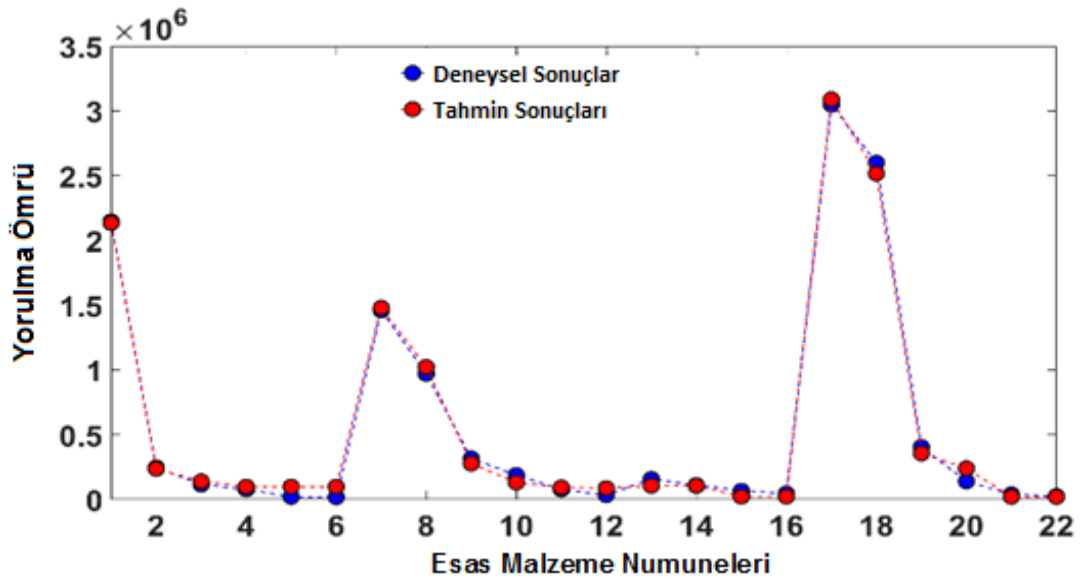
	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8	w_9	w_{10}
Esas Malzeme	0.00	-31.16	-4.42	-1.44	-9.73	3.18	-0.00	0.05	-1.53	0.40
Kaynak Metali	0.00	28.76	-4.45	-1.21	-9.21	2.85	-3.04	0.07	-0.97	3.23
ITAB	0.00	7.48	-0.35	-0.82	-6.68	0.71	-0.59	-0.02	1.88	0.43

Eşitlik (6.2) ile tanımlanan ortalama hata karesinin iyileştirilmesi, algoritma çalışmasının yinelemeleri boyunca esas malzeme, kaynak metali ve ısı tesiri altındaki bölge verileri için Şekil 6.1'de gösterilmiştir. NMSE, sadece 10^4 iterasyonda tüm numuneler için 0.01'in altındadır.

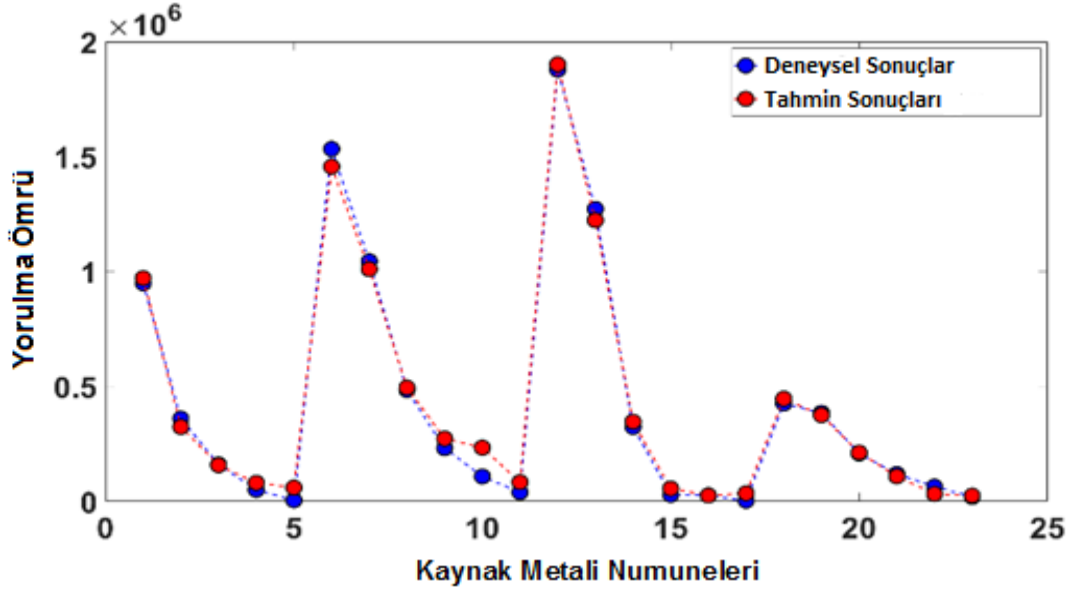


Şekil 6.1: Örnek veriler için ortalama hata karesinin değişimi

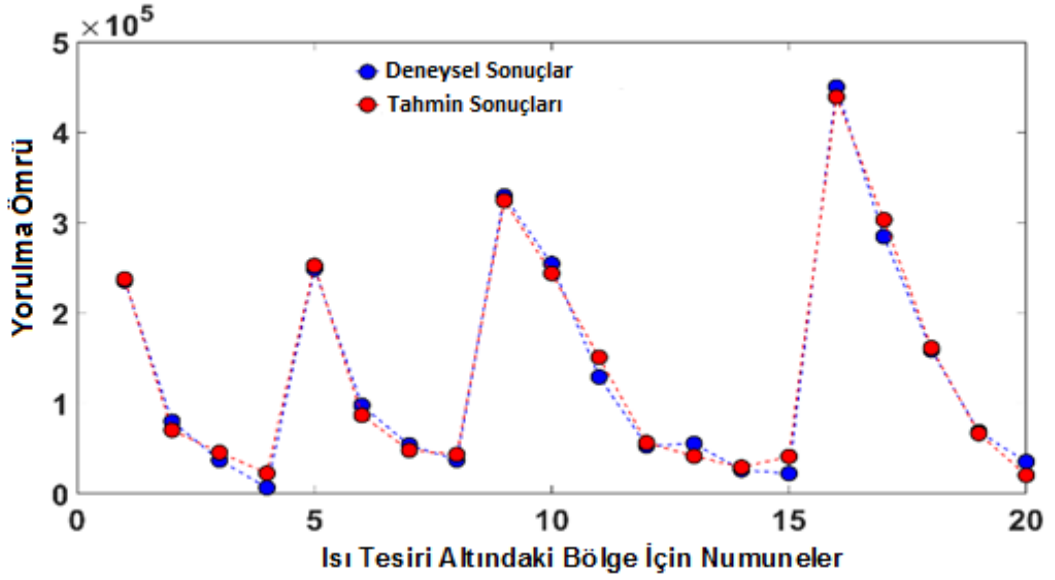
Tahmin sonuçlarının ve deneysel sonuçların karşılaştırması, her bir iç yapı durumu için sırasıyla Şekil 6.2’de, Şekil 6.3’de ve Şekil 6.4’te gösterildiği gibi elde edilmiştir. Mavi çizgi deney sonuçlarını gösterirken, kırmızı renkteki çizgi tahmin edilen sonuçları göstermektedir. Grafiklerden algoritma sonuçlarının, yorulma verilerine iyi bir uyum sağladığı görülebilmektedir.



