

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YAPAY ARI KOLONİ PROGRAMLAMA YÖNTEMİNİN
SEMBOLİK REGRESYON PROBLEMİ İÇİN TAGUCHI
YÖNTEMİ İLE PARAMETRE OPTİMİZASYONU**

**Hazırlayan
Büşra LİSAN**

**Danışman
Doç. Dr. Beyza GÖRKEMLİ BAYRAM**

Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

**Kasım 2024
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YAPAY ARI KOLONİ PROGRAMLAMA YÖNTEMİNİN
SEMBOİK REGRESYON PROBLEMİ İÇİN TAGUCHI
YÖNTEMİ İLE PARAMETRE OPTİMİZASYONU
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Büşra Lisan**

**Danışman
Doç. Dr. Beyza GÖRKEMLİ BAYRAM**

**Kasım 2024
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Büşra Lisan

İmza:

“Yapay Arı Koloni Programlama Yönteminin Sembolik Regresyon Problemi için Taguchi Yöntemi ile Parametre Optimizasyonu” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Büşra Lisan

İmza

Danışman

Doç. Dr. Beyza GÖRKEMLİ BAYRAM

İmza

Bilgisayar Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Veysel ASLANTAŞ

İmza

KABUL VE ONAY

Doç. Dr. Beyza GÖRKEMLİ BAYRAM danışmanlığında **Büşra LİSAN** tarafından hazırlanan “**Yapay Arı Koloni Programlama Yönteminin Sembolik Regresyon Problemi için Taguchi Yöntemi ile Parametre Optimizasyonu**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Bilgisayar Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

19 / 11 / 2024

JÜRİ:

Danışman : Doç. Dr. Beyza GÖRKEMLİ BAYRAM

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Fatma Özge Özkök

Üye : Doç. Dr. Murat Taşyürek

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

..... / /

Prof. Dr. Emel KIZILKAYA AYDOĞAN

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince bana yol gösteren, her konuda yardım eden danışman hocam Doç. Dr. Beyza GÖRKEMLİ BAYRAM'a sayısız destekleri için teşekkürlerimi sunarım. Her zaman destekçim olan ve bana inanan canım eşim, biricik oğlum ve ebeveynlerime de ayrıca teşekkür etmek isterim.

Büşra LİSAN

KAYSERİ, 2024

YAPAY ARI KOLONİ PROGRAMLAMA YÖNTEMİNİN SEMBOLİK REGRESYON PROBLEMİ İÇİN TAGUCHİ YÖNTEMİ İLE PARAMETRE OPTİMİZASYONU

Büşra LİSAN

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Kasım 2024
Danışman: Doç. Dr. Beyza GÖRKEMLİ BAYRAM**

ÖZET

Yapay Arı Kolonisi Programlama (Artificial Bee Colony Programming - ABCP), arı kolonilerinin yiyecek arama davranışlarını taklit eden Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony - ABC) algoritmasına dayalı yüksek seviyeli bir otomatik programlama tekniğidir. Son dönemde ortaya çıkan bu teknik, başarılı sonuçlar vermesi ve uygulama kolaylığı ile birçok problemin çözümünde etkin olarak kullanılmaktadır. Evrimsel hesaplama dayalı optimizasyon yöntemlerinin hem başarılı hem de gürbüz (robust) bir şekilde performans sergileyebilmesi için uygun kontrol parametre değerlerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu tez çalışmasında ABCP'nin kontrol parametresi değerlerinin belirlenmesinde, literatürde yaygın olarak kullanılan ve farklı parametre seviyeleri arasındaki en uygun kombinasyonu saptamayı sağlayan Taguchi yöntemi tercih edilmiştir. Bu çalışmada, sembolik regresyon problemi çözümünde ABCP algoritmasının kontrol parametreleri ele alınmış ve uygun parametre setinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Algoritmanın anahtar parametreleri olan koloni büyüklüğü, limit ve maksimum ağaç derinliği dört seviyede incelenmiş ve L16 ortogonal dizisi oluşturulmuştur, sonrasında fonksiyon seti parametresinin etkisini ölçebilmek için ikinci bir deney tasarımı yapılmıştır. S/N oranları hesaplanmış ve faktörlerin etkileri incelenmiştir. ANOVA analizi sunulmuştur. Tahmin edilen ve deney çalışması neticesinde elde edilen S/N oranları kıyaslanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapay Arı Kolonisi Programlama, otomatik programlama, sembolik regresyon, deney tasarımı, Taguchi yöntemi

**PARAMETER OPTIMIZATION WITH THE TAGUCHI METHOD FOR THE
SYMBOLIC REGRESSION PROBLEM OF ARTIFICIAL BEE COLONY
PROGRAMMING METHOD**

Büşra LİSAN

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master Thesis, July 2024

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Beyza GÖRKEMLİ BAYRAM

ABSTRACT

Artificial Bee Colony Programming (ABCP) is a high-level automatic programming technique based on the Artificial Bee Colony (ABC) algorithm, which mimics the foraging behavior of bee colonies. As a recently developed approach, ABCP has demonstrated effectiveness in solving various problems due to its ability to deliver successful outcomes and its ease of application. For optimization methods based on evolutionary computation to achieve both successful and robust performance, determining appropriate control parameter values is of critical importance. In this thesis, the Taguchi method, which is widely employed in the literature and enables the identification of the optimal combination among different parameter levels, was selected to determine the control parameters of ABCP. This study aims to identify an appropriate parameter set for the ABCP algorithm to solve symbolic regression problems efficiently. The key parameters of the algorithm, namely colony size, limit, and maximum tree depth, were examined across four levels, and an L16 orthogonal array was constructed. Subsequently, a second experimental design was conducted to evaluate the impact of the function set parameter. Signal-to-noise (S/N) ratios were calculated, and the effects of the factors were analyzed in detail. An ANOVA analysis was performed to assess the significance of the factors. Finally, the predicted S/N ratios were compared with those obtained from experimental results to validate the findings.

Keywords: Artificial Bee Colony Programming, automatic programming, symbolic regression problem, design of experiment, Taguchi method.

İÇİNDEKİLER

YAPAY ARI KOLONİ PROGRAMLAMA YÖNTEMİNİN SEMBOLİK REGRESYON PROBLEMİ İÇİN TAGUCHI YÖNTEMİ İLE PARAMETRE OPTİMİZASYONU

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR.....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
GİRİŞ.....	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Regresyon Analizi	5
1.2. Sembolik Regresyon.....	6
1.3. Otomatik Programlama.....	7
1.4. Literatür Çalışmaları.....	8

2. BÖLÜM

YÖNTEM ve MATERYAL

2.1. Materyal.....	26
--------------------	----

2.1.1. Yapay Arı Koloni Programlama.....	26
2.1.1.1. ABC Algoritması.....	26
2.1.1.2. ABCP Algoritması	28
2.2. Yöntem	32
2.2.1. Taguchi Yöntemi	32
2.2.1.1. Tarihçesi ve Felsefesi	32
2.2.1.2. Taguchi Yönteminin Uygulama Aşamaları.....	35

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1 Araştırma Modeli.....	43
3.1.1. Birinci Deney Tasarımı	43
3.1.2. İkinci Deney Tasarımı	51

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1.Tartışma - Sonuç ve Öneriler	60
---	-----------

KAYNAKÇA	62
-----------------------	-----------

ÖZGEÇMİŞ.....	71
----------------------	-----------

KISALTMALAR

ABC: Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony)

ABCP: Yapay Arı Kolonisi Programlama (Artificial Bee Colony Programming)

GA: Genetik Algoritma

GP: Genetik Programlama

qABCP: Hızlı Yapay Arı Kolonisi Programlama (Quick Artificial Bee Colony Programming)

sABCP: Semantik/Anlamsal Yapay Arı Kolonisi Programlama (Semantic Artificial Bee Colony Programming)

SN: Sinyal Gürültü Oranı (Signal To Noise)

qABCP: Hızlı Yapay Arı Kolonisi Programlama (Quick Artificial Bee Colony Programming)

MHABCP: Çoklu Kovan Yapay Arı Kolonisi Programlama Multi Hive Artificial Bee Colony Programming)

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. L16 Dizisi.	38
Tablo 3.1. Birinci deney tasarımı.	43
Tablo 3.2. L16 ortogonol dizi.	44
Tablo 3.3. Deneylerin ortalama sonuçları ve SN Oranları.	45
Tablo 3.4. SN Oranı Sonuçları.	45
Tablo 3.5. ANOVA Analizi.	47
Tablo 3.6. ANOVA Model özeti.	47
Tablo 3.7. İkinci Deney Tasarımı.	52
Tablo 3.8. L16 Ortogonal Dizi.	52
Tablo 3.9. Deneylerin ortalama sonuçları ve SN Oranları.	53
Tablo 3.10. SN Oranı Sonuçları.	53
Tablo 3.11. ANOVA Analizi.	54
Tablo 3.12. ANOVA Model Özeti.	55
Tablo 3.13. Doğrulama Deneyi.	59

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Bir sistemin girdi ve çıktı diyagramı.....	6
Şekil 2.1. ABC algoritması sözde kodu.....	28
Şekil 2.2. ABCP algoritmasının akış diyagramı.....	30
Şekil 2.3. ABCP algoritmasının sözde kodu.....	31
Şekil 2.4. Taguchi Uygulama Aşamaları.....	35
Şekil 3.1. SN Oranı Grafiği.....	46
Şekil 3.2. Normal Olasılık Grafiği.....	48
Şekil 3.3. Artıklar ve Tahmin Edilen Değerler Grafiği.....	49
Şekil 3.4. Histogram Grafiği.....	50
Şekil 3.5. Gözlem Sırası ve Artıklar Grafiği.....	51
Şekil 3.6. SN Oranı Grafiği.....	54
Şekil 3.7. Normal Olasılık Grafiği.....	56
Şekil 3.8. Artıklar ve Tahmin Edilen Değerler Grafiği.....	57
Şekil 3.9. Histogram Grafiği.....	58
Şekil 3.10. Gözlem Sırası ve Artıklar Grafiği.....	59

GİRİŞ

Optimizasyon, kısıtlar sağlanacak şekilde amaç fonksiyonunu/fonksiyonlarının minimum/maksimum değerlerini veren tasarım değişkenlerinin en ideal değerlerinin bulunmasıdır [1]. Optimizasyon problemlerine başarıyla uygulanabilen Yapay Arı Kolonisi Programlama (Artificial Bee Colony Programming–ABCP) gibi algoritmalar için en büyük problemlerden biri algoritma parametrelerine uygun değerlerinin atanabilmesidir. Algoritmanın arama alanına yeterince dağılabilmesi ve bulduğu çözümlerden daha iyi çözümler türetebilmesi için kontrol parametrelerine uygun değerler atanmalıdır; dolayısıyla algoritma performansı, parametre değerleriyle doğrudan ilişkilidir [2].

ABCP algoritmasının etkinliğinin belirli parametrelerin doğru şekilde ayarlanmasına bağlı olması nedeniyle parametrik optimizasyon, algoritmanın performansını maksimize etmek için kritik bir rol oynar. Parametrelerin optimizasyonu, algoritmanın hızını, doğruluğunu ve genel başarısını doğrudan etkiler. Ancak, parametre optimizasyonu genellikle deneme-yanılma yöntemiyle yapılmakta ve bu süreç zaman alıcı ve maliyetli olabilmektedir. Bu noktada, Taguchi yöntemi, parametrik optimizasyon sürecini daha sistematik ve verimli hale getirmek için güçlü bir araç sunar.

R.A. Fisher, 1922'de parametreleri tasarlanması ve deneylerin planlanması için etkili bir yöntem olan deney tasarımı yöntemini geliştirmiştir. Bu yöntemde, 'sinyal' kelimesi, çıktı için istenen değeri (ortalama) tanımlar, 'gürültü' ise istenmeyen değeri, yani çıktı için standart sapmayı ifade eder. Sonuç olarak, Sinyal-Gürültü (S/N) oranı, ortalamanın standart sapmaya bölünmesiyle elde edilir. İstenen sonuca bağlı olarak S/N oranlarının yorumlanması için üç ana kategori vardır: küçük-en-iyi, yüksek-en-iyi ve nominal-en-iyi. Taguchi yöntemi, bu kategorileri kullanarak parametre tasarımı yoluyla kalite

karakteristiklerini optimize eder [3]. Önceleri deney tasarımı için maliyeti oldukça yüksek olan klasik metodolojiler kullanılırdı, burada her denemede bir parametre değiştirilerek değiştirilen parametrenin sisteme etkisi analiz edilir ve parametreler arası etkileşim göz önünde bulundurulamaz ve nitel girdi parametreleri için kullanılamazdı. Sonrasında istatistiksel deney tasarım yöntemleri kullanılmaya başlandı. Bunlar “tam faktöriyel”, “kesirli/kısmi faktöriyel” ve “Taguchi” yöntemleridir. Faktöriyel deney tasarım yöntemleri bir/birden fazla parametrelerin deney üzerindeki etkilerini ölçmek için kullanılır, burada hem parametrelerin deneydeki etkisi hem de parametrelerin birbirleri ile olan etkileşimleri analiz edilebilir. Tam faktöriyel yöntemi hem nitel hem de nicel girdilerin analiz edilmesine imkân sağlar. Tüm kombinasyonların hesaplandığı bu yöntem yüksek doğruluk sağlar ancak maliyet açısından dezavantajlıdır. Kesirli faktöriyel yöntemi ise maliyet ve zamandan kazanmak için tercih edilen bir yöntemdir. Burada tüm kombinasyonları incelemek yerine daha az deney sayısı ile en iyi analizin yapılması hedeflenir. Maliyet ve zaman tasarrufu açısından en ideal deney tasarım yöntemi Taguchi yöntemidir [4].

Taguchi yöntemi, Japon mühendis ve istatistikçi Genichi Taguchi tarafından geliştirilmiş bir deney tasarım metodolojisidir. Bu yöntem, kalite iyileştirme ve proses optimizasyonu amacıyla kullanılır ve faktörlerin en uygun seviyelerini belirlemek için istatistiksel analizler yapar. Taguchi yöntemi, ortogonal diziler kullanarak deney sayısını minimize eder ve etkileşimlerin ana etkilerini değerlendirmeye odaklanır. Bu özellikleri sayesinde, yapay arı kolonisi algoritmasının parametre optimizasyonu için ideal bir yöntemdir [5].