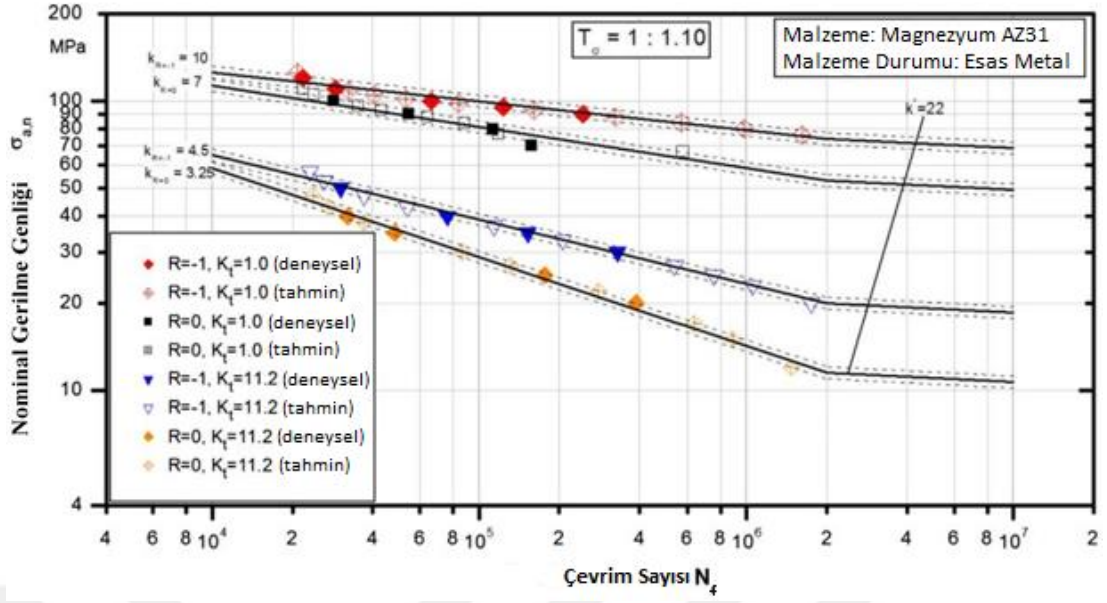
Şekil 6.2: Esas malzeme için tahmin sonuçlarının ve deneysel sonuçların karşılaştırma grafiği



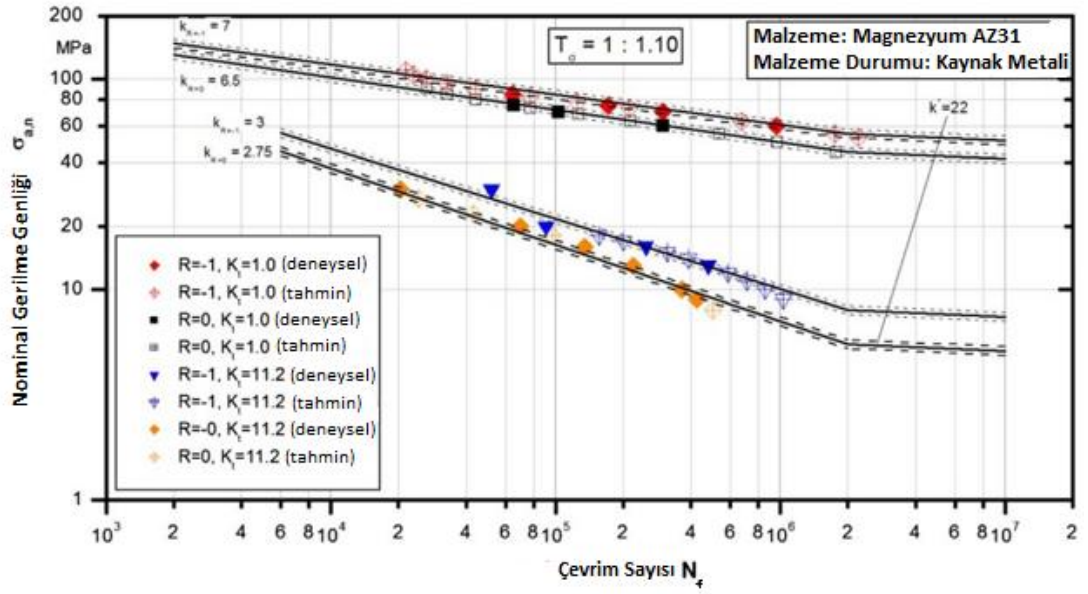
Şekil 6.3: Kaynak metali için tahmin sonuçlarının ve deneysel sonuçların karşılaştırma grafiği