Tez kapsamında ele alınan birinci deney parametre sayısı (3) ve seviye sayısı (4) göz önünde bulundurulduğunda Taguchi metodu tercih edildiği için L16 ortogonal dizisi kullanılmış olup gereken deney sayısı 16’dır. Bu çalışmada tam faktöriyel yöntemi için gereken deney sayısı ise 4^3 ile 64 olmaktadır. Yapılan ikinci deney tasarımında ise 5 parametre 4 seviyede ele alınmıştır ve yine L16 ortogonal dizisi kullanılarak 16 deney yapılmıştır, tam faktöriyel yönteminde $4^4=256$ deney gerekmektedir. Taguchi yöntemi deney sayısının az olması sayesinde zaman ve maliyet tasarrufu sağlamasının yanında dış faktörlere karşı duyarlılığı azaltarak gürbüz(robust) bir tasarım imkanı sunar. “Nominal is best”, “smaller is better” ve “larger is better” gibi farklı yöntemleri olması belirli bir performans kriterine göre sonuçların analiz edilmesi hedeflenen çıktıya ulaşmayı kolaylaştırır. Bunların yanı sıra ortogonal diziler kolay uygulanabilir ve hem ürün

geliştirme hem kalite kontrol süreçlerinde esnek kullanım imkanına sahiptir [6], literatür taraması bölümünde Taguchi ile farklı alanlarda yapılmış çalışmalara yer verilmiştir.

Sembolik regresyon, veri madenciliği ve makine öğrenimi alanlarında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu teknik, bir dizi veriden matematiksel modeller veya fonksiyonlar türetmeyi amaçlar. Sembolik regresyon, özellikle karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkileri modellemek için kullanışlıdır. Genetik programlama (GP) ve diğer evrimsel algoritmalar, sembolik regresyon problemlerinin çözümünde sıkça kullanılan yaklaşımlar arasında yer alır. Ancak, bu algoritmaların performansı da parametre ayarlarına oldukça duyarlıdır [7].

Bu çalışma, yapay arı kolonisi algoritmasının sembolik regresyon problemleri için etkin bir şekilde uygulanmasını ve Taguchi yöntemi kullanılarak parametre optimizasyonunun gerçekleştirilmesini hedeflemektedir. İlk olarak, yapay arı kolonisi algoritmasının temel prensipleri ve sembolik regresyon problemlerine nasıl uygulanabileceği ele alınacaktır. Ardından, Taguchi yönteminin deney tasarımı ve optimizasyon süreçleri detaylandırılacaktır. Son olarak, sembolik regresyon problemlerine yönelik bir uygulama örneği sunulacak ve elde edilen sonuçlar tartışılacaktır.

Bu araştırma, hem ABCP algoritmasının sembolik regresyon problemlerine uygulanabilirliğini göstermek hem de Taguchi yönteminin parametrik optimizasyondaki etkinliğini kanıtlamak amacıyla yapılmıştır. Bu bağlamda, çalışma, yapay zekâ ve optimizasyon alanlarında literatüre önemli katkılar sağlayacaktır. Ayrıca, geliştirilen metodolojinin pratik uygulamalar için nasıl uyarlanabileceği ve genişletilebileceği üzerine önerilerde bulunulacaktır. Bu yaklaşım, endüstriyel uygulamalar, finansal modelleme, biyoinformatik ve diğer alanlarda karmaşık veri analizi gerektiren problemler için etkili çözümler sunabilir.

Bu tez çalışmasında Taguchi yöntemi kullanılarak ABCP'nin sembolik regresyon problemlerinde hem başarılı hem de gürbüz (robust) bir şekilde çalışacağı uygun kontrol parametre değerlerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Tez kapsamında iki farklı problem ailesinden sembolik regresyon problemleri ele alınmıştır. Polinomal ve trigonometrik bu sembolik regresyon problemleri için ele alınan kontrol parametreleri 4 seviyede

incelenmiştir. Yapılan deney tasarımlarının ilkinde koloni büyüklüğü, limit ve maksimum ağaç derinliği parametrelerinin algoritma üzerindeki etkisi değerlendirilmiş, ikinci deney tasarımında bu faktörlere ek olarak fonksiyon setinin etkisi de değerlendirilmiştir. ABCP algoritması ile elde edilen ortalama ham uygunluk değeri sonuçlarına göre sinyal gürültü oranları üzerinden en etkili parametreler ve optimum parametre setleri belirlendikten sonra ANOVA analizi ile bu parametrelerin istatistiksel anlamı ve model doğruluğu ölçülmüştür. Sembolik regresyon problemlerinin farklı alanlarda gerçek hayat uygulamalarındaki geniş yayılımı, ABCP gibi yöntemlerde uzman olmayan farklı disiplinlerdeki araştırmacıların sembolik regresyon problemlerinin çözümü için bu tür yöntemlere sıklıkla ihtiyaç duyması, kontrol parametre değerlerinin evrimsel hesaplama dayalı algoritmaların performansına etkisinin yüksek olması gibi hususlar tez çalışmasının önemini ve literatüre sağlayacağı katkıyı göstermektedir.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Regresyon Analizi

Regresyon yöntemleri, bağımsız değişkenleri kullanarak bağımlı değişkenlerin değerlerini tahmin etmeyi amaçlayan istatistiksel yöntemlerdir. Bu yöntemler, giriş (bağımsız değişken) ve çıkış (bağımlı değişken) değerleri arasındaki ilişkiyi matematiksel ifadelerle modellemeyi hedefler. Regresyon analizi, bu ilişkileri çeşitli matematiksel fonksiyonlar kullanarak açıklar ve bu sayede veri setleri üzerinden gelecekteki değerlerin tahmin edilmesine olanak tanır. Bu süreci görselleştiren bir blok diyagram, sistemin nasıl çalıştığını anlamak için faydalı bir araçtır; bu diyagram genellikle girişleri, işlem basamaklarını ve çıktıları gösterir [8]. Regresyon çalışmaları, özellikle ekonomi, mühendislik, biyoloji ve sosyal bilimler gibi birçok alanda uygulamalar bulmaktadır. Bu yöntemler, doğrusal regresyon, çoklu regresyon ve lojistik regresyon gibi farklı türleri içermektedir, her biri belirli türdeki veri setleri ve ilişkiler için uygun olabilir. Şekil 1.1’de bir sisteme ait girdi ve çıktıyı temsil eden blok diyagram gösterilmektedir.



Şekil 1.1 Bir sistemin girdi ve çıktı diyagramı.

Klasik regresyon analizi, giriş ve çıkış değerleri arasındaki ilişkiyi matematiksel bir ifade ile temsil eder. Bu süreçte, doğrusal/doğrusal olmayan regresyon modellerinin kurulması için genellikle en küçük kareler yöntemi kullanılır [9]. Özellikle, basit doğrusal regresyon yöntemi, bir bağımsız değişken X ve bir bağımlı değişken Y arasındaki ilişkiyi modellemek için tercih edilir. Bu yöntemde, ilişkiyi belirlemek için genellikle bir doğrusal denklem formülü kullanılır:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (1.1)$$

1.2. Sembolik Regresyon

Sembolik regresyon, analist öngörülerine dayanmadan sistemlerin giriş ve çıkış değerleri arasındaki ilişkiyi otomatik olarak belirleyen bir regresyon işlemidir [10]. Bu tür regresyon problemlerinde, sisteme ait giriş ve çıkış değerleri arasındaki ilişkiyi temsil eden matematiksel model, önceden var olan bilgilere dayanmadan, bağımsız-bağımlı değişkenlerin ilişkili değerlerinin verilen sonlu örneklenmesini kullanarak, belirlenir. Sembolik regresyon, John Koza tarafından genetik programlama kullanılarak çözülen bir metodoloji olarak tanıtılmıştır. Bu yaklaşım, değişkenler, semboller ve sabitler arasından en iyi kombinasyonu bulmayı amaçlayarak sisteme en uygun modelin tespit edilmesine yönelik bir optimizasyon problemidir. Kullanılan optimizasyon algoritmaları, model tarafından üretilen çıkış değerleri ile gerçek çıkış değerleri arasındaki farkı minimize etmeyi hedefler. Bu süreç, matematiksel ifadeleri evrimsel süreçler kullanarak keşfetmeyi içerir ve karmaşık sistemlerin modellemesinde kritik öneme sahiptir. Sembolik

regresyon, özellikle doğrusal olmayan ve karmaşık ilişkileri modellemekte etkili olduğu için, birçok bilimsel ve mühendislik alanında uygulanmaktadır [11].

Bu çalışmada sembolik regresyon problemlerinin çözümünü yapabilecek şekilde uygun ABCP kodlaması gerçekleştirilecek ve Taguchi deney tasarım basamakları uygulanacaktır. Taguchi deney basamakları; problemin tanımlanması, deney amacının belirlenmesi, faktör ve seviyelerin seçimi, ortogonal dizayn tablosunun seçilmesi ve deneyin uygulanması sonrası sonucun analiz edilip optimum faktör seviyelerinin belirlenmesidir.

1.3. Otomatik Programlama

Otomatik Programlama, bir sistemde girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiyi model üreterek açıklamaya çalışan bir makine öğrenmesi yaklaşımıdır. Otomatik programlama yöntemlerinde, problemlerin çözüm kalitesini değerlendirmek için belirli bir uygunluk fonksiyonu tanımlanması gereklidir. Bu fonksiyon, algoritmanın içindeki karar değişkenlerini ve popülasyon içindeki bireyleri etkin bir şekilde optimize etmeyi hedefler. Otomatik programlama, problem çözümüne başladıktan sonra farklı matematiksel ifadeleri deneyerek, model için en uygun ifadeyi bulmaya çalışır. Bu süreç, özellikle sembolik regresyon problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılır [12].

Bu alanda yaygın olarak kullanılan otomatik programlama yöntemlerinden bazıları şunlardır: genetik programlama, karınca kolonisi programlama, yapay arı kolonisi programlama ve yapay bağışıklık sistemi programlaması. Yapay arı koloni Programlama (ABCP), ABC algoritmasına dayalı yüksek seviyeli bir otomatik programlama yöntemi ve sembolik regresyon problemi için geliştirilmiştir.[13]. Her bir yöntem, belirli problemlere yönelik benzersiz çözüm stratejileri ve algoritmalar sunar. Örneğin, genetik programlama, bireylerin genetik operatörler aracılığıyla evrilerek optimal çözümlere ulaşmalarını sağlar. Karınca kolonisi ve yapay arı kolonisi programlama ise doğadaki sosyal böceklerin davranışlarından esinlenerek problem çözme süreçlerini simüle eder. Yapay bağışıklık sistemi programlaması, ise insan bağışıklık sisteminin adaptif özelliklerini modelleyerek çözümleri optimize eder [14].

Bu yöntemler, özellikle karmaşık ve çözülmesi zor problemlerde, çeşitli test senaryoları ve optimizasyon gereksinimlerine göre uyarlanabilir. Başarılı bir otomatik programlama

uygulaması için uygunluk fonksiyonunun doğru şekilde tasarlanması ve parametrelerin etkin bir şekilde ayarlanması büyük önem taşır [15].

1.4. Literatür Çalışmaları

Kıran [16] tarafından yapılan çalışmada, optimizasyon problemlerinin çözümünde Yapay Arı Kolonisi algoritması (Artificial Bee Colony-ABC) tabanlı yeni yaklaşımlar incelenmiştir. Yapay arı kolonisi algoritması, doğal arı kolonilerinin yiyecek arama davranışlarından esinlenerek geliştirilmiş bir meta-sezgisel optimizasyon tekniğidir. Çalışma, ABC algoritmasının performansını artırmak için çeşitli iyileştirme stratejilerini ve modifikasyonları önermektedir. Çalışma, standart ABC algoritmasında yapılan iyileştirmeler ve modifikasyonlarla, algoritmanın daha hızlı ve daha doğru çözümler üretebileceğini göstermektedir. Bu iyileştirmeler, arıların arama stratejileri ve komşuluk mekanizmalarında yapılan değişikliklerdir. Yeni yaklaşımların performansı, literatürde yaygın olarak kullanılan diğer meta-sezgisel algoritmalarla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, ABC tabanlı yaklaşımların çeşitli optimizasyon problemlerinde rekabetçi ve bazen üstün olduğunu göstermektedir. Çalışmada önerilen yöntemlerin, mühendislik, ekonomi, lojistik ve diğer alanlardaki optimizasyon problemlerine uygulanabilirliği tartışılmıştır. Önerilen iyileştirmeler, özellikle büyük ve karmaşık problem alanlarında etkili sonuçlar vermektedir. Kıran'ın çalışması, yapay arı kolonisi algoritmasının optimizasyon problemlerinin çözümünde etkin bir araç olduğunu ve algoritmanın çeşitli modifikasyonlarla daha da geliştirilebileceğini ortaya koymaktadır. Bu yeni yaklaşımlar, ABC algoritmasının geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılabilirliğini ve etkinliğini artırmaktadır.

2014 yılında Akay ve Baştürk [17] gezgin satıcı probleminin çözüm süresini kısaltmak için ABC algoritmasının paralel uygulamasını kullanarak bir çalışma gerçekleştirdiler ve işlem süresini kısaltarak diğer genetik algoritma yöntemlerine (çaprazlama, mutasyon, seçim gibi üreme yöntemleri) göre daha kaliteli sonuçlar elde edilebildiğini ortaya koydular.

Karaman vd. [18] ABC algoritmasını nesne algılama algoritmalarından YOLO tabanlı algoritmaların parametre optimizasyonu için kullanmışlardır. Çalışmada öncelikle veri setleri hiper parametrelerle eğitilmiştir, daha sonra bu parametreler ABC algoritmasında girdi olarak kullanılmış ve ABC algoritmasının bulduğu en iyi besin kaynağı burada

YOLO algoritmaları için optimum(performansı en çok arttıran) hiper parametrelere karşılık gelmektedir. Belirlenen bu parametreler modelin eğitilmesi ve değerlendirilmesinde kullanılmış olup YOLO algoritmalarının performansında artış gözlemlenmiştir.

Ahmed vd. [19] Restful API'ler için mikro hizmetlerde kullanılan kara kutu testinde (Black-box testing) kullanılması için otomatik test seti oluşturulması amacıyla ABC algoritmasının oluşturulması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Deneyler, rota sayısı, işlem türleri, giriş değerleri ve API'nin belgelenme düzeyi açısından farklılık gösteren altı API üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler, ABC algoritmasının yüksek kapsama kriterlerine ulaşan test setleri oluşturabileceğini göstermiştir.

Crawdord vd. [20] ABC algoritmasının NP-complete çizelgeleme problemlerindeki (üretim Hücresi Tasarım Problemi (MCDP) ve permütasyonlu akış tipi üretim sistemlerinde esnek bakım çizelgeleme probleminin) performansını ortaya koyan bir çalışma yapmışlardır, algoritmanın parametre değerleri ampirik olarak belirlenmiş olup deneysel bir yöntemle belirlenmiştir. MCDP, bir üretim tesisinin parçaların taşınma mesafelerini en aza indirmek amacıyla üretim hücrelerine ayrılmasını hedefler. Bu çalışmada, ABC algoritmasıyla iki ve üç hücre konfigürasyonunda 90 problem çözülmüş ve tüm problemlerde küresel optimum değerler elde edilmiştir. Taillard'ın veri seti kullanılarak yapılan deney sonuçları, ABC'nin diğer klasik ve modern meta-sezgisel yöntemlerle karşılaştırıldığında etkin sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur.

Bilgisayarla görüntüleme topluluğu (computer vision community) için önem arz eden görüntü segmentasyonu için eşik seçimi son yıllarda optimizasyon problemi olarak araştırılmaktadır, Cortes vd. [21] görüntülerin 1-D histogramının bir Gauss karışım modeli vasıtasıyla yaklaştırıldığı çoklu eşik yaklaşımında parametreleri ABC algoritması kullanarak hesaplamışlar ve bu sayede hızlı yakınsama ve başlangıç koşullarının düşük duyarlılık sergilemesini sağlayarak algoritmanın diğer algoritmalara karşı avantajlı olduğunu ortaya koymuşlardır.

Kubicek J. vd. [22], biyomedikal görüntülerin bölgesel segmentasyonu için yaygın olarak kullanılmakta olan K-means algoritmasının başlatma aşamasının tanımlanmasında ABC algoritmasını kullanarak çoklu bölge segmentasyon modelini incelemişler ve ABC algoritmasının belirli bir sayıda yinelemesi içinde görüntü kümelerinin optimal dağılımını

elde etmek amacıyla, kümeler arası varyansı en aza indiren bir uygunluk (fitness) fonksiyonu tanımlamışlardır.

Menon ve Ramakrishnan [23], MRI beyin görüntülerindeki tümör segmentasyonu problemini çözmek için ABC ve Bulanık-C Ortalama (FCM) algoritmalarına dayanan bir yöntem önermişlerdir. Bu çalışmada ABC algoritması optimal eşik değerinin belirlenmesine yardımcı olmuştur ve doğadan esinlenen diğer algoritmalara göre daha düşük gürültü içermesi sayesinde ABC'nin üstünlüğünü ortaya koymuşlardır.

ABC algoritması, basitliği ve geniş optimizasyon problemlerinde sağladığı başarı ile dikkat çekmekte, ancak düşük yakınsama hızı ve sömürü yeteneği eksikliği gibi sınırlamalar barındırmaktadır. Bajer ve Zoric [24], ABC algoritmasının performansını artırmak amacıyla yeni bir çözüm güncelleme denklemi ve genişletilmiş keşifçi arı aşaması sunarak gerçekleştirdikleri bu çalışma ile ABC algoritmasının sömürü yeteneklerini güçlendiren ve keşif-sömürü dengesini iyileştiren yeni bir yaklaşım sunarak, optimizasyon alanındaki uygulamaları için önemli bir referans oluşturmuşlardır. Önerilen yöntem, durağan çözümleri rastgele değil, toplu bilgiye dayalı olarak güncellerken, popülasyon çeşitliliğine dayalı dinamik parametre ayarlamalarıyla kullanıcı yükünü azaltmaktadır. Geniş bir benchmark fonksiyonu seti ve çeşitli gerçek dünya problemleri üzerinde yapılan deneyler, önerilen yöntemin hem standart ABC algoritmasından hem de diğer popüler optimizasyon yöntemlerinden daha yüksek performans sergilediğini göstermektedir.

Karaboğa ve Akay [25], ABC algoritmasının gerçek parametre optimizasyon problemlerinde performansını artırmak amacıyla bir dizi modifikasyon önerdikleri bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada algoritmanın temel sınırlamaları olan düşük yakınsama hızı ve yerel minimumlara sıkışma problemini ele almak için çözüm güncelleme sürecine pertürbasyon frekansı ve büyüklüğü kontrolü, adaptif ölçekleme faktörü ve iyileştirilmiş onlooker aşaması gibi yenilikçi yaklaşımlar eklenmiştir. Önerilen algoritma, multimodal, unimodal, ayrılabilir ve ayrılabilir olmayan çeşitli test fonksiyonları üzerinde kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir ve deneysel sonuçlar, bu iyileştirmelerin hem yakınsama hızını artırdığını hem de daha yüksek çözüm doğruluğu sağladığını göstermiştir. Önerilen yöntem, diğer popüler optimizasyon algoritmalarıyla kıyaslandığında üstün performans sergileyerek ABC algoritmasının geniş bir problem

sınıfında uygulanabilirliğini ve etkinliğini kanıtlamaktadır. Bu çalışma, ABC algoritmasının gelişimi ve optimizasyon alanındaki uygulamaları için önemli bir katkı sunmaktadır.

Ting vd. [26], Traveling Salesman Problem (TSP) için ABC algoritmasını geliştirmeyi hedefleyen bir yöntem önermişlerdir. Geleneksel ABC algoritması özellikle ayrık ve kombinatoriyal problemler için etkili olmadığından bu makalede, bir Modified Choice Function (MCF) hiper-heuristik yöntemi sunulmaktadır. MCF, employed ve onlooker arıların hangi neighborhood search heuristiğini (LLH) kullanacağını dinamik olarak belirler ve yoğunlaştırma (intensification) ve çeşitlendirme (diversification) bileşenlerini dengeler. Çalışmada önerilen model, Lin-Kernighan (LK) yerel arama stratejisini entegre ederek performansı arttırarak TSPLIB'den alınan 64 TSP örneği üzerinde test edilmiştir. Sonuçlar, önerilen modelin TSP örneklerini ortalama %0,055 sapma ile çözdüğünü ve yaklaşık 2,7 dakika içinde optimal çözümlere çok yakın sonuçlar elde ettiğini göstermektedir. Önerilen modelin hem klasik ABC varyantlarından hem de diğer gelişmiş optimizasyon algoritmalarından daha iyi performans sergilediği ortaya koyulmuştur. Makale, hiper-heuristik yöntemlerin, özellikle LLH seçiminde MCF'nin adaptif kontrol mekanizmasıyla, TSP gibi karmaşık problemler için ABC algoritmasını nasıl geliştirdiğini detaylandırır. Özetle, bu çalışma, MCF-ABC modelinin TSP ve diğer kombinatoriyal optimizasyon problemleri için etkili bir çözüm sunduğunu ortaya koymaktadır.

Taguchi yöntemi mühendislik, malzeme bilimi, tıp, farmakoloji, biyokimya, genetik, moleküler biyoloji, tarım, yer ve gezegen bilimleri, ekonomi ve finans gibi birçok alanda kullanılmıştır.

Görkemli [27], kablosuz sensör ağlarının dinamik yerleştirme probleminde quick ABC (qABC) algoritmasının parametre optimizasyonu için koloni büyüklüğü, limit ve komşuluk yarıçapı faktörlerini kullanarak deney tasarımı çalışması yapmıştır. Çalışmada bu faktörler 4 seviyede incelenmiş, L16 ortogonal dizisi ile oluşturulan deneylerin Taguchi ve ANOVA yöntemleri ile analizi yapılmıştır. Yanıt karakteristiğine %95 güven düzeyiyle anlamlı bir şekilde katkıda bulunan parametrenin komşuluk yarıçapı parametresi olduğu tespit edilmiştir. qABC algoritmasının 30 bağımsız çalıştırılması sonucunda kablosuz sensör ağlarının dinamik yerleştirme problemi için kullanılabilecek

optimum parametre değerleri belirlenmiş, tahmin edilen ve gerçek SN oranları arasında karşılaştırmalı bir analiz yapılmıştır ve tahmin %1,4265 hata ile doğrulanmıştır.

Tasirin vd. [28], akışkan yataklı kurutucuda kuşgözü biberinin kurutma parametrelerini optimize etmek için Taguchi Metodu'nu kullanmıştır. Taguchi Metodu, kalite kontrol ve süreç iyileştirmesi alanlarında yaygın olarak kullanılan bir deney tasarımı tekniğidir. Bu metodoloji, deneylerin sayısını azaltarak optimum parametre kombinasyonlarını belirlemeyi ve süreçlerdeki değişkenliği minimize etmeyi hedeflemektedir. Çalışmada, çeşitli işletme koşullarının (örneğin sıcaklık, hava hızı ve kurutma süresi) kuşgözü biberinin kurutma sürecine etkileri sistematik bir şekilde incelenmiştir. Faktörlerin ve seviyelerin belirlenmesinin ardından, uygun ortogonal diziler kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler, S/N oranları kullanılarak analiz edilmiştir. Deney sonuçlarının analizi, belirli kurutma parametrelerinin kuşgözü biberinin kurutma verimliliği üzerinde önemli etkileri olduğunu göstermiştir. Özellikle, optimum kurutma sıcaklığı ve hava hızı gibi parametreler, kurutma sürecinin etkinliğini büyük ölçüde artırmıştır. Doğrulama deneyleri ile analiz sonuçlarının uyumlu olduğu görülmüştür. Bu durum, Taguchi Metodu'nun kuşgözü biberinin kurutma parametrelerini optimize etmede başarılı bir şekilde uygulanabileceğini göstermektedir. Optimizasyon süreci sonunda elde edilen robust (güçlü) tasarım, daha düşük enerji tüketimi ve daha kısa kurutma süresi ile yüksek kaliteli kurutulmuş biber elde edilmesini sağlamıştır.

Kumar vd. [29] tarafından gerçekleştirilen bu çalışma, taro (*Colocasia esculenta*) ununun kek içindeki buğday unu yerine potansiyel bir alternatif olarak kullanımını Taguchi Metodu ile optimize etmeyi amaçlamaktadır. Taguchi Metodu, süreç ve ürün kalitesini artırmak için kullanılan deney tasarımı ve analiz yöntemlerinden biridir. Bu metodoloji, özellikle farklı faktörlerin ve seviyelerin etkilerini sistematik olarak değerlendirmek ve optimal koşulları belirlemek için idealdir. Çalışmada, çeşitli değişkenlerin (örneğin, taro unu oranı, karıştırma süresi ve pişirme sıcaklığı) kek kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Faktörlerin ve seviyelerin belirlenmesinin ardından, uygun ortogonal diziler kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerin sonuçları, S/N oranları kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonucunda, taro ununun kek yapımında başarılı bir şekilde kullanılabileceği ve belirli oranların kek kalitesini olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir. Optimum taro unu oranı ve pişirme koşulları belirlenmiştir ve bu koşullar altında üretilen kekler, duyu analizi ve fiziksel testler açısından yüksek kaliteli

bulunmuştur. Doğrulama deneyleri ile analiz sonuçlarının uyumlu olduğu görülmüştür. Bu durum, Taguchi Metodu'nun taro ununun kek içindeki buğday unu yerine kullanımını optimize etmede başarılı bir şekilde uygulanabileceğini göstermektedir. Optimizasyon süreci sonunda elde edilen sonuçlar hem lezzet hem de yapı açısından kaliteli keklerin üretilebileceğini ortaya koymaktadır.

Baynal ve Gencel [30] tarafından yapılan çalışma, alkollü içeceklerin kalitesini belirleyen yedi kalite karakteristiğini optimize etmek için Taguchi Metodu'nu kullanmıştır. Taguchi Metodu, üretim ve kalite kontrol süreçlerinde yaygın olarak kullanılan bir deney tasarımı tekniğidir. Bu metodoloji, değişkenlikleri azaltarak ve sistem performansını maksimize ederek süreçlerin iyileştirilmesine yardımcı olur. Çalışmada, alkollü içeceklerin kalitesini etkileyen yedi ana kalite karakteristiği belirlenmiş ve bu karakteristikler üzerinde çeşitli faktörlerin etkisi incelenmiştir. Faktörler ve seviyeler belirlendikten sonra, uygun ortogonal diziler kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları, S/N oranları kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonucunda, belirli faktörlerin ve seviyelerin alkollü içeceklerin kalite karakteristikleri üzerinde önemli etkileri olduğu tespit edilmiştir. Özellikle, bazı faktörlerin optimizasyonu ile içeceklerin lezzet, aroma, renk ve genel kabul edilebilirlik gibi kalite özelliklerinde belirgin iyileşmeler sağlanmıştır. Doğrulama deneyleri, analiz sonuçları ile uyumlu olarak gerçekleştirilmiş ve bu deneyler sonucunda elde edilen veriler, Taguchi Metodu'nun alkollü içeceklerin kalitesini iyileştirmede etkili bir araç olduğunu göstermiştir. Optimizasyon süreci sonunda, yüksek kaliteli alkollü içeceklerin üretilabileceği ve bu ürünlerin pazar rekabetçiliğinin artırılacağı sonucuna varılmıştır.

Dooyum vd. [31] tarafından gerçekleştirilen bu çalışma, Japonica pirincinin öğütme işlemi için optimum kaynatma koşullarını belirlemek amacıyla Taguchi Metodu'nu kullanmıştır. Çalışmada, Japonica pirincinin öğütme kalitesini etkileyen çeşitli faktörler incelenmiştir. Faktörlerin ve seviyelerin belirlenmesinin ardından, uygun ortogonal diziler kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları, S/N oranları kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz, kaynatma sıcaklığı, kaynatma süresi ve pirinç-su oranı gibi faktörlerin öğütme kalitesi üzerindeki etkilerini ortaya koymuştur. Optimum kaynatma koşulları belirlenirken, pirincin öğütme kalitesi, verim ve duyu özellikler dikkate alınmıştır. Elde edilen veriler, optimum kaynatma koşullarının belirlenmesine ve bu koşulların pirincin öğütme kalitesini önemli ölçüde iyileştirdiğine işaret etmiştir.

Doğrulama deneyleri ile analiz sonuçlarının uyumlu olduğu görülmüştür. Bu, Taguchi Metodu'nun Japonica pirincinin öğütme işlemi için optimum kaynatma koşullarını belirlemede başarılı bir şekilde uygulanabileceğini göstermektedir. Optimizasyon süreci sonunda elde edilen sonuçlar, kaynatma işleminin kontrol edilebilir ve tekrarlanabilir olduğunu ortaya koymuş, böylece yüksek kaliteli öğütülmüş pirinç elde edilmiştir.

Morakinyo ve Bamgboye [32], yağ hurma işleme tesisinde kullanılan yeni geliştirilmiş bir sterilizatörün optimum çalışma parametrelerini belirlemek için Taguchi Metodu'nu kullanmıştır. Çalışmada, yeni sterilizatörün çalışma performansını etkileyen çeşitli parametreler incelenmiştir. Faktörler ve seviyeler belirlenip uygun ortogonal diziler kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerin sonuçları, S/N oranları kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonucunda, sterilizatörün performansı üzerinde belirli faktörlerin önemli etkileri olduğu tespit edilmiştir. Örneğin, sıcaklık, basınç ve sterilizasyon süresi gibi parametrelerin optimize edilmesi, sterilizatörün verimliliğini ve etkinliğini artırmıştır. Doğrulama deneyleri, analiz sonuçları ile uyumlu olarak gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler sonucunda elde edilen veriler, Taguchi Metodu'nun yağ hurma işleme tesisindeki sterilizatörün optimum çalışma parametrelerini belirlemede başarılı bir şekilde uygulanabileceğini göstermektedir. Optimizasyon süreci sonunda, daha yüksek verimlilik ve kalite elde edilmiştir.