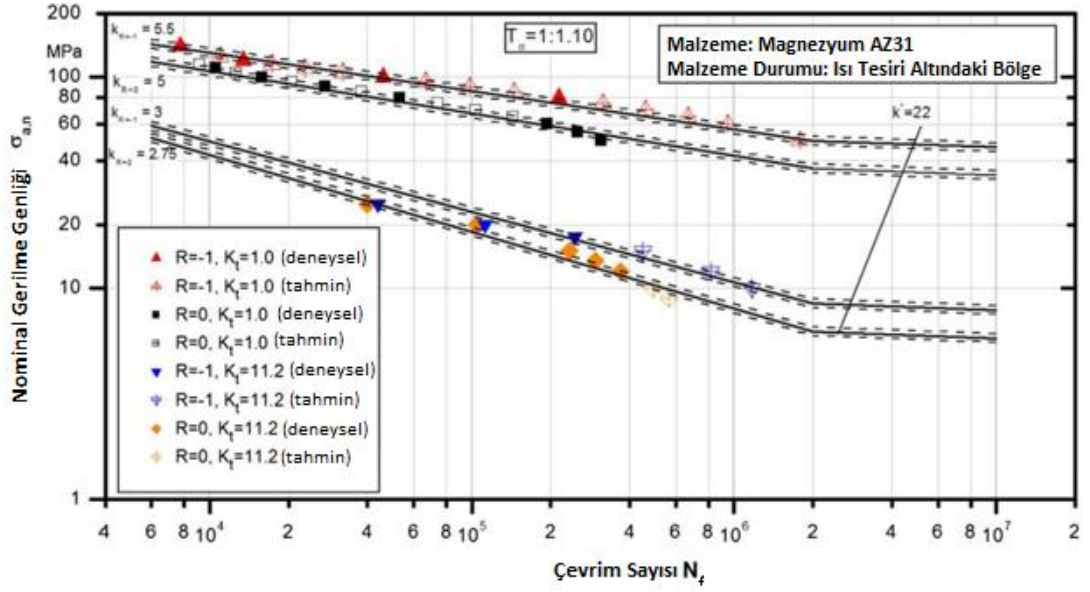
Şekil 6.4: ITAB için tahmin sonuçlarının ve deneysel sonuçların karşılaştırma grafiği



Şekil 6.5: Esas metal için oluşturulan Wöhler eğrisi

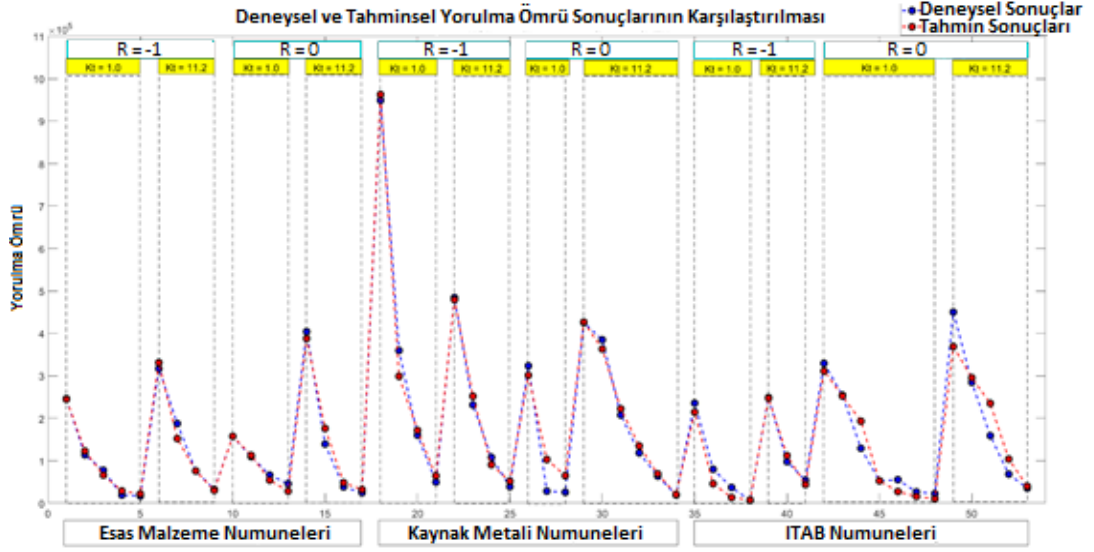


Şekil 6.6: Kaynak metali için oluşturulan Wöhler eğrisi



Şekil 6.7: ITAB için oluşturulan Wöhler eğrisi

Ek olarak, Şekil 6.5, 6.6. ve 6.7’de her bir içyapı durumuna ait Wöhler eğrileri gösterilmiştir. Wöhler eğrisi ile bir malzemenin yorulma süreci grafiksel olarak gösterilerek malzemenin davranışı izlenir. Grafikte tahmin verileri $T_{\sigma}=1:1.10$ saçılma değeriyle, dar bir saçılma bandına düşmektedir. Bu, deneysel Wöhler eğrilerinin dağılım değerinden daha düşüktür ($T_{\sigma}=1:1.25$). Dolayısıyla, önerilen algoritmanın güvenilir tahminler için kullanılabileceği ve verilerdeki tutarsızlıkları azalttığı açıktır. Çizilen Wöhler eğrilerinin, uniform (bütünleşik) Wöhler eğrisi kavramını takip ettiğini dikkate almak önemlidir (Haibach 2006). Yorulma ömrü tahminine göre, her bir Wöhler eğrisi için bükülme noktası $N_k = 2 \times 10^6$ olarak seçilmiştir ve her bir eğri $k'=22$ olan bir uniform eğimi takip etmektedir (Sonsino 2007).



Şekil 6.8: Tüm içyapı durumları için tahmin sonuçlarının ve deneysel sonuçların karşılaştırılması

Tablo 6.2: Yapay Arı Kolonisi Algoritmasının tahmin sonuçları

Esas Malzeme			Kaynak Metali			ITAB		
Deneysel çıktı/ çevrim	Tahminse l çıktı/ çevrim	Yüzde Hata (%)	Deneysel çıktı/ çevrim	Tahminse l çıktı/ çevrim	Yüzde Hata (%)	Deneysel çıktı / çevrim	Tahminse l çıktı/ çevrim	Yüzde Hata (%)
246236	244823	0.57	949092	962727	1.44	235752	214565	8.99
114019	122877	7.77	359840	299036	16.90	80077	45901	42.68
77558	66100	14.77	160384	171580	6.98	37139	13443	63.80
19153	29003	51.43	49780	64401.2	29.37	6611	7738	17.05
17011	21844	28.41	484443	479314	1.06	248988	247417	0.63
316913	331326	4.55	231525	252101	8.89	97855	112106	14.56
187601	152197	18.87	108142	90647.2	16.18	53934	43907	18.59
76111	76205	0.12	39060	51900.4	32.87	329468	311559	5.44
32573	30290	7.01	323621	301381	6.87	254563	252513	0.81
157407	157663	0.16	28392	102991	262.75	129246	193291	49.55
109728	112742	2.75	25863	64880.2	150.86	53084	52822	0.49
66294	54435	17.89	425450	426896	0.34	55500	27566	50.33
45774	28534	37.66	384977	363298	5.63	26516	15790	40.45
404131	388100	3.97	207821	222411	7.02	22398	10531	52.98
139319	176283	26.53	118579	135067	13.90	450303	369157	18.02
38395	48301	25.80	63910	69414.5	8.61	284688	295556	3.82
24695	32129	30.10	19331	20443.8	5.76	159033	235250	47.93
						68467	103987	51.88
						35466	39946	12.63
Ortalama Hatanın Toplamı (%)		16.37			33.85			26.41

NMSE, tüm numuneler için 10^4 iterasyonda 0.01'in altında iken; ortalama hatanın toplamı, esas malzeme, kaynak metali ve ısı tesiri altındaki bölge için sırasıyla % 16.37, % 33.85 ve % 26.41'dir. Elde edilen bu sonuçlar yapay arı kolonisi algoritmasının AZ31 magnezyum alaşımının yorulma ömrünü yüksek hassasiyetle tahmin edebildiğini göstermektedir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada yapay arı kolonisi algoritması kullanılarak AZ31 magnezyum alaşımının farklı içyapı durumlarına göre yorulma ömrü tahmini yapılmıştır.