Kırmacı vd. [33], dondurarak kurutma işleminin parametrelerini optimize etmek için Taguchi Metodu'nu kullanmıştır. Çalışmada, dondurarak kurutma işleminin verimliliğini ve ürün kalitesini etkileyen çeşitli parametreler incelenmiştir. Faktörlerin ve seviyelerin belirlenmesinin ardından, uygun ortogonal diziler kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları, S/N oranları kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonucunda, dondurarak kurutma işlemi için belirli parametrelerin (örneğin, dondurma sıcaklığı, vakum basıncı, kurutma süresi) ürün kalitesi ve verimlilik üzerinde önemli etkileri olduğu tespit edilmiştir. Optimum kurutma koşulları, ürünün nem içeriği, renk, aroma ve genel duyu özellikleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Doğrulama deneyleri, analiz sonuçları ile uyumlu olarak gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler sonucunda elde edilen veriler, Taguchi Metodu'nun dondurarak kurutma işleminin optimizasyonunda başarılı bir şekilde uygulanabileceğini göstermektedir. Optimizasyon süreci sonunda, daha yüksek kaliteli ve verimli kurutulmuş ürünler elde edilmiştir.

Türkan ve Etemoğlu [34], Taguchi Metodu kullanılarak gıda kurutma işlemlerine etki eden parametrelerin optimizasyonunu amaçlamışlardır. Çalışmada, gıda kurutma işlemlerinin etkinliğini ve ürün kalitesini etkileyen çeşitli parametreler incelenmiştir. Belirlenen faktörler ve seviyeler, uygun ortogonal diziler kullanılarak deneysel olarak test edilmiştir. Deney sonuçları, S/N oranları dikkate alınarak analiz edilmiştir. Analiz sonucunda, belirli kurutma parametrelerinin gıda kalitesi ve verimlilik üzerinde önemli etkileri olduğu tespit edilmiştir. Özellikle, sıcaklık, kurutma süresi ve hava akış hızı gibi parametrelerin optimizasyonu ile kurutma sürecinin etkinliği ve nihai ürün kalitesi artırılmıştır. Doğrulama deneyleri, analiz sonuçlarının başarısını ortaya koymuş ve Taguchi Metodu'nun gıda kurutma işlemlerinde etkin bir optimizasyon aracı olduğunu göstermiştir. Optimizasyon süreci sonunda, daha yüksek kaliteli kurutulmuş gıdalar elde edilmiş ve süreç verimliliği artırılmıştır.

Singh ve Kumar [35] tarafından gerçekleştirilen bu çalışma, glütensiz bisküvilerin depolanması için uygun ambalaj malzemesinin seçimini Taguchi Metodu ile optimize etmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, glütensiz bisküvilerin depolama süresince kalitesini koruyacak en iyi ambalaj malzemesinin belirlenmesi için çeşitli faktörler incelenmiştir. Faktörler arasında ambalaj malzemesi türü, malzemenin kalınlığı ve depolama koşulları gibi değişkenler yer almıştır. Deneyler, uygun ortogonal diziler kullanılarak tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler, S/N oranları kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonucunda, belirli ambalaj malzemelerinin ve koşullarının glütensiz bisküvilerin kalitesini korumada önemli rol oynadığı tespit edilmiştir. Özellikle, belirli bir kalınlıkta olan bazı ambalaj malzemelerinin bisküvilerin tazelik ve gevrekliğini daha uzun süre koruduğu görülmüştür. Doğrulama deneyleri, analiz sonuçları ile uyumlu olarak gerçekleştirilmiş ve bu deneyler sonucunda elde edilen veriler, Taguchi Metodu'nun glütensiz bisküviler için en uygun ambalaj malzemesini seçmede etkili bir araç olduğunu göstermiştir. Optimizasyon süreci sonunda, daha yüksek kaliteli ve uzun raf ömrüne sahip glütensiz bisküviler elde edilmiştir.

Mayasti vd. [36] tarafından gerçekleştirilen çalışma, glütensiz spagetti üretim sürecinin parametrelerini optimize etmek amacıyla Taguchi Metodu'nu kullanmıştır. Taguchi Metodu, deney tasarımı ve süreç optimizasyonunda yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Bu metodoloji, çeşitli faktörlerin etkilerini sistematik olarak değerlendirerek en uygun koşulları belirlemeyi hedefler. Çalışmada, glütensiz spagetti üretim sürecini etkileyen

farklı parametreler incelenmiştir. Faktörler arasında un çeşidi, su miktarı, karıştırma süresi ve kurutma sıcaklığı gibi değişkenler yer almıştır. Deneyler, uygun ortogonal diziler kullanılarak tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler, S/N oranları kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonucunda, belirli üretim parametrelerinin glütensiz spagetti kalitesi üzerinde önemli etkileri olduğu tespit edilmiştir. Özellikle, belirli bir su miktarı ve karıştırma süresinin glütensiz spagetti üretiminde optimum sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu koşullar altında üretilen spagettinin, doku, lezzet ve pişirme kalitesi açısından yüksek standartlara sahip olduğu belirlenmiştir. Doğrulama deneyleri, analiz sonuçları ile uyumlu olarak gerçekleştirilmiş ve bu deneyler sonucunda elde edilen veriler, Taguchi Metodu'nun glütensiz spagetti üretim sürecini optimize etmede başarılı bir şekilde uygulanabileceğini göstermiştir. Optimizasyon süreci sonunda, daha yüksek kaliteli glütensiz spagetti elde edilmiştir.

Durmaz ve Özel [37] tarafından gerçekleştirilen bu çalışma, keçiboynuzundan ekstraksiyon yöntemi ile şekerin geri kazanımını optimize etmek amacıyla Taguchi Yöntemi'ni kullanmıştır. Taguchi Yöntemi, deney tasarımı ve süreç optimizasyonu için yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Bu metodoloji, çeşitli faktörlerin etkilerini sistematik olarak değerlendirerek en uygun koşulları belirlemeyi amaçlar. Çalışmada, keçiboynuzundan şekerin geri kazanım sürecini etkileyen farklı parametreler incelenmiştir. Faktörler arasında sıcaklık, ekstraksiyon süresi, çözeltinin pH değeri ve çözeltinin konsantrasyonu gibi değişkenler yer almıştır. Deneyler, uygun ortogonal diziler kullanılarak tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler, S/N oranları kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonucunda, belirli ekstraksiyon parametrelerinin keçiboynuzundan şekerin verimli bir şekilde geri kazanımında önemli etkileri olduğu tespit edilmiştir. Özellikle, belirli bir sıcaklık ve ekstraksiyon süresinin optimum sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu koşullar altında gerçekleştirilen ekstraksiyon işlemi, yüksek verimlilikte şeker geri kazanımı sağlamıştır.

Sadr vd. [38] tarafından gerçekleştirilen bu çalışma, Taguchi Metodu kullanılarak gübre spreyi uygulamalarında optimal seviyeleri belirlemeyi amaçlamaktadır. Taguchi Metodu, çeşitli süreçlerin ve ürünlerin optimizasyonunda kullanılan deneysel tasarım yöntemlerinden biridir. Bu metodoloji, farklı faktörlerin ve seviyelerin sistematik bir şekilde incelenerek en uygun koşulların belirlenmesini sağlar. Çalışmada, gübre spreyi uygulamalarının etkinliğini etkileyen çeşitli parametreler incelenmiştir. Faktörler

arasında sprey yoğunluğu, sprey zamanı, sprey basıncı ve çözeltinin konsantrasyonu gibi değişkenler yer almıştır. Deneyler, uygun ortogonal diziler kullanılarak tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler, S/N oranları kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonucunda, belirli gübre spreyi parametrelerinin bitki büyümesi ve verimliliği üzerinde önemli etkileri olduğu tespit edilmiştir. Özellikle, belirli bir sprey yoğunluğu ve basıncının gübre verimliliğinde optimum sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu koşullar altında uygulanan gübre spreyi, bitki sağlığı ve verimliliği açısından en iyi sonuçları sağlamıştır. Doğrulama deneyleri, Taguchi Metodu'nun gübre spreyi uygulamalarında optimal seviyeleri belirlemede etkili bir araç olduğunu göstermiştir. Optimizasyon süreci sonunda, daha yüksek verimlilik ve bitki sağlığı elde edilmiştir.

Gökler S. [39], Covid-19'un doğrulanmış vaka ve ölüm sayılarını etkileyen 19 değişken belirlemiş ve bu değişkenleri destek vektör makineleri yönteminde girdi olarak kullanmış, destek vektör makinelerinin çekirdek türü, C ve gamma gibi önemli parametrelerinin belirlenmesinde Taguchi yöntemini kullanmıştır. 51 ülkenin veri setinin kullanıldığı bu çalışma Covid-19 vaka ve ölüm sayılarının tahmin edilerek önlem alınmasını sağlamayı amaçlamıştır ve bu çalışmanın sonunda, hibrit SVM-Taguchi yöntemi ile doğrulanmış vaka ve ölüm sayıları sırasıyla %91.8 ve %94.2 doğrulukla belirlenmiştir.

Islam vd. [3], çeşitli matkap ucu şekillerini kullanarak poliüretan sentetik kemik delme işlemi sırasında meydana gelen termo-mekanik hasarın minimize edilmesi ve böylece delme ameliyatlarının güvenliğinin ve kalitesinin amacıyla Taguchi yöntemi ortogonal dizi tasarımı, sinyal-gürültü oranının hesaplanması ve varyans analizini (ANOVA) kullanmışlardır. 3 faktörlü L16 ortogonol dizi kullanılarak tasarlanan deney sonuçlarında sıcaklık artışına en çok delme hızı faktörünün etkisi olduğu, sonrasında matkap ucu türünün etkisi yüksek bir faktörü olduğu; en az etkileyen faktörün ise ilerleme hızı olduğu ortaya konulmuştur.

Salea vd.[40], çörek otu tohumlarından yağ özütleme verimini optimize etmek için yaptıkları çalışmada her biri için üç seviyeli basınç, sıcaklık ve CO2 akış hızı parametrelerinin etkisini belirlemek için L9 ortogonal dizisini kullanmışlardır ve bu sonuçların kalitesi S/N oranı ile ölçülmüştür. S/N oranı, fonksiyon seviyesini ve modelin performansı üzerindeki gürültü etmenlerinin etkilerini ölçer. Taguchi yöntemine göre çörek otu yağının özütlenmesi için optimum parametre şartlarını belirlemişlerdir.

Tunçel ve Bayraklılar [41], PLA örneklerinin basınç dayanımını optimize etmek için Taguchi yöntemini kullanmışlardır. Belirlenen parametreler -duvar kalınlığı, dolgu deseni ve baskı hızı- 3 seviyede L9 ortogonal dizi ile tasarlanan deney “bigger is the best” yöntemi ile S/N hesabı ve ANOVA yöntemi ile analiz edilerek 3D baskı süreçlerinin optimizasyonu ile ilgili literatüre katkı sağlamışlardır.

Taguchi yöntemini uygulayarak Chen vd. [42], kuru zencefilden daha yüksek verim elde etmek için SFE parametrelerinin optimum koşullarını belirlemiştir. Dinamik ekstraksiyon süresi, sıcaklık, basınç ve toz parçacık boyutu, optimizasyon için üç seviyede giriş değişkenleri olarak kullanılmıştır. Dokuz deneysel koşul, L9 (34) ortogonal dizisi olarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel veriler, S/N oranı ile hesaplanmıştır .

Liu ve ark [43], dikenli incir kaktüsü tohum yağının ekstraksiyon parametrelerini optimize etmek ve deneysel denemeleri düzenlemek için ortogonal dizi tasarımını kullanmışlardır. Her bir parametrenin dört seviyede incelendiği bu çalışmada sıcaklık, basınç ve süre parametrelerinin optimal ekstraksiyon verimi üzerindeki etkileri değerlendirilmiş ve deneyleri düzenlemek için L16 (4^5) ortogonal matris seçilmiştir. Çalışma bu tohumun kimyasal bileşimini ve doğal antioksidan olarak ilaç endüstrisinde kullanılabileceğini ortaya koyması yönünden değerlidir.

Wenqiang vd. [44], Taguchi tasarımını, karanfil tomurcuklarından esansiyel yağ ekstraksiyonu üzerinde de uygulanmıştır. Üç parametrenin (sıcaklık, basınç ve parçacık boyutu) etkisi, üç seviyeli L9(3^3) ortogonal dizi tasarımı kullanılarak araştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, sıcaklığın özütlerin eugenol içeriği üzerinde en büyük etkiye sahip olduğunu ve parçacık boyutunun yağ verimi üzerindeki en büyük etkiye sahip olduğunu göstermiştir ve Taguchi sayesinde optimum ekstraksiyon koşulları belirlenmiştir.

Bagheri vd. [45], süperkritik akışkan ekstraksiyonu optimize etmek için dört seviyeli faktöriyel tasarımda L16 ortogonal dizi tasarımı kullanmışlardır ve çalışmada ele alınan sıcaklık, basınç, statik süre, dinamik süre ve modifikatör hacmi gibi beş faktör üzerinde yapılan ANOVA analizine göre, basınç en anlamlı faktör olarak bulunmuştur.

Ayazi vd. [46], ultrason yardımlı ince film mikroekstraksiyonu (USA-TFME) yönteminde analiz verimliliğini etkileyen faktörleri optimize etmek için Taguchi'nin ortogonal dizi (OA) tasarımını kullanmışlardır. Çalışmada, USA-TFME'nin ekstraksiyon

performansını etkileyen beş faktör (pH, tuz içeriği, ekstraksiyon süresi, elüsyon solvent hacmi ve desorpsiyon süresi) incelenmiştir. Dört seviyeli L16 (4^5) tasarımı ile toplamda 16 deney gerçekleştirilmiş ve yanıt değişkeni olarak pik alanı kullanılmıştır. Deney sonuçları, varyans analizi (ANOVA) ile değerlendirilmiş ve ekstraksiyon süresi ile pH değerinin %95 güven düzeyinde en yüksek F-değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. pH'nın, adsorban yüzey yükünü ve hedef analizlerin yükünü etkileyerek, analizlerle nanokompozit yüzey arasındaki etkileşimi optimize ettiği gözlemlenmiştir ve çalışmada Taguchi tasarımı sonuçlarına göre, USA-TFME için optimum koşullar belirlenmiştir.

Rasoulifard vd. [47], diazinon gideriminde etkili parametreleri değerlendirmek için L16 ortogonal dizi tasarımı kullanmış ve optimum koşulları belirlemiştir. ANOVA analizi sonuçlarına göre, sıcaklık parametresini en etkili faktör olarak belirlenmiştir.

Yağmur suyu ve kanalizasyon sistemlerinin hidrolik optimizasyonunda sıklıkla kullanılan etkili tekniklerden biri olan genetik algoritmaların performansı, nüfus büyüklüğü, çaprazlama yöntemleri, çaprazlama oranları, elitizm oranları, mutasyon oranları ve turnuva seçimi gibi parametrelere büyük ölçüde bağlıdır. Bu parametrelerin optimal değerlerini belirlemek için farklı kombinasyonların denenmesi gereklidir. Tülin vd. [48], genetik algoritmaların performansını artırmak ve optimum parametre kombinasyonlarını belirlemek için Taguchi yöntemini yağmur suyu ve kanalizasyon sistemlerinin hidrolik optimizasyonu için genetik algoritmalara uygulanmıştır. Çalışmada, her biri 6 kez tekrarlanan 16 denemeyi içeren L16 ortogonal dizi kullanılmıştır. Bu yaklaşım, tam faktöriyel tasarımın gerektirdiği 1536 deneme yerine yalnızca 96 deneme ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Taguchi yöntemiyle elde edilen maliyet değerinin, tam faktöriyel tasarım ile elde edilen maliyet değerine çok yakın olduğunu (%0,15 fark) gösteren sonuçlar Taguchi yönteminin genetik algoritmaların parametre optimizasyonunda etkili ve verimli bir alternatif olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Karaboğa vd. [49] tarafından gerçekleştirilen çalışma, sembolik regresyon problemleri için yapay arı kolonisi programlaması (Artificial Bee Colony Programming, ABCP) yöntemini tanıtmaktadır. Çalışma, bu yöntemin performansını ve etkinliğini incelemektedir. Çalışma, ABCP'nin temel prensiplerini ve sembolik regresyon problemlerine nasıl uygulandığını açıklar. ABCP, doğal arı kolonilerinin yiyecek arama

davranışlarından esinlenilerek geliştirilmiş bir yöntemdir. Araştırma, ABCP'nin çeşitli sembolik regresyon problemlerinde yüksek doğruluk ve verimlilik sağladığını göstermektedir. Algoritma, özellikle doğrusal olmayan ve karmaşık veri ilişkilerini modellemede başarılıdır. ABCP, genetik programlama (GP) ve diğer meta-sezgisel yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, ABCP'nin performans açısından GP ve diğer yöntemlere kıyasla rekabetçi ve bazen üstün olduğunu göstermektedir. Çalışma, ABCP'nin mühendislik, ekonomi ve biyoinformatik gibi çeşitli alanlardaki sembolik regresyon problemlerinde uygulanabilirliğini tartışmaktadır. Bu çalışma yapay arı kolonisi programlamasının sembolik regresyon problemlerinin çözümünde etkili bir araç olduğunu göstermektedir. ABCP, model doğruluğunu artırarak ve öğrenme sürecini hızlandırarak geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılabilir.

Golafshani ve Ashour [50], kendinden yerleşen betonun elastik modülünü tahmin etmek için kullanılan biyocografya tabanlı programlama kullanılmış ve sonuçlar ABCP algoritması ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, önerilen BBP modelinin basitleştirilmiş bir formüle sahip olduğunu ve ABCP modeli ile diğer ampirik ve tasarım kodlarının denklemlerine göre biraz daha iyi bir performans sergilediğini göstermiştir. Ayrıca çalışmada ABCP algoritmasının maksimum ağaç derinliği ve limit parametrelerinin artırılmasının ABCP başarısını arttırdığından bahsedilmiştir.

2018 yılında Boudouaoui ve Habbi [51], ABCP'nin sembolik regresyon üzerindeki performansı arttırmak amacıyla ABCP'nin yeni bir versiyonu olan ölçeklenebilir ABCP (sABCP) üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Çalışmada beş sembolik regresyon benchmark problemi üzerinde deneyler yapılmış ve bu deneyler ABCP, standart çaprazlama genetik programlama ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar sABCP varyantının üstünlüğünü ortaya koymuştur.

Boudardara ve Görkemli [52], ABCP'yi temel robotik yol planlama problemlerinden biri olan yapay karınca problemini çözmek için kullanmışlar ve ABCP'nin sonuçlarını SFT(Santa Fe Trail) ve LAHT(Los Altos Hills Trail) alt varyasyonları üzerinde deneysel çalışmalar yaparak Genetik Programlama ile kıyaslamışlar ve ABCP'nin daha başarılı olduğunu ortaya koymuşlardır. Yapılan deneylerde ABCP ve GP algoritmalarının performansı, başarı oranı ve en iyi ham uygunluk değerlerinin ortalaması ölçütleri ile değerlendirilmiş ve SFT ve LAHT üzerinde 100 bağımsız çalıştırma sonucu ile elde

edilen veriler karşılaştırılmıştır. ABCP, GP'ye göre hem başarı oranı hem de uygunluk değerinde daha iyi sonuç vermiştir, özellikle LAHT varyasyonu için yapılan deneylerde ABCP %65 başarı sağlarken GP %4 oranında başarı sağlamıştır. Ayrıca bu çalışmada ABCP'nin parametre iyileştirilmesi ile ilgili bir çalışmaya ihtiyaç olduğuna da değinilmiştir.

Bozoğullarından E. vd. [53], ABCP algoritmasına FullTree, SubTree ve BestGen transfer öğrenme yöntemlerini uygulamışlar ve çeşitli sembolik regresyon problemlerinde uygulayarak ABCP-T olarak adlandırılan bu tekniğin ABCP algoritmasının başarısını arttırdığını ortaya koymuşlardır. FullTree yönteminde, kaynak problemin son jenerasyonundaki en iyi bireyler hedef probleme aktarılırken SubTree yönteminde kaynak problemin bireylerinden rastgele alt ağaçlar seçilerek hedef probleme aktarılır; BestGen yönteminde ise kaynak problemin her jenerasyonundaki en iyi bireyler hedef probleme kopyalanır. Çalışmada 10 adet sembolik trigonometrik ve polinomal regresyon problemi ele alınmış olup aritmetik ve logaritmik işlemlerden oluşan fonksiyon seti üzerinde koloni büyüklüğü ve limit parametrelerinin eşit olduğu bir senaryo üzerinden deney seti oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında transfer öğrenme yöntemlerinin etkinliğini ölçmek için bu yöntemlerin hem eğitim verileri üzerindeki başarısı ölçülmüş hem de yöntemin genelleme yeteneği ölçülmüştür. Sonuçlar transfer öğrenme yöntemlerinin ABCP algoritmasının daha iyi sonuçlar elde etmesini sağladığını ortaya koymuştur.

Arslan S. Ve Ozturk C. [54], ABCP'yi kullanarak bir görüntü tanımlayıcısı (ABCP-Descriptor) geliştirmiş ve bunu farklı veri setleri üzerinde, farklı boyutlardaki ağaçlar ve farklı aritmetik fonksiyonlar ile test ederek sonuçları değerlendirmiş ve önerilen yöntemin çoklu doku sınıflandırılmasında standart olarak kullanılan Local Binary Pattern (LBP) ve Genetik Programlama tanımlayıcılarından (GP-Descriptor) başarılı olduğunu ortaya koymuştur. Çalışmada eğitim verilerine aşırı uyum(overfitting) sorununu önlemek için her problem için fitness fonksiyonu belirli adımlarla hesaplanmıştır. Fitness fonksiyonu ABCP algoritmasının en iyi çözümü bulması için temel bir mekanizmadır, aday çözümler fitness fonksiyonuna göre değerlendirilir ve en iyi çözümler açgözlü seleksiyon yöntemi ile seçilir.

Arslan S. ve Öztürk C. [55], farklı veri setleri üzerinde GP ve ABCP algoritmalarının özellik seçimi yaparak sınıflandırma başarısını karşılaştırmışlardır ve ABCP'nin GP'ya kıyasla daha başarılı olduğunu ortaya koymuşlardır. Çalışmada kullanılan veri setlerinden gereksiz ve gürültülü özellikler kaldırılarak sınıflandırma modellerinin daha yüksek doğruluk oranlarıyla çalışması sağlanmıştır. Her iki algoritmada dört farklı veri seti(Wisconsin meme kanseri-WDBC-, dermatoloji, şarap ve at kolik hastalığı veri setleri) üzerinde test edilerek sınıflandırma doğruluğu ve model karmaşıklığı değerlendirilerek başarıları ölçülmüştür. Makale kapsamında sınıflandırma başarısını ölçmek için SFF-Sensitivity Fitness Function (Duyarlılık Uygunluk Fonksiyonu) kullanılmıştır, SFF doğru sınıflandırılan örneklerin toplam sınıf sayısına göre oranını hesaplayarak sınıflar arasında denge sağlayan bir fitness fonksiyonudur. Bu çalışmada SFF hesaplamasına karmaşık modelleri cezalandıran bir ceza parametresi (penalty point) eklenerek -her veri seti için ceza puanı 0.001 olarak sabitlenmiştir- yanlış sınıflandırmaların ve karmaşık sınıflamaların önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Bu cezalandırma yöntemi şu şekilde özetlenebilir; her döngüde işçi arılar ve gözlemci arılar arama işlemini tamamladıktan sonra daha kaliteli kaynaklar bulamazlarsa ilgili kaynakların ceza puanları bir artırılır, daha iyi bir kaynak bulunduğunda o kaynağın ceza puanı sıfırlanır, eğer ceza puanı limit parametresini aşarsa o kaynağın işçi arısı keşifçi arıya dönüşür ve terk edilen kaynak yerine rastgele yeni bir kaynak belirlenir. Çalışma sonucunda ABCP'nin daha az özellik kullanarak daha iyi sınıflandırma modelleri üretebildiği ve daha az karmaşık modellerle yüksek başarı sağladığı görülmüştür.

Arslan S. ve Öztürk C. [56], çoklu kovan yapısı kullanarak sembolik regresyon problemlerinin daha etkili çözülebileceğini ortaya koyan bir makale yayınlamışlardır. Makalede, ABCP algoritmasının ilk defa yüksek boyutlu sembolik regresyon problemlerinde kullanılmıştır ve makalede önerilen Multi Hive Artificial Bee Colony Programming (MHABCP) yönteminde, her çözüm ağacı bir kovan olarak düşünülür ve elde edilen çıktılar sembolik modellerde birleştirilir böylece çözümlerin doğruluğunun ve genelleme yeteneğinin artırılması hedeflenir. Çalışma kapsamında yapılan deneylerde normalize edilmiş kök ortalama kare hata (NRMSE) fitness fonksiyonu kullanılmıştır. Tüm deneylerde başlangıç çözümleri "ramped half and half" yöntemi ile üretilmiştir. GP'de, bireyleri iyileştirmek için çaprazlama, mutasyon ve doğrudan yeniden üretim değişim operatörleri kullanılmıştır; ABCP'de, kaynakların kalitesini artırmak için tüm

çözümlerde “bilgi paylaşım mekanizması” kullanılmıştır; MHABCP’de kovanlar arası bilgi değişimini sağlamak için “kovan değişim mekanizması” %0,2 oranında kullanılmıştır. Limit parametresi ABCP ve MHABCP’de maksimum nesil sayısının yarısı olarak ayarlanmıştır. MHABCP ve ABCP algoritmaları altı farklı yüksek boyutlu veri seti üzerinde test edilmiş ve sonuçlar Genetik Programlama ile karşılaştırılmıştır ve deney sonuçları bu yöntemin başarılı modeller çıkardığını ve genelleme yeteneğine sahip olduğunu göstermiştir.

Hara A. vd. [57], ABCP algoritmasındaki global/yerel aramayı kontrol etmek için daha önce GP için önerilen SCC (Semantic Control Crossover - Anlam Kontrol Çaprazlaması) yöntemini ABCP’ye ekleyerek iki farklı yeni yöntem önermişlerdir. Önerilen ilk yöntemde arıların rollerine göre arama stratejileri değiştirilmiştir; bu yönteme göre daha verimli çözüm araması için işçi arılar, global arama yaparken gözlemci arılar, yerel arama yapmalıdır. İkinci yöntemde ise gözcü arıların duraklama derecesine göre arama stratejileri değiştirilmiştir ve bu yönteme göre gözcü arılar çözümlerin ardışık olarak geliştirildiği durumda küresel arama yapmalı iken geliştirilemediği durumda global arama yapmalıdır. Yapılan deneysel çalışmalar önerilen yöntemlerin ABCP algoritmasının başarısını artırdığını göstermiştir, ayrıca önerilen birinci yöntem ikinci yönteme kıyasla daha yüksek performans göstermiştir.

Boudouaoui vd. [58], ABCP algoritması kullanılarak adi (ordinary) ve kısmi (partial) diferansiyel denklemlerin kapalı analitik çözümünü üretmek için yeni bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntemin temel amacı, diferansiyel denklemlerin çözümünü bir optimizasyon problemi olarak formüle edip, çözümün analitik formunu ABCP ile elde etmektir. Çeşitli dinamik fonksiyonlar, değişkenler ve sabitlerle temsil edilen aday çözümler, başlangıç koşullarının cezalandırıcı terimine sahip bir uygunluk fonksiyonu kullanılarak üç aşamalı bir süreçte optimize edilmiştir. Çalışmada, doğrusal, doğrusal olmayan ve kısmi diferansiyel denklemler üzerinde deneyler yapılmış ve ABCP’nin performansı, Genetik Programlama (GP) ve Karınca Kolonisi Programlama (Ant Colony Programming-ACP) yöntemleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, ABCP’nin her test vakasında kesin çözümler üretebildiğini ve karşılaştırılan yöntemlere kıyasla daha başarılı olduğunu göstermiştir. Özellikle, çözümlerin yakınsama oranı, ağaç yapıları ve performans açısından ABCP’nin üstün olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca, algoritmanın çalışma süresi fitness değerlendirme sayısı ile ölçülmüş ve GP ve ACP’ye göre genellikle

daha iyi olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte, bazı diferansiyel denklemler için çözümlerin genel formunun bilindiği durumlarda ABCP'nin daha hızlı sonuçlar verebileceği belirtilmiştir. Çalışmanın genel sonucunda, önerilen ABCP metodolojisinin diferansiyel denklemlerin çözümü için umut vadeden ve etkili bir araç olduğu, özellikle bilimsel ve mühendislik problemlerinde geniş uygulama alanı bulabileceği ifade edilmiştir.