Literatürde yorulma ömrü tahmini çalışmalarında çoğunlukla GA'lar kullanılmıştır. Bu çalışmada denenmiş yöntemlerin dışına çıkarak farklı bir algoritma ile tahmin çalışması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan hareketle minimum hata oranları ile yapay arı kolonisi algoritmasının yüksek tahmin doğruluğu sağladığı görülmüştür. Özellikle diğer yöntemlere göre, kısa sürede sonuç vermesi, yüksek öngörü kabiliyeti ve daha sade bir çalışma prensibiyle sezgisel algoritmalar, tahmin çalışmaları için kullanılabilmesi gösterilmiştir. Aynı zamanda tahmin sonuçları Wöhler eğrileri üzerinde gösterilmiştir ve dar bir saçılma bandında temsil edilmiştir. Buda tahmin sonuçlarının, deneysel sonuçlara uygun olduğu anlamına gelmektedir.

Her ne kadar bu araştırma, yorulma ömrü konusunda tahmin verimliliğini iyileştirmek için bir model sunsa da, gelecekte ele alınması gereken bazı sınırlamalar olabilir. Bu nedenle verimli ve güvenilir çözümler için yeni modeller sunulmalıdır. Tahmin için farklı fonksiyon modellerinin geliştirilmesi ve denenmesi optimal sonuçlar elde etmek adına önemlidir.

Literatürde bazı tahminleme çalışmalarında girdi değerleri üzerinde duyarlılık analizi çalışması yapılmıştır. Bu yöntem, yorulma ömrünü değerlendirmede ve tasarımları hayata geçirirken dikkate alınması gereken faktörleri belirlemede etkili bir yöntemdir. Bu nedenle yorulma ömrü tahmini çalışmalarında duyarlılık analizi yapılması, araştırma için katkı sağlayacaktır.

Malzemelerin yorulma ömrünü tahmin etmek için, güvenilirliğe dayalı tasarım optimizasyonunu gerçekleştirmek için gelecekte diğer sezgisel algoritmalar da yararlanılması fayda sağlayacaktır. Dolayısıyla teknolojinin hızla ilerlediği çağımızda, farklı yapay zekâ tekniklerinin denenmesi ve algoritmaların tasarlanması için teşvik edici çalışmalar arttırılmalıdır. Bu çalışmanın, farklı mühendislik malzemeleri ve farklı sezgisel algoritmalar kullanılarak yeni çalışmalar yapılmasına yardımcı olması beklenmektedir.

8. KAYNAKLAR

Abdalla, J. A., Hawileh, R., “Modeling and Simulation of Low-Cycle Fatigue Life of Steel Reinforcing Bars Using Artificial Neural Network”, *Journal of the Franklin Institute*, 348 (7), 1393-1403, (2011).

Abdalla, J. A., Hawileh, R. A., “Artificial Neural Network Predictions of Fatigue Life of Steel Bars Based on Hysteretic Energy”, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 27(5), 489-496, (2013).

Agius, D., Kajtaz, M., Kourousis, K. I., Wallbrink, C., Wang, C. H., Hu, W., Silva, J., “Sensitivity and Optimisation of the Chaboche Plasticity Model Parameters in Strain-Life Fatigue Predictions”, *Materials and Design*, 118, 107-121, (2017).

Ahmad, H. W., Hwang, J. H., Javed, K., Chaudry, U. M., Bae, D. H., “Probabilistic Fatigue Life Prediction of Dissimilar Material Weld Using Accelerated Life Method and Neural Network Approach”, *Computation*, 7(1), (2019).

Akay, B., Karaboğa, D., “A Modified Artificial Bee Colony Algorithm for Real-Parameter Optimization”, *Information Sciences*, 192, 120-142, (2012).

Akça, M., R., “Yapay Arı Kolonisi Algoritması Kullanılarak Gezgin Satıcı Probleminin Türkiyedeki İl ve İlçe Merkezlerine Uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, (2011).

Al-Assadi, M., El Kadi, H., Deiab, I. M., “Predicting the Fatigue Life of Different Composite Materials Using Artificial Neural Networks”, *Applied Composite Materials*, 17, 1-14, (2010).

Al-Assadi, M., El Kadi, H. A., Deiab, I. M., “Using Artificial Neural Networks to Predict the Fatigue Life of Different Composite Materials Including the Stress Ratio Effect”, *Applied Composite Materials*, 18, 297-309, (2011).

Al-Assaf, Y., El Kadi, H., “Fatigue Life Prediction Of Unidirectional Glass Fiber/Epoxy Composite Laminae Using Neural Networks”, *Composite Structures*, 53 (1), 65-71, (2001).

Al-Assaf, Y., El Kadi, H., “Fatigue Life Prediction of Composite Materials Using Polynomial Classifiers and Recurrent Neural Networks”, *Composite Structures*, 77(4), 561-569, (2007).

Artymiak, P., Bukowski, L., Feliks, J., Narberhaus, S., Zenner, H., "Determination of S-N Curves with the Application of Artificial Neural Networks", *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 22(8), 723-728, (1999).

Aymerich, F., Serra, M., "Prediction of Fatigue Strength of Composite Laminates by Means of Neural Networks", *Key Engineering Materials*, 144, 231-242, (1998).

Azarhoosh, A. R., Zojaji, Z., Moghadas Nejad, F., "Nonlinear Genetic-Base Models for Prediction of Fatigue Life of Modified Asphalt Mixtures by Precipitated Calcium Carbonate", *Road Materials and Pavement Design*, 1-17, (2018).

Banharnsakun, A., Achalakul, T., Sirinaovakul, B., "The Best-So-Far Selection in Artificial Bee Colony Algorithm", *Applied Soft Computing*, 11(2), 2888-2901, (2011).

Banharnsakun, A., Sirinaovakul, B., Achalakul, T., "Job Shop Scheduling with the Best-So-Far ABC", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25(3), 583-593, (2012).

Barsoum, F., Hill, E., Zhang, Y., Korcak, A., Suleman, J., "Procedures for Fatigue Crack Growth Monitoring and Fatigue Life Prediction Using Acoustic Emission Data and Neural Networks", *Structure Congress 2011*, 2341-2352, (2011).

Bezazi, A., Pierce, S.G., Worden, K., Harkati, E., "Fatigue Life Prediction of Sandwich Composite Materials Under Flexural Tests Using A Bayesian Trained Artificial Neural Network", *International Journal of Fatigue*, 29 (4), 738-747, (2007).

Cai, M., Yang, D., Li, Q., Zhong, L., "Optimization of the Fatigue Life of Epoxy Molding Compounds Based on BP Neural Network Prediction Model", 2008 International Conference on Electronic Packaging Technology & High Density Packaging, Shanghai, China, (2008).

Canyurt, O.E., "Fatigue Strength Estimation of Adhesively Bonded Tubular Joint Using Genetic Algorithm Approach", *International Journal of Mechanical Sciences*, 46, 359-370, (2004).

Chen, P., Koide, Y., Li, K., Satonaga, N., "Life Prediction of Rolling Bearing Using Genetic Algorithm", *Applied Mechanics and Materials*, 58-60, 2423-2427, (2011).

Chen, W., “An Artificial Bee Colony Algorithm for Uncertain Portfolio Selection”, *The Scientific World Journal*, 2014, 1-12, (2014).

Chen, W., Ma, H., Yang, Y., Sun, M., “Application of Artificial Bee Colony Algorithm to Portfolio Adjustment Problem with Transaction Costs”, *Journal of Applied Mathematics*, 2014(6), 1-12, (2014).

Deveci, H. A., Artem, H. S., “Optimum Design of Fatigue-Resistant Composite Laminates Using Hybrid Algorithm”, *Composite Structures*, 168, 178-188, (2017).

Deveci, H. A., Artem, H. S., “On the Estimation and Optimization Capabilities of the Fatigue Life Prediction Models in Composite Laminates”, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 37(21), 1304-1321, (2018).

Dowling, N. E., “Mean Stress Effects in Strain-Life Fatigue”, *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 32(12), 1004-1019, (2009).

El Kadi, H., Al-Assaf, Y., “Prediction of the Fatigue Life of Unidirectional Glass Fiber/Epoxy Composite Laminae Using Different Neural Network Paradigms”, *Composite Structures*, 55 (2), 239-246, (2002).

El Kadi, H. A., “Fatigue Life Prediction of Composite Materials: Artificial Neural Networks vs. Polynomial Classifiers”, *Key Engineering Materials*, 471-472, 221-226, (2011).

El Kadi, H.A., Al-Assaf, Y., “The Use of Neural Networks in the Prediction of the Fatigue Life of Different Composite Materials”, 16Th International Conference On Composite Materials, Kyoto, Japan, 1-9, (2007).

El Kadi, H., Deiab, I. M., Al-Assadi, M., “Fatigue Life Prediction of Different Fiber-Reinforced Composites Using Polynomial Classifiers”, *Journal of Engineering Materials and Technology*, 133, (2011).

Ertaş, A. H., “Optimization of Fiber Reinforced Laminates for Maximum Fatigue Life Using Particle Swarm Optimization”, *Procedia Engineering*, 38, 473-478, (2012).

Ertaş, A.H., Sönmez, F.O., “Design of Fiber Reinforced Laminates for Maximum Fatigue Life”, *Procedia Engineering*, 2(1), 251-256, (2010).

Ertaş, A. H., Sönmez, F. O., “Design Optimization of Fiber-Reinforced Laminates for Maximum Fatigue Life”, *Journal of Composite Materials*, 48(20), 2493-2503, (2014).

Figueira Pujol, J. C., Andrade Pinto, J. M., “A Neural Network Approach to Fatigue Life Prediction”, *International Journal of Fatigue*, 33(3), 313-322, (2011).

Gao, H.L., Shi, X.H., Feng, L.C., Xu, L.P., “Condition Monitoring and Life Prediction of Rolling Guide Based on Hybrid Intelligence”, *Applied Mechanics and Materials*, 44-47, 2045-2049, (2011).

Gao, W., Liu, S., “A Modified Artificial Bee Colony Algorithm”, *Computers and Operations Research*, 39, 687-697, (2012).

Genel, K., “Application of Artificial Neural Network for Predicting Strain-Life Fatigue Properties of Steels on the Basis of Tensile Tests”, *International Journal of Fatigue*, 26(10), 1027-1035, (2004).

Guo, F., “Understanding the Microstructure and Fatigue of Magnesium Alloys”, Master's Thesis, *University of Leicester Department of Engineering*, Leicester, (2009).

Haibach, E., “*Betriebsfestigkeit*”, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, (2006).

Han, Y.L., “Artificial Neural Network Technology as a Method to Evaluate the Fatigue Life of Weldments with Welding Defects”, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 63(2), 205-209, (1995).

Horng, M. H., “Multilevel Thresholding Selection Based on the Artificial Bee Colony Algorithm for Image Segmentation”, *Expert Systems with Applications*, 38(11), 13785-13791, (2011).

Jin, H., Wu, S., Peng, Y., “Prediction of Contact Fatigue Life of Alloy Cast Steel Rolls Using Back-Propagation Neural Network”, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 22 (12), 3631-3638, (2013).

Junior, R.C.S.F., Neto, A.D.D., Aquino, E.M.F., “Building of Constant Life Diagrams of Fatigue Using Artificial Neural Networks”, *International Journal of Fatigue*, 27(7), 746-751, (2005).

Kalaycı, C. B., Gupta, S. M., “Artificial Bee Colony Algorithm for Solving Sequence-Dependent Disassembly Line Balancing Problem”, *Expert Systems with Applications*, 40(18), 7231-7241, (2013).

Kamal, M., Rahman, M. M., Sani, M. S. M., “Fatigue Life Prediction Using Simplified Endurance Function Model”, *Advances in Mechanical Engineering*, 5, (2015).

Kang, F., Li, J., Xu, Q., “Structural Inverse Analysis by Hybrid Simplex Artificial Bee Colony Algorithms”, *Computers and Structures*, 87, 861-870, (2009).

Karaboğa, D., Akay, B., “A Modified Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm for Constrained Optimization Problems”, *Applied Soft Computing*, 11(3), 3021-3031, (2011).

Karaboğa, D., Öztürk, C., “A Novel Clustering Approach: Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm”, *Applied Soft Computing*, 11(1), 652-657, (2011).