Karaboğa ve Görkemli [59], ABCP algoritmasının performansını arttırmak için ABCP'nin yeni versiyonlarını tanıttıkları bir çalışma yapmışlardır. Bunlarda ilki qABCP hızlı ABCP algoritması ise algoritmanın yerel arama yeteneğinin arttırılabileceğini ve erken döngülerdeki çözüm kalitesini arttırmaktadır, ikinci versiyon sABCP (semantic ABCP)'de ise yüksek yerelcilik sağlamak amacıyla algoritmanın bilgi paylaşımında anlamsal benzerlik tabanlı operatörler kullanılmış ve ABCP algoritmasının bilgi paylaşım çözüm kalitesinin arttığı görülmüştür, sonrasında bu iki yöntem birleştirilerek hızlı semantik ABCP modeli tanımlanmış ve literatürdeki diğer otomatik programlama algoritmaları ile kıyaslanmış ve önerilen yöntemlerin sembolik regresyon problemlerinde etkili bir çözüm olduğu görülmüştür.

Görkemli vd. [60], Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi için yağış şiddeti – süre – frekans (IDF) ilişkisini tanımlamak amacıyla, ABCP tabanlı bir otomatik programlama yöntemi geliştirmiş ve literatürde kullanılan ampirik denklemlerden daha doğru sonuçlar üreten analitik ifadeler elde etmiştir. İlk olarak, dokuz farklı ampirik formülün parametreleri optimize edilmiş ve nispeten en iyi performansı sergilediği görülen deneyin, özellikle 2000 yıldan küçük frekanslar için yetersiz olduğu ve yüksek determinasyon katsayısının yanıltıcı olduğu tespit edilmiştir. Daha sonra, ABCP yöntemiyle üç farklı maliyet fonksiyonu ve üç farklı maksimum derinlik kullanılarak (2,3,6) dokuz model oluşturulmuş ve bu modeller ampirik denklemlerle karşılaştırılmıştır. Bu analizler, birinci maliyet fonksiyonu ve 6 maksimum derinlik kombinasyonuna sahip modelin en düşük ortalama kare hata (MSE) ve en yüksek determinasyon katsayısı (R-kare) değerlerini verdiğini ortaya koymuştur. Bu modelin performansı, ampirik denklemleri açıkça geride bırakmış ve IDF ilişkisinin daha hassas bir şekilde tanımlanmasını sağlamıştır. Sonuç olarak, ABCP yöntemi, yağış ölçüm kayıtlarının yetersiz olduğu bölgeler için alternatif bir yöntem olarak önerilmiş ve bölgesel IDF ilişkisini tanımlamada geleneksel yöntemlere kıyasla üstün bir doğruluk potansiyeli göstermiştir.

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

Bu bölümde ABC, ABCP algoritmaları ve Taguchi metodu açıklanmış, analiz yöntemlerinden bahsedilmiştir.

2.1. Materyal

2.1.1. Yapay Arı Koloni Programlama

Bu bölümde, öncelikle arıların yiyecek arama davranışlarından esinlenilerek geliştirilmiş olan ABC algoritmasının temelleri açıklanmaktadır. ABC algoritması, çözüm arama sürecinde arıların doğal davranışlarını taklit ederek optimizasyon problemlerine uygulanabilir bir yöntem sunar. Ardından, ABC algoritmasını temel alarak geliştirilen ve evrimsel hesaplama yöntemlerinden biri olan ABCP algoritması detaylandırılmıştır. ABCP, ABC'nin temel prensiplerini daha geniş bir hesaplama bağlamında kullanarak, karmaşık problem çözme süreçlerinde uygulanabilirliğini artırmayı hedefler. Bu süreçler, ABC algoritmasının işlevselliğini genişletir ve çeşitli disiplinlerde uygulama olanakları sağlar. Her iki yöntem de belirli problemlerin çözümünde etkinlik ve verimlilik açısından değerlendirilmektedir.

2.1.1.1. ABC Algoritması

Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony - ABC) algoritması, sayısal problemleri optimize etmek için 2005 yılında Karaboğa tarafından tanıtılan sürü tabanlı bir meta-sezgisel algoritmadır [7]. ABC algoritmasının çok sayıda matematik ve mühendislik alanında uygulaması bulunmaktadır. ABC algoritmasında arıların üç temel görevde arılar vardır. Bunlar görevli arılar, gözcü arılar ve kaşif arılardır. Görevli arılar yiyecek kaynağı bilgisini yuvadaki arılar ile paylaşırlar, gözcü arılar ise bu yiyecek kaynakları arasında kalite değerlerine göre uygunluğunu belirleyip seçim yaparlar, kaşif arılar da diğer

arılardan bilgileri bağımsız olarak yeni yiyecek kaynakları bulurlar ve çalışmaya görevli arı olarak devam ederler. Yani arılar bilinen yiyecek kaynaklarının yanı sıra yeni yiyecek kaynaklarından da haberdar olurlar. Algoritmada belirlenmiş bir limit değeri vardır ve bu parametre yiyecek kaynaklarının tükenme durumunu kontrol etmek için kullanılır [61].

ABC algoritmasının başlangıcında, kolonideki tüm arılar kâşif arı olarak kabul edilir. Bu, algoritmanın ilk aşamasında rastgele arama yapılmasını ve geniş bir çözüm alanının keşfedilmesini sağlar. Bu özellikler, ABC algoritmasının optimizasyon problemlerinde etkili bir şekilde kullanılmasını sağlayarak, geniş uygulama alanlarına sahip olmasına katkıda bulunmaktadır [62].

Her bir arı için rastgele çözümlerle yiyecek kaynağı ataması yapılır. Yiyecek kaynaklarının nektar miktarı (kalitesini ifade eder) uygunluk fonksiyonuyla değerlendirilir. Görevli arılar hafızalarındaki yiyecek kaynağının daha iyisini başka bir yiyecek kaynağından da faydalanıp komşuluk araştırması yaparak bulmaya çalışırlar. Uygunluk değeri maksimum bireyi belirlemek için aday çözüm ve mevcut çözüm arasında açgözlü seleksiyon uygulanır ve çözümün uygunluk fonksiyon değeri bulunur. Görevli arılar, yiyecek kaynaklarının kalitesi hakkında elde ettikleri bilgileri gözcü arılarla paylaşırlar. Gözcü arılar yiyecek kaynaklarının kalitesine (nektar miktarına) göre yiyecek kaynağı seçer ve seçilen bu kaynağı genişletmeye çalışırlar. Kâşif arı aşamasında tüm yiyecek kaynaklarının tükenme durumu limit parametresini baz alarak kontrol edilir. Her bir kaynak için iyileştirme denemelerinin sayısının limit parametre değerini aşma durumu kontrol edilir, aşıldığı durumda yiyecek kaynağı tükenmiş gibi davranılır, kaynak terk edilerek o kaynağın görevli arısı kâşif arıya dönüştürülür ve rasgele üretilen yeni bir kaynakla kâşif arı çalışmaya devam eder [61]. ABC algoritmasının sözde kodu Şekil 1.1’de verilmektedir [63].

1. Parametreleri ayarla (maksimum iterasyon, SN (kolonideki toplam yiyecek sayısı, limit(deneme sayısı))
2. Yiyecek kaynakları popülasyonunu başlat ($i=1, \dots, SN$) ve kalite değerlerini artır.
3. Her bir yiyecek kaynağı için deneme sayısını 0 yap
4. İterasyonu başlat
5. Tekrarla
 - a. Çalışan arı fazı
 - i. $i=1$ 'den SN'ye kadar:
 - ii. Yeni bir yiyecek kaynağı oluştur v_i ve kalitesini değerlendir
 - iii. x_i ve v_i arasında daha iyi olanı seçmek için ağgözlü seleksiyon uygula
 - iv. Eğer yiyecek kaynağı x_i iyileşmezse, deneme sayısını 1 artır, aksi durumda deneme sayısını 0 yap
 - v. Son
 - b. Gözcü arı fazı
 - i. $t=0, i=0$
 - ii. Tekrarla:
 - iii. Eğer rastgele sayı pr 'den küçükse
 - iv. Yeni bir yiyecek kaynağı v_i oluştur ve fitness değerini değerlendir
 - v. x_i ve v_i arasında daha iyi olanı seçmek için ağgözlü seleksiyon uygula
 - vi. Eğer yiyecek kaynağı x_i iyileşmezse deneme sayısını bir artır; iyileşirse deneme sayısını 0 yap
 - vii. T 'yi 1 artır.
 - viii. Son
 - c. SN'ye kadar tekrar et
 - d. Kâşif arı fazı
 - i. Eğer en yüksek deneme sayısı limit değerinden büyükse:
 - x_i 'yi yeniden rastgele bir yiyecek kaynağı ile değiştir
 - ii. Son
6. En iyi yiyecek kaynağını sakla
7. İterasyonu 1 artır
8. Maksimum iterasyona kadar tekrar et

Şekil 2.1. ABC algoritması sözde kodu.

2.1.1.2. ABCP Algoritması

Yapay Arı Kolonisi Programlama (Artificial Bee Colony Programming-ABCP), ABC algoritmasına dayalı bir yüksek seviyeli otomatik programlama tekniğidir ve 2012 yılında Karaboğa vd. tarafından literatüre tanıtılmıştır [56]. Otomatik programlama, bilgisayar programlarını otomatik olarak oluşturmak için kullanılan bir yöntemdir. Özellikle sembolik regresyon problemlerinin çözümü için otomatik programlama yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Sembolik regresyon, bağımsız değişkenlerin değerlerinin ve bağımlı değişkenlerin ilişkili değerlerinin verilen sonlu örnekleme kullanarak matematiksel bir model elde etme sürecidir [11].

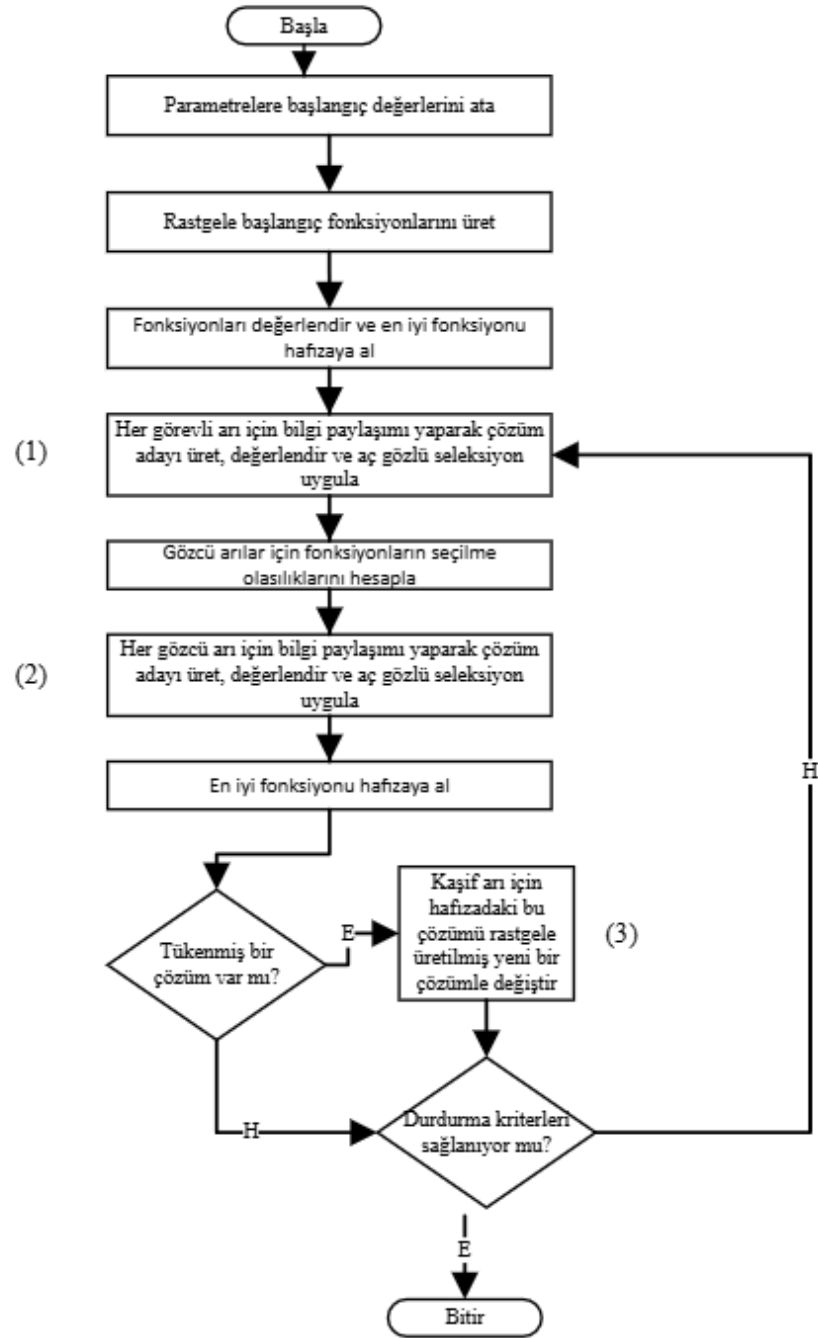
ABCP, temel ABC algoritmasının adımlarını takip ederken, iki önemli farklılık gösterir: çözüm yapısının temsili ve çözüm geliştirme sürecindeki bilgi paylaşım mekanizması. ABC algoritmasında çözümler genellikle sabit boyutlu dizilerle ifade edilirken, ABCP'de çözümler, genetik programlamaya (GP) benzer biçimde - genetik algoritma ve genetik

programlama arasındaki en önemli fark da zaten çözüm gösterimidir-, terminal ve fonksiyonların bir araya gelmesiyle oluşturulan yapısal ağaçlar şeklinde modellenir [13,17]. Bu ağaç yapılarındaki her bir düğüm, probleme uygun belirlenmiş terminal kümesinden (örneğin, x ve y gibi değişkenler ve sabitler) veya fonksiyon kümesinden (aritmetik operatörler, mantıksal ve matematiksel fonksiyonlar gibi) seçilir. Düğümlerin birleşimi, problemi çözen ağaç yapısındaki çözümleri oluşturur. Yaygın olarak kullanılan çözüm gösterimlerinden biri olan ABCP, matematiksel ifadelerle ağaç yapılarını kullanarak daha karmaşık ve dinamik çözümler sunar. Bu gösterimde, bağımsız değişkenler " x " ve " y " olarak, bağımlı değişken ise " $f(x, y)$ " olarak temsil edilir. Bu yapısal ve işlevsel yaklaşımlar ABCP'nin verilen problemlere uyum sağlama ve çözüm üretme kapasitesini artırır [56,62].

ABCP Akış Şeması: ABCP yöntemi, GP ile benzer başlangıç aşamalarına sahiptir ve Şekil 1.4'te akış şeması gösterilmektedir. ABCP'de çözümler, başlangıçta "full", "grow" ve "ramped half and half" gibi çeşitli metotlar kullanılarak üretilir. Bu üç metot, çözüm ağaçlarının farklı büyüme ve yapılandırma stratejileriyle oluşturulmasını sağlar, bu sayede algoritmanın arama alanını genişletir ve çeşitliliği artırır [56,62].