Karakaş, Ö., “Biçimlenebilen Magnezyum Alaşımlarından Kaynaklı Yapı Elemanlarının Yorulma Dayanımı Değerlendirmelerinde Çentik Gerilmesi Yönteminin Uygulanması”, Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, (2006).

Karakaş, Ö., “Consideration of Mean-Stress Effects on Fatigue Life of Welded Magnesium Joints by the Application of the Smith-Watson-Topper and Reference Radius Concepts”, *International Journal of Fatigue*, 49, 1-17, (2013).

Karakaş, Ö., “Estimation of Fatigue Life for Aluminium Welded Joints with the Application of Artificial Neural Networks”, *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 42(10), 888-893, (2011).

Karakaş, Ö., Canyurt, O.E., Gülsöz, A., “Fatigue Strength Estimation of Butt Welded Joints in Magnesium AZ31 Alloy Using the Genetic Algorithm”, *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 39(3), 234-240, (2008).

Karakaş, Ö., Gülsöz, A., “Kaynaklı Birleştirmelerin Statik ve Yorulma Dayanımına Etki Eden Faktörler”, *Mühendis ve Makine*, 48(573), 10-17, (2012).

Karakaş, Ö., Gülsöz, A., Kaufmann, H., Sonsino, C.M., “Fatigue Behaviour of Welded Joints From Magnesium Alloy (AZ31) According to the Local Strain Concept”, *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 41(2), 73-82, (2010).

Karakaş, Ö., Morgenstern, C., Sonsino, C.M., Hanselka, H., Vogt, M., Dilger, K., “Grundlagen für die praktische Anwendung des Kerbspannungskonzeptes zur Schwingfestigkeitsbewertung von geschweißten Bauteilen aus Magnesiumknet-legierungen”, Fraunhofer-Institute for Structural Durability and System Reliability (LBF), Darmstadt, Report No. FB-232; 2007, *Institute for Welding(ifs), Braunschweig, Report*, (17), (2007).

Karakaş, Ö., Sonsino, C.M., Hanselka, H., Vogt, M., Dilger, K., Gülsöz, A., “Fatigue Design Values for Welded Joints of the Wrought Magnesium Alloy AZ31 (ISO-MgAl3Zn1) According to the Nominal, Structural and Notch Stress Concepts in Comparison to Welded Steel and Aluminium Connections”, *Welding in the World*, 52, (5-6),79-94, (2008^a).

Karakaş, Ö.,Tomasella, A., “Fatigue Life Estimation of Non-Penetrated Butt Weldments in Ligth Metals by Artificial Neural Network Approach”, *Materialwissenschaft Und Werkstofftechnik*, 44(10), 847-855, (2013).

Karakaş, Ö., Tüzün, N., “Evaluation of Fatigue Behaviour of Magnesium Welded Joints Using Energy Methods According to Neuber’s Method”, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 73(2), 100-105, (2015).

Koçer, H. E., Akça, M. R., “An Improved Artificial Bee Colony Algorithm with Local Search for Traveling Salesman Problem”, *Cybernetics and Systems*, 45(8), 635-649, (2014).

Kong, Y. S., Abdullah, S., Schramm, D., Omar, M. Z., Haris, S. M., “Optimization of Spring Fatigue Life Prediction Model for Vehicle Ride Using Hybrid Multi-Layer Perceptron Artificial Neural Networks”, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 122, 597-621, (2019).

Kumar, J. S. P., Devi, M. S., Raghava, G., Stanley, A. J., “Neural Networks Based Fatigue Life Prediction of Multi Walled Carbon Nano Tubes Doped E-Glass/Epoxy Laminates”, *International Journal of Vehicle Structures & Systems*, 2(1), 9-13, (2010).

Lee, J.A., Almond, D.P., Harris, B., “The Use of Neural Networks for the Prediction of Fatigue Lives of Composite Materials”, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 30(10), 1159-1169, (1999).

Li, N., Yan, W. P., Ye, F., Ma, L. Y., “Creep-Fatigue Interaction Life Prediction for P91 Steel Based on Improved Elman Neural Network Model”, *Advanced Materials Research*, 535-537, 674-677, (2012).

Liao, X., Xu, W., Gao, Z., “Application of Artificial Neural Network to Forecast the Tensile Fatigue Life of Carbon Material”, *Key Engineering Materials*, 385-387, 533-536, (2008).

Liu,Q., Shi, W., Chen,Z., “Fatigue Life Prediction for Vibration Isolation Rubber Based on Parameter-Optimized Support Vector Machine Model”, *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 42(3), 710-718, (2019).

Liu, X., Xuan, F. Z., Si, J., Tu, S. T., “Expert System for Remnant Life Prediction of Defected Components Under Fatigue and Creep-Fatigue Loadings”, *Expert Systems with Applications*, 34(1), 222-230, (2008).

Liu, Y. F., Liu, S. Y., “A Hybrid Discrete Artificial Bee Colony Algorithm for Permutation Flowshop Scheduling Problem”, *Applied Soft Computing*, 13(3), 1459-1463, (2013).

Lotfi, B., Beiss, P., “Application of Neural Networking for Fatigue Limit Prediction of Powder Metallurgy Steel Parts”, *Materials and Design*, 50, 440-445, (2013).

Ma, D., Chen, Z., Shan, X., “Forecasting of the Fatigue Life of Metal Weld Joints Based on Combined Genetic Neural Network”, *Key Engineering Materials*, 439-440, 195-201, (2010).

Ma, M., Liang, J., Guo, M., Fan, Y., Yin, Y., “SAR Image Segmentation Based on Artificial Bee Colony Algorithm”, *Applied Soft Computing*, 11(8), 5205-5214, (2011).

Majidian, A., Saidi, M.H., “Comparison of Fuzzy Logic and Neural Network in Life Prediction of Boiler Tubes”, *International Journal of Fatigue*, 29(3), 489- 498, (2007).

Marquardt, C., Zenner, H., “Lifetime Calculation Under Variable Amplitude Loading with the Application of Artificial Neural Networks”, *International Journal of Fatigue*, 27(8), 920-927, (2005).

Marti, R., Reinelt, G., “Heuristic Methods”, In the *Linear Ordering Problem*, Springer, Berlin, Heidelberg, 17-40, (2011).

Mathew, M. D., Kim, D. W., Ryu, W.S., “A Neural Network Model to Predict Low Cycle Fatigue Life of Nitrogen-Alloyed 316L Stainless Steel”, *Materials Science and Engineering: A*, 474(1-2), 247-253, (2008).

Mathur, S., Gope, P.C., Sharma, J.K., “Prediction of Fatigue Lives of Composites Material by Artificial Neural Network”, *Proceedings Of The SEM 2007 Annual Conference and Exposition*, Springfield, Massachusetts, USA, June 4-6, (2007).

Milan, T., Nebojsa, B., “Artificial Bee Colony Algorithm Hybridized with Firefly Algorithm for Cardinality Constrained Mean-Variance Portfolio Selection Problem”, *Applied Mathematics and Information Sciences*, 8(6), 2831-2844, (2014).

Mishra, S. K., Brahma, A., Dutta, K., “Low Cycle Fatigue Life Prediction of Al-Si-Mg Alloy Using Artificial Neural Network Approach”, *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 69(2), 597- 602, (2016).

Moghaddam, T. B., Soltani, M., Shahraki, H. S., Shamsirband, S., Noor, N. B. M., Karim, M. R., “The Use of SVM-FFA in Estimating Fatigue Life of Polyethylene Terephthalate Modified Asphalt Mixtures”, *Measurement*, 90, 526-533, (2016).

Mohanty, J. R., Parhi, D. R. K., Ray, P. K., Verma, B. B., “Prediction of Residual Fatigue Life Under Interspersed Mixed-Mode (I and II) Overloads by Artificial Neural Network”, *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 32(12), 1020-1031, (2009).

Mohanty, J. R., Verma, B. B., Ray, P. K., Parhi, D. R. K., “Application of Artificial Neural Network for Fatigue Life Prediction Under Interspersed Mode-I Spike Overload”, *Journal of Testing and Evaluation*, 38(2), 177-187, (2010).

Mohanty, J.R., Das, H.C., Mohanty, A.C., “Comparative Study of Fatigue Life Prediction of 7020 Al-Alloy Under Load Ratio Effect”, *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, 21, 179-188, (2014).

Mohanty, J.R., Mahanta, T.K., Mohanty, A., Thatoi, D.N., “Prediction of Constant Amplitude Fatigue Crack Growth Life of 2024 T3 Al Alloy with R-ratio Effect by GP”, *Applied Soft Computing*, 26, 428-434, (2015).

Mohanty, J.R., “Fatigue Crack Growth Life Prediction of 6061 Al-Alloy Under Load Ratio Effect by Using ANFIS”, *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 3(11), 199-204, (2016).

Omkar, S. N., Senthilnath, J., Khandelwal, R., Naik, G. N., Gopalakrishnan, S., “Artificial Bee Colony (ABC) for Multi-Objective Design Optimization of Composite Structures”, *Applied Soft Computing*, 11(1), 489-499, (2011).

Park, J. M., Kang, H. T., “Prediction of Fatigue Life for Spot Welds Using Back-Propagation Neural Networks”, *Materials and Design*, 28(10), 2577-2584, (2007).

Peng, S., Xiao, J., Tian, Y., Zhang, Y., Jie, F., Zhi-jian, H., “Coiled Tubing Working Life Prediction Based on BP Algorithm of Artificial Neural Network”, IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology Conference and Exhibition, 9-11 July, Tianjin, China, (2012).

Pleune, T. T., Chopra, O. K., “Using Artificial Neural Networks to Predict the Fatigue Life of Carbon and Low-Alloy Steels”, *Nuclear Engineering and Design*, 197(1-2), 1-12, (2000).

Potzies, C., Kainer, K. U., “Fatigue of Magnesium Alloys”, *Advanced Engineering Materials*, 6(5), 281-289, (2004).

Razzaq, M. A., Ariffin, K. A., El Shafie, A., Abdullah, S., Sajuri, Z., Akeel, N. A., “Adaptive Neural Network Modelling in Fatigue Life Prediction Under Load History Effects”, *Advanced Materials Research*, 284-286, 1266-1270, (2011).

Rohman, M. N., Hidayat, M. I. P., Purniawan, A., “Prediction of Composite Fatigue Life Under Variable Amplitude Loading Using Artificial Neural Network Trained by Genetic Algorithm”, *Proceedings of the 3rd International Conference on Materials and Metallurgical Engineering and Technology (ICOMET 2017)*, 1945 (1), (2018).

Saif, U., Guan, Z., Liu, W., Wang, B., Zhang, C., “Multi-Objective Artificial Bee Colony Algorithm for Simultaneous Sequencing and Balancing of Mixed Model Assembly Line”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 75, 1809-1827, (2014).

Salmalian, K., Nariman-Zadeh, N., Gharababei, H., Haftchenari, H., Varvani-Farahani, A., “Multi-Objective Evolutionary Optimization of Polynomial Neural Networks for Fatigue Life Modelling and Prediction of Unidirectional Carbon Fibre-Reinforced Plastics Composites”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 224(2), 79-91, (2010).

Salmalian, K., Soleimani, M., Rouhi, S., “Fatigue Life Modeling and Prediction of GRP Composites Using Multi-Objective Evolutionary Optimized Neural Networks”, *International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, 1(6), 1-10, (2012).

Sohn, I., Bae, D., “Fatigue Life Prediction of Spot-Welded Joint by Strain Energy Density Factor Using Artificial Neural Network”, *Key Engineering Materials*, 183-187, 957-962, (2000).

Song, L. K., Bai, G. C., Fei, C. W., Wen, J., “Reliability-Based Fatigue Life Prediction for Complex Structure with Time-Varying Surrogate Modeling” *Advances in Materials Science and Engineering*, 2018, 1-16, (2018).

Sonsino, C. M., “Course of SN-Curves Especially in the High-Cycle Fatigue Regime with Regard to Component Design and Safety”, *International Journal of Fatigue*, 29(12), 2246-2258, (2007).

Srinivasan, V.S., Valsan, M., Sankara Rao, K.B., Mannan, S.L., Raj, B., “Low Cycle Fatigue and Creep-Fatigue Interaction Behavior of 316L(N) Stainless Steel and Life Prediction By Artificial Neural Network Approach”, *International Journal of Fatigue*, 25(12), 1327-1338, (2003).

Susmikanti, M., “The Fatigue Life Prediction of Aluminium Alloy Using Genetic Algorithm and Neural Network”, *Padjadjaran International Physics Symposium 2013*, 1554, 174-177, (2013).

Szeto, W. Y., Wu, Y., Ho, S. C., “An Artificial Bee Colony Algorithm for the Capacitated Vehicle Routing Problem”, *European Journal of Operational Research*, 215(1), 126-135, (2011).

Şekercioğlu, T., Kovan, V., “Prediction of Static Shear Force and Fatigue Life of Adhesive Joints by Artificial Neural Network”, *Kovove Materialy*, 46, 51-57, (2008).