Aynı bireylerin tekrar oluşmasını önlemek için kullanılan "ramped half and half" yöntemi 1992'de Koza tarafından önerilmiştir [64]. Bu yöntem sayesinde çeşitliliği arttırarak algoritma performansı arttırılır. Full ve grow metotlarının kombinasyonu olan bu yöntemde full yöntemi için oluşturulan ağaçların her dalı maksimum derinliğe kadar doldurulurken grow yönteminde ağaçlar daha esnek şekilde büyür yani değişken uzunluktadır. Örneğin maksimum derinlik 6 olduğunda popülasyon oluşturulurken ağaçların maksimum derinliği 6 olacak şekilde derinlik 2'den 6'ya kadar, her seviyede tam (full) ve büyüme (grow) yöntemleriyle ağaçlar üretilecektir.

Her bir çözüm ağacının kalitesi çözümün problemin gerekliliklerini ne kadar iyi karşıladığını matematiksel olarak hesaplamak için kullanılan uygunluk fonksiyonu ile belirlenir. Bu değerlendirme, algoritmanın en iyi performans gösteren çözümleri belirlemesine ve sonraki iterasyonlar için bu çözümleri geliştirmeye odaklanmasına olanak tanır. Bu süreç, ABCP'nin başarılı bir şekilde optimizasyon yapabilmesi için kritik öneme sahiptir [7,62]. Aşağıda ABCP algoritmasının akış diyagramı verilmiştir. Bu diyagramda (1) görevli arı fazını, (2) gözcü arı fazı ve (3) kaşif arı fazını göstermektedir.



Şekil 2.2 ABCP algoritmasının akış diyagramı.

Başlangıç çözümlerini ramped half and half (xix_ixi) yöntemiyle rastgele olarak üret.
 Çözümleri değerlendir.
 En iyi olanı hafızaya al.
 Çevrim sayacını 0'dan başlat (sayaç=0).

REPEAT.

Her bir görevli arı için:

- Bilgi paylaşım merkezini kullanarak bir aday çözüm üret (viv_ivi).
- Problemin maliyet fonksiyonu ile üretilen her bir aday çözümün uygunluk değerini belirle.
- Uygunluk değerleri göz önünde bulundurularak xix_ixi ve viv_ivi arasında açgözlü seleksiyon uygula.
- Eğer seleksiyon sonucunda viv_ivi seçilirse i.i.i. çözüme ait deneme sayacını sıfırla; seçilmezse deneme sayacını 1 artır.
- Eşitlik 2.1 ve 2.2'yi kullanarak çözümler için olasılık değerini hesapla (PiP_iPi).

Her bir gözcü arı için:

- PiP_iPi'ye bağlı bir xix_ixi çözümü seç.
- Bilgi paylaşım merkezini kullanarak bir aday çözüm üret (viv_ivi).
- Problemin maliyet fonksiyonu ile üretilen her bir aday çözümün uygunluk değerini belirle.
- Uygunluk değerleri göz önünde bulundurularak xix_ixi ve viv_ivi arasında açgözlü seleksiyon uygula.
- Eğer seleksiyon sonucunda viv_ivi seçilirse i.i.i. çözüme ait deneme sayacını sıfırla; seçilmezse deneme sayacını 1 artır.
- Elde edilen en iyi çözümü hafızaya al.
- Eğer tükenmiş bir çözüm varsa; rassal olarak grow metodu ile yeni bir çözüm üret ve tükenen çözümü değiştir. Çözümün deneme sayacını sıfırla.

Çevrim sayacını 1 artır.

UNTIL (Çevrim sayacı maksimum çevrim sayısına ulaşana kadar).

Şekil 2.3 ABCP algoritmasının sözde kodu.

ABCP algoritmasının sözde kodu Şekil 2.3'te verilmiştir ve kodda bahsedilen eşitlikler aşağıdadır [49].

$$\text{fit}(x_i) = \frac{1}{1+f(x_i)} \quad (2.1)$$

$$P_i = \frac{\alpha \cdot \text{fit}(x_i)}{\text{fit}(x_{\text{best}})} + (1-\alpha) \quad (2.2)$$

Tezde biri $x^4+x^3+x^2+x$ (a) polinomal problemi biri $\sin(x)+x^2+1$ (b) trigonometrik problemi olan iki farklı sembolik regresyon problemleri ele alınmıştır ve bu problemlere ait ağaç yapıları aşağıda verilmiştir.

$$\begin{array}{cc}
 \begin{array}{c}
 (+) \\
 / \quad \backslash \\
 \sin(x) \quad (+) \\
 / \quad \backslash \\
 (x^2) \quad 1
 \end{array}
 &
 \begin{array}{c}
 (+) \\
 / \quad \backslash \\
 (x^4) \quad (+) \\
 / \quad \backslash \\
 (x^3) \quad (+) \\
 / \quad \backslash \\
 (x^2) \quad (x)
 \end{array} \\
 \text{(a)} & \text{(b)}
 \end{array}$$

2.2. Yöntem

2.2.1. Taguchi Yöntemi

2.2.1.1. Tarihçesi ve Felsefesi

Taguchi yöntemi, Dr. Genichi Taguchi tarafından 1940'ların sonlarında geliştirilmiş ve Japonya'daki Nippon firmasında mühendislik uygulamaları sırasında etkin bir şekilde kullanılmıştır. Taguchi'nin bu yöntemle amacı, mühendislere düşük maliyetle yüksek kaliteli süreçler ve ürünler geliştirebilmek için deney tasarımı yöntemlerini nasıl kullanacaklarını göstermektir [65].

Ürün kalitesini arttırmak için kontrol edilebilir faktör (kontrol edilebilen girdi parametreleri) ve seviyelerin tasarlanması sağlayan bir deney tasarım metodolojisi olan Taguchi, kalitenin toplum üzerindeki etki kaybı ile ölçülebileceğini savunur ve sürekli iyileştirme faaliyetlerinin bir şirketin sürekliliği için zorunlu olduğunu vurgular. Bu felsefe, ürünlerin üretim limitleri içinde kalması gerektiğini, kalite sapmalarının müşteri üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılması gerektiğini ve kalitenin üretim sırasında ve tasarım aşamasında sağlanması gerektiğini belirtir. Ayrıca, üretim sınırlarını koruyabilmek için etkileyici parametrelerin kontrol altında tutulması ve ürünler arası parametre etkileşimlerinin deney tasarımı yöntemleri ile analiz edilebilir olması gerektiğini öne sürer [65,66]. Taguchi yöntemi istenilen deneye uygun olarak en iyi faktör kombinasyonlarını belirleyerek, kısa sürede verimli sonuçlar alınmasını hedefler.

Taguchi'nin kalite felsefesi, etkili deney tasarımı ve sürekli iyileştirme prensiplerine dayanır ve yedi temel madde ile özetlenebilir:

1. Toplumsal Etki: Bir ürünün kalitesi, toplumda neden olduğu toplam kayıpla ölçülmelidir. Bu, ürünün toplumdaki olumsuz etkilerini en aza indirmek için kaliteyi ön planda tutmayı gerektirir.
2. Sürekli İyileştirme: İşletmelerin rekabetçi kalmaları ve zamanla evrimleşebilmeleri için sürekli olarak kalite ve maliyet açısından kendilerini geliştirmeleri gerekmektedir. Taguchi'nin deney tasarımı, süreçlerin daha az değişkenlikle ve daha düşük maliyetle daha yüksek kalitede ürünler üretmesini sağlar.
3. Hedef Odaklı Üretim: İşletmeler, ürünlerini hedeflenen değerlerden sapmadan, belirlenen sınırlar içinde üretmeye özen göstermelidir.
4. Tüketici Kaybı: Bir ürünün performansındaki herhangi bir sapma, tüketicinin yaşadığı kaybın artmasına neden olur.
5. Tasarım ve Üretim Süreçleri: Bir ürünün mühendislik tasarımı ve üretim süreçleri, o ürünün nihai kalitesini ve maliyetini belirler.
6. Parametre Kontrolü: Ürün kalitesini artırmak ve sapmaları azaltmak için, üretim sırasında ürüne etki eden parametrelerin dikkatlice kontrol altında tutulması gereklidir.
7. Parametre Bilgisi: Etkili bir süreç ve ürün tasarımı için, sürece ve ürüne etki eden parametrelerin iyi bilinmesi esastır. İstatistiksel deney tasarımı yöntemleri, bu parametrelerin ürün üzerindeki etkilerini belirlemeye ve kontrol etmeye yardımcı olur.

Bu prensipler, işletmelerin ürün kalitesini sürekli olarak iyileştirmelerine ve maliyetleri optimize etmelerine olanak tanır, bu da genel verimliliği ve müşteri memnuniyetini artırır.

Taguchi Kayıp Fonksiyonu: Taguchi yöntemlerinde kalite kaybı fonksiyonları, mühendislik tasarımlarının teknolojik düzeyde iyileştirilmesine yardımcı olan önemli bir araçtır. Bu fonksiyonlar, üretilen ürünlerin değerini ve kalitesini belirleyen grafikler şeklinde ifade edilir. Kalite kaybı fonksiyonları, ürünün müşteriye ulaştıktan sonra itibar kaybına neden olmadan kalite maliyetlerini minimize etmeyi amaçlar. Taguchi'ye göre,

bir ürünün performansı hedef değerden ne kadar uzaklaşırsa, kalite o derece bozulur. Bu sapmalar, ürünlerin performans özellikleriyle doğrudan ilişkilidir ve herhangi bir kalite kaybı, müşteri memnuniyetsizliğine ve sonuç olarak finansal kayıplara yol açabilir [67].

Kalite kaybı fonksiyonu, planlanan sapmalara karşı ürün kalitesinin ne ölçüde etkilendiğini sürekli bir fonksiyon olarak gösterir. Bu, mühendislerin ve işletmelerin üretim süreçlerini ve ürün tasarımlarını daha dikkatli yönetmelerini sağlar, böylece hem maliyet verimliliği hem de müşteri tatmini açısından optimum sonuçlara ulaşılabilir.

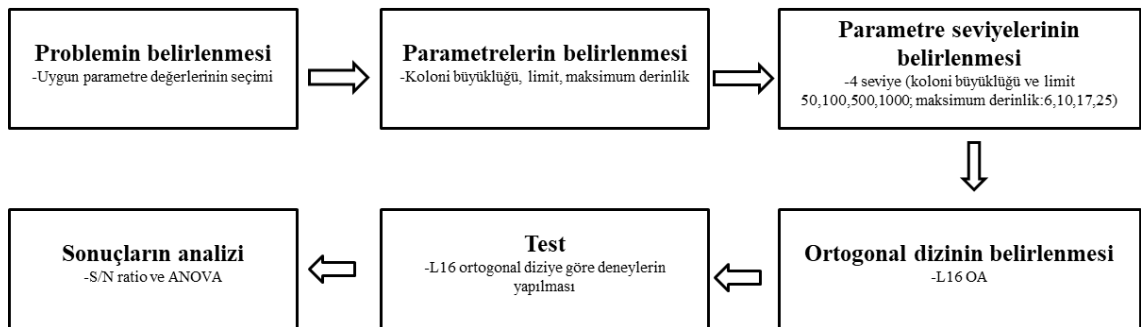
Taguchi Sinyal/Gürültü Oranı(S/N): Taguchi metodunda deney tasarımı, değişkenliği minimize ederek ve kontrol edilebilir bir model oluşturarak gerçekleştirilir. Bu metod, deney sonuçlarını analiz ederken S/N oranlarını önemser. Deney tasarımı sırasında bir faktör değiştirildiğinde, ürün kalitesindeki değişimi gözlemlemek amaçlanır. Eğer bu değişiklik arzu edilen etkiyi yaratıyorsa, bu "sinyal" olarak adlandırılır. Bunun yanı sıra, deney sonuçlarını etkileyebilecek dış faktörler de mevcuttur ve bu faktörlerin etkisi "gürültü" olarak tanımlanır [68].

Taguchi'nin S/N oranı, değiştirilebilen ya da kontrol edilebilen parametreler ile kontrol edilemeyen parametrelerin çıktı üzerindeki etkisini belirlemek için kullanılır. Bu istatistiksel ölçüm, standart sapma ve ortalama değerle birlikte değerlendirilir [69]. Yüksek bir S/N oranı bulunan deney sonuçları, parametrelerin anlamlı olduğunu ve sapmanın az olduğunu gösterir. Sonuçlar değerlendirilirken, elde edilmek istenen sonuca göre üç farklı S/N oranı hesaplama türü kullanılabilir ve bu oranların her biri için yüksek bir değer, deney sonucunun başarılı olduğunu gösterir. Bunlar “larger is better”, “smaller is better” ve “nominal is better” hesaplamalarıdır. Larger is better hesaplama yöntemi ürün dayanıklılığı gibi hesaplama sonuçlarının büyük olması istenen durumlarda kullanılır, smaller is better hata oranı hesabı gibi sonucun küçük çıkmasının beklendiği/istendiği deneylerde kullanılırken nominal is better yöntemi belirli bir hedef değer olduğu ve sonuçların bu değere yakın çıkması istendiği durumlarda kullanılır.

2.2.1.2. Taguchi Yönteminin Uygulama Aşamaları

Genichi Taguchi tarafından geliştirilen Taguchi metodu, istatistiksel deney tasarımına dayalı kalite geliştirme felsefeleri üzerine kurulmuştur. Taguchi, ürün kalitesinin toplumdaki toplam kayıp açısından önemli bir boyut olduğunu vurgulamıştır; yani bir ürünün kalitesizliği, toplumda ne kadar büyük kayıplara yol açabileceği ile ölçülmelidir. Rekabetçi ekonomilerde işletmelerin ayakta kalabilmesi için sürekli kalite iyileştirmesi ve maliyetleri düşürme zorunluluğu vardır. Sürekli kalite iyileştirme programları, ürünün performans karakteristiklerinin hedef değerlerden sapmalarını kayda değer şekilde azaltmayı hedefler [66].

Taguchi metodu, birden fazla parametrenin aynı anda analiz edilmesine olanak tanır ve daha az deney sayısı ile bu parametrelerin kontrol edilmesini sağlar. Bu metod, deneylerde kullanılan parametre sayısının fazlalığı gibi zorlukları yönetmekte etkilidir. Taguchi'nin tanımladığı süreçlerde üç kritik kalite aşaması bulunmaktadır: tolerans, parametre ve sistem tasarımı. Metodun uygulama aşamaları şunları içerir: kalite karakteristiğinin belirlenmesi, gürültü faktörlerinin ve test koşullarının belirlenmesi, kontrol faktörleri ve seviyelerin belirlenmesi, matris deneyinin tasarlanması, deneyin yapılması, verilerin analizi ve kontrol faktörleri için optimum seviyelerin belirlenmesi ve son olarak performans tahminlerinin yapılması.