Tapkın, S., “Estimation of Fatigue Lives of Fly Ash Modified Dense Bituminous Mixtures Based on Artificial Neural Networks”, *Materials Research*, 17(2), 316-325, (2014).

Tian, Z., “An Artificial Neural Network Approach for Remaining Useful Life Prediction of Equipments Subject to Condition Monitoring”, in *2009 8th International Conference on Reliability, Maintainability and Safety*, Chengdu, China, 143-148, (2009).

Uygur, I., Çiçek, A., Toklu, E., Kara, R., Sarıdemir, S., “Fatigue Life Predictions of Metal Matrix Composites Using Artificial Neural Networks”, *Archives of Metallurgy and Materials*, 59(1), 97-103, (2014).

Vadood, M., Johari, M.S., Rahai, A.R., “Relationship Between Fatigue Life of Asphalt Concrete and Polypropylene/Polyester Fibers Using Artificial Neural Network and Genetic Algorithm”, *Journal of Central South University*, 22(5), 1937-1946, (2015).

Vassilopoulos, A.P., Georgopoulos, E.F., Dionysopoulos, V., “Modelling Fatigue Life of Multidirectional GFRP Laminates under Constant Amplitude Loading with Artificial Neural Networks”, *Advanced Composites Letters*, 15(2), 43-51, (2006).

Vassilopoulos, A.P., Georgopoulos, E.F., Dionysopoulos, V. “Artificial Neural Networks in Spectrum Fatigue Life Prediction of Composite Materials”, *International Journal of Fatigue*, 29(1), 20-29, (2007).

Vassilopoulos, A.P., Georgopoulos, E.F., Keller, T., “Comparison of Genetic Programming with Conventional Methods for Fatigue Life Modeling of FRP Composite Materials”, *International Journal of Fatigue*, 30, 1634-1645, (2008).

Venkatesh, V., Rack, H.J., “A Neural Network Approach to Elevated Temperature Creep-Fatigue Life Prediction”, *International Journal of Fatigue*, 21(3), 225-234, (1999).

Wu, S. J., Gebraeel, N., Lawley, M. A., Yih, Y., “A Neural Network Integrated Decision Support System for Condition-Based Optimal Predictive Maintenance Policy”, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 37(2), 226-236, (2007).

Xiang, K.L., Xiang, P.Y., Wu, Y.P., “Prediction of the Fatigue Life of Natural Rubber Composites by Artificial Neural Network Approaches”, *Materials and Design*, 57, 180-185, (2014).

Xiang, W., Ma, S., An, M., “hABCDE: A Hybrid Evolutionary Algorithm Based on Artificial Bee Colony Algorithm and Differential Evolution”, *Applied Mathematics and Computation*, 238, 370-386, (2014^a).

Xiao, F., Amirkhania, S., Juang, C. H., “Prediction of Fatigue Life of Rubberized Asphalt Concrete Mixtures Containing Reclaimed Asphalt Pavement Using Artificial Neural Networks”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 21(6), 253-261, (2009).

Xu, C. L., Lv, S. L., Wang, Z. G., Zhang, W., “Predicting Fatigue Life of Pre-Corroded LC4 Aluminum Alloy by Artificial Neural Network”, *Advanced Materials Research*, 118-120, 221-225, (2010).

Xu, C., Cui, J., “Prediction of Residual Fatigue Life of Bolts Based on Metal Magnetic Memory”, in 2018 International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium, Beijing, China, 1-2, (2018).

Yan, C., Gao, R., Huang, W., “Asphalt Mixture Fatigue Life Prediction Model Based on Neural Network”, 17th COTA International Conference of Transportation Professionals, Shanghai, China, (2018).

Yang, X., Deng, W., Zou, L., Zhao, H., Liu, J., “Fatigue Behaviors Prediction Method of Welded Joints Based on Soft Computing Methods”, *Materials Science & Engineering: A*, 559, 574-582, (2013).

Yang,X.,Zou,L.,Deng,W., “Fatigue Life Prediction for Welding Components Based on Hybrid Intelligent Technique”, *Materials Science & Engineering A*, 642, 253-261, (2015).

Yao, B., Hu, P., Zhang, M., Wang, S., “Artificial Bee Colony Algorithm with Scanning Strategy for the Periodic Vehicle Routing Problem”, *Simulation*, 89(6), 762-770, (2013).

Zhang, C., Ouyang, D., Ning, J., “An Artificial Bee Colony Approach for Clustering”, *Expert Systems with Applications*, 37(7), 4761-4767, (2010).

Zhang, G. Q., Lin, H. B., “Fatigue Life Prediction Based on GA-BP Algorithm”, *Key Engineering Materials*, 474-476, 2114-2119, (2011).

Zhang, L., Lei, J., Zhou, Q., Wang, Y., “Using Genetic Algorithm to Optimize Parameters of Support Vector Machine and Its Application in Material Fatigue Life Prediction”, *Advances in Natural Science*, 8(1), 21-26, (2015).

Zhang, R., Song, S., Wu, C., “A Hybrid Artificial Bee Colony Algorithm for the Job Shop Scheduling Problem”, *International Journal of Production Economics*, 141(1), 167-178, (2013).

Zhang, S., Lee, C. K. M., Choy, K. L., Ho, W., Ip, W. H., “Design and Development of A Hybrid Artificial Bee Colony Algorithm for the Environmental Vehicle Routing Problem”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 31, 85-99, (2014).

Zhaohua,W., “Optimal Design and Fatigue Life Prediction for QFN Solder Joints by BP Artificial Neural Networks and Genetic Algorithm”, 11th International Conference on Electronic Packaging Technology & High Density Packaging, Xi'an, China, 938-943, (2010).

Zou, L., Sun, Y.,Yang, X., “An Entropy-Based Neighborhood Rough Set and PSO-SVRM Model for Fatigue Life Prediction of Titanium Alloy Welded Joints”, *Entropy*, 21(2), 117, (2019).

7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sevcan KARAGÖZ

Doğum Yeri ve Tarihi : KARS/1992

Lisans Üniversite : Atatürk Üniversitesi

Y. Lisans Üniversite (varsa) : Pamukkale Üniversitesi

Elektronik posta : sevcn_karagoz36@hotmail.com

İletişim Adresi : Akkonak Mah. 1729. Sk. No:13

Yayın Listesi :

- Kalaycı, C. B., Karagöz, S., Karakaş, Ö., “Bee Colony Intelligence in Fatigue Life Estimation of Simulated Magnesium Alloy Welds”, *International Journal of Fatigue*, 127, 36-44, (2019).

Konferans listesi :

- 2nd International Conference on Advanced Technologies, Computer Engineering and Science (ICATCES), Alanya/ANTALYA , (2019).