Şekil 2.4 Taguchi Uygulama Aşamaları.

Planlama aşaması, herhangi bir projede veya deneyde, problemlerin net bir şekilde tanımlanmasını, çıktı faktörlerinin ve parametrelerinin belirlenmesini içerir [4]. Bu süreç,

deney seviyelerinin ve faktörlerinin sınırlarını netleştirir ve proje hedeflerinin ölçülebilirliğini sağlar. Aşağıda bazı tipik problemler ve bu problemlere yönelik yaklaşımlar belirtilmiştir [70].

- **Proseslerin ve Ürünlerin Sürekliliğinin Sağlanması veya Yeni Bir Ürünün Geliştirilmesi:** Bu hedef, sürekli iyileştirme gerektiren, değişen piyasa koşullarına hızla uyum sağlayabilen süreçlerin ve ürünlerin tasarlanmasını gerektirir.
- **Müşteri Şikâyet ve İsteklerine Uygun Proseslerin ve Ürünlerin Performans Olarak Geliştirilmesi:** Müşteri geri bildirimlerine dayanarak, müşteri memnuniyetini artırıcı yönde değişikliklerin yapılması bu aşamada önemlidir.
- **Ürün Maliyetlerindeki Tasarrufların Sağlanması:** Maliyetleri düşürmek amacıyla, üretim süreçlerinde verimliliği artırma, kaynak kullanımını optimize etme gibi stratejiler geliştirilmelidir.

Bu problemlere yönelik yaklaşımlar, süreçleri ve ürün özelliklerini iyi bilen kalite mühendisleri, üretim mühendisleri ve üretim yöneticileri gibi yetkin personellerle ortaklaşa çalışarak geliştirilmelidir. Bu iş birliği, daha etkili çözümlerin ortaya konulmasını sağlar.

Çıktı parametrelerinin ve değişkenlerinin belirlenmesi aşamasında, belirlenen değerlerin ölçülebilir olmasına dikkat edilmelidir. Sözel olarak ifade edilen bazı çıktılar, deney esnasında sayısal değerlere dönüştürülmelidir, böylece analiz ve değerlendirme süreci daha objektif ve kolay hale getirilebilir.

Problemin Belirlenmesi: Çalışmaya başlarken, projenin ya da sorunun doğru tanımlanması, başarının anahtarıdır. Bu aşama, projenin tüm sürecini şekillendirir ve hata yapıldığında, yanlış sonuçlara yol açabilir, maliyet ve zaman kaybına neden olabilir. Problemin belirlenmesi sürecinde, ilgili müşteri şikâyetleri ve ürün veya süreç hakkında bilgi sahibi kişilerin görüşlerinin alınması önemlidir. Problemin açık ve net bir şekilde ifade edilmesi gerekir. Problemin doğru tanımlanması, deneyin amacının ve beklenen fonksiyonların gerçekleştirilmesini sağlayacak önemli özelliklerin belirlenmesini kolaylaştırır [71].

Faktör ve Seviyelerin Belirlenmesi: Sorunun tanımlanmasının ardından, hedefler netleştirildikten sonra, sorunun çıktıları üzerinde etkili olan tüm faktörlerin belirlenmesi sürecine geçilir. Bu süreçte, sürecin ve ürünün tüm yönlerinin detaylı bir şekilde anlaşılması kritik öneme sahiptir. Beyin fırtınası ve akış diyagramları gibi araçlar, etkileyici faktörlerin tespit edilmesine yardımcı olur. Belirlenen faktörler daha sonra, kontrol edilebilir ve kontrol edilemez faktörler olarak ikiye ayrılır. Kontrol edilebilir faktörler üzerindeki hakimiyet, kontrol edilemeyen faktörlerin etkisini azaltmaya veya ortadan kaldırmaya yönelik stratejiler geliştirilmesini sağlar, böylece dış etkenlerden bağımsız bir model oluşturulur. Robust bir tasarım için parametrelerin çok iyi ayarlanması ve böylece kontrol edilemeyen faktörlerden etkilenmemesinin sağlanması önemli bir konudur. Parametrelerin belirlenmesiyle birlikte, bu parametrelerin kaç farklı seviyede inceleneceği de kararlaştırılmalıdır. Parametre seviyeleri genellikle iki veya üç olarak belirlense de daha fazla seviyede de olabilir. Daha az seviye belirlemek, süreci yönetmeyi kolaylaştırırken, parametrelerin seviye sayısı, faktörlerin serbestlik derecesini belirler. Bir faktörün serbestlik derecesi, kullanılan seviye sayısının bir eksiği kadar olur. Ayrıca, faktörler arası olası etkileşimler, karşılıklı olarak etkileşim olarak adlandırılır ve bu etkileşimler de faktörler gibi dikkate alınır. Faktörler arasında bir etkileşim varsa, bu etkileşim için serbestlik derecesi, etkileşen faktörlerin serbestlik derecelerinin çarpımı kadardır. Bu aşamalardan geçtikten sonra, toplam serbestlik derecesi, tüm faktörlerin serbestlik derecelerinin toplamına eşit olur. Seviye sayısının artması, toplam serbestlik sayısını ve dolayısıyla gereken deney sayısını artırır. Her faktör için serbestlik derecesi bir olursa, bu toplam test sayısını en aza indirir. Deneyin başlangıcında birçok faktör elemine edilir ve kalanlar, maliyet ve zaman artışına neden olmadan az sayıda seviyede incelenir [65].

Ortogonal Dizi Tasarımı: Tam faktöriyel tasarımların aksine, daha az sayıda deneyle benzer sonuçlara ulaşmayı hedefleyen ortogonal dizi tasarımı genel bir kesirli faktöriyel tasarım türüdür.

Taguchi'nin deney tasarımı için geliştirdiği ortogonal diziler, deneylerin az sayıda, hızlı ve düşük maliyetle gerçekleştirilmesine olanak tanımıştır. Farklı deneylerin çeşitli kombinasyonlarını içeren bu ortogonal diziler sayesinde, çok sayıda parametre az sayıda deney ile test edilebilmektedir. Farklı problemlere göre bu diziler farklı seviyelerde düzenlenebilmektedir [72].

Taguchi ortogonal dizileri L_N notasyonu ile tanımlar, buradaki L harfi “latin kareyi” ifade eder yani ortogonal diziler genişletilmiş latin karelerdir. Latin kareler, her satır ve sütunda aynı elemanın yalnızca bir kez görüldüğü $n \times m$ boyutunda bir matristir ve deney tasarımlarında çakışmaları önlemek için kullanılırlar örneğin, deneylerde her faktör seviyesi tüm diğer faktör seviyeleriyle eşit sayıda birleşim yapabilsin diye Latin kareler kullanılabilir. Ortogonal dizilerde sütunlar faktörlere, sütunlardaki değerler faktörlerin test seviyelerine, satırlar ise test denemelerine karşılık gelir. Ortogonal bir dizinin tanımından, bir ortogonal dizi satırları değiştirildiğinde, sütunları değiştirildiğinde veya sütun içindeki elemanlar permüte edildiğinde yine ortogonal bir dizi olarak kalır. Taguchi'nin ortogonal dizi formatında, en soldaki sütunlardaki değerler en sağdaki sütunlardakilere göre daha seyrek değişir. Bu nedenle, bu diziler çok faktörlü deneyleri planlamak için kullanıldığında, en soldaki sütunlarla değiştirilmesi en pahalı veya en zor olan faktörleri ilişkilendirerek deneyin maliyeti bazen azaltılabilir. Taguchi'nin kataloğunda 20 dizi bulunmaktadır. Ancak bu dizilerden yalnızca 18 tanesi ortogonal dizidir (L9 ve L27 ortogonal değildir) [73].

Örneğin, bir $OA_N(s^m)$ dizisi:

- N satırlıdır (deney koşulları veya deneme sayısı),
- m faktörü içerir,
- Her faktör s seviyeye sahiptir.

3 faktör ve 4 seviyeli bir ortogonal dizi, genellikle $L_{16}(4^3)$ dizisi olarak gösterilir ve her faktörün 4 farklı seviyede test edildiği bir deney planını içerir. Bu yapı, 3 faktör için 4 seviye kombinasyonlarını test etmek için dengeli ve sistematik bir yol sağlar.

Bu dizide 16 satır ve 3 sütun bulunur:

- Her satır, belirli bir kombinasyon için bir deney koşulunu temsil eder.
- Sütunlar, deneydeki faktörleri temsil eder.

Tablo 2.1 L16 Dizisi.

Deneme	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3
1	1	1	1

2	1	2	2
3	1	3	3
4	1	4	4
5	2	1	2
6	2	2	3
7	2	3	4
8	2	4	1
9	3	1	3
10	3	2	4
11	3	3	1
12	3	4	2
13	4	1	4
14	4	2	1
15	4	3	2
16	4	4	3

Bu örnekte:

- *Faktör 1, Faktör 2 ve Faktör 3:* Her biri 4 seviyeye sahiptir (örneğin, 1, 2, 3, ve 4).
- *16 Deneme:* Bu 16 satır, her faktör kombinasyonunu dengeli bir şekilde test etmek için en az deneme sayısını sağlar.

Bu tür bir dizi, tüm faktörlerin etkisini minimum sayıda deneme ile analiz etmeyi sağlar ve maliyetleri düşürür.

Deney tasarımı sürecinde, uygun ortogonal dizinin seçimi için serbestlik derecesi önemli bir faktördür. Serbestlik derecesi, kontrol edilebilen faktörlerin toplamından hesaplanır ve her faktör için, o faktörün seviye sayısının bir eksiği kadar olduğu kabul edilir. Toplam deney sayısı, faktör grubunun toplam serbestlik derecesine bir eklenerek bulunur. Bu da deneyin kapsamını ve gerekliliklerini belirlemede yardımcı olur. Faktörlerin serbestlik derecesi, deneyin planlanması ve uygulanması sırasında dikkate alınması gereken temel

bir unsurdur ve bu, etkileşimler dahil olmak üzere tüm faktörlerin etkilerini göz önünde bulundurur [74].

Faktörlerin Kolonlara Atanması: Taguchi metodu, deney tasarımında parametrelerin düzenlenmesi için özel olarak tasarlanmış ortogonal diziler kullanır. Genichi Taguchi tarafından geliştirilen bu yöntem, parametreleri ve etkileşimlerini belirlemek için sütunlar halinde düzenlenmiş, üçgensel tablolar ve doğrusal grafiklerden yararlanır. Bu grafikler ve tablolar, parametrelerin ve etkileşimlerin hangi kolonlara yerleştirileceğini gösterir [72].

Taguchi, deney tasarımları için çeşitli ortogonal planları standartlaştırılmış tablo formatında sunar. Bu planlar doğrudan deneylerde kullanılabilir ve iki kademeli, üç kademeli, karışık kademeli dizinler gibi farklı yapılandırmalara sahiptir. Örneğin, iki kademeli deneyler için L4, L8, L12, L32; üç kademeli deneyler için L9, L18, L27; dört kademeli deneyler için L16, L32, L64 dizinleri kullanılır. Ayrıca, L18, L36, L54 gibi karışık kademeli dizinler de mevcuttur. Bu dizinler, deneylerin düzenlenmesinde önemli bir kolaylık sağlar [75,76].

Bu yöntemle, deney tasarımı sürecinde, parametrelere uygun dizinin seçilmesi esastır. Bu, deney sürecini hem maliyet hem de zaman açısından verimli kılar ve sonuçların doğruluğunu artırır.

Deneylerin Gerçekleştirilmesi ve Verilerin Toplanması: Ortogonal diziler temelinde planlanan deneylerin doğru bir şekilde yürütülmesi oldukça önemlidir. Bu süreçte, deneylerin başarılı olabilmesi için gerekli tüm donanımların, hammaddelerin ve deney ekibinin deney süresince ve sonunda hazır olması gerekmektedir. Deneyin bütünlüğünü korumak amacıyla kullanılacak donanım ve ekipmanların uygun şekilde kullanılması ve gerektiği zaman önceden sipariş edilerek temin edilmesi önem taşır. Deney ekibi, deney öncesi ekipman ve malzemeler üzerinde kontroller yapmalıdır. Deneyi yürütecek ve denetleyecek personelin, deneyden önce gereken hazırlıkları tamamlamış olması ve son dakika yönlendirmelerinden kaçınmaları gerekir. Hazırlanan deney programına uygun olarak deneylerin gerçekleştirilmesi sağlanmalıdır. Deney sırasında, verilerin hassas bir şekilde izlenmesi ve dokümanite edilmesi esastır. Aksi takdirde, deney tasarımı çalışmaları sonucunda elde edilen veriler, istenen kalitede olmayabilir ve yanlış sonuçlar elde edilebilir [77].

Verilerin Analizi: Veriler, deney planına uygun olarak toplandıktan sonra Minitab gibi istatistiksel paket programlar aracılığıyla analiz edilebilir. Bu analizler sırasında, verilerin sinyal/gürültü oranları incelenir ve böylece farklı faktörlerin çıktılar üzerindeki etkileri değerlendirilir. Bu süreç, modelin anlamlı bir şekilde açıklanmasına yardımcı olur. Analiz aşamasında, her parametrenin çıktı değişkeni üzerindeki etkisi belirlenir ve bunun yanı sıra F-testi ve katkı yüzde oranları gibi istatistiksel testler kullanılarak etkiler daha detaylı incelenebilir. Parametrelerin farklı seviyeleri arasındaki en iyi performansı gösteren seviyeler grafikler yardımıyla tespit edilir ve bu seviyeler, parametrelerin çıktı üzerindeki ideal etkilerini belirlemek için kullanılır. Her bir parametrenin sinyal/gürültü oranı hesaplanır ve bu oranın en yüksek olduğu seviye, ilgili parametre için en uygun seviye olarak belirlenir. Bu şekilde, en iyi parametre kombinasyonu oluşturulur ve parametre etkileri görsel olarak grafiklerle sunulur. Analiz sonucunda, kontrol edilebilen faktörlerin çıktı üzerinde en iyi sonucu veren seviyeleri belirlenir ve bu seviyeler, doğrulama deneyleri için bir referans olarak kullanılır. Böylece, teorik olarak elde edilen değerlerin uygulamada ne kadar başarılı olduğu gözlemlenebilir [77]. SN oranının hesaplanması için üç farklı yöntem vardır. Bu yöntemlerin hepsine amaç SN oranını maksimize etmektir böylece sinyal artarken varyans azalır.

Smaller is better yöntemi hesabı:

$$\text{SN ratio} = -10 \times \log_{10} \left(\frac{\sum Y^2}{n} \right)$$

Larger is better yöntemi:

$$\text{SN ratio} = -10 \times \log_{10} \left(\frac{\sum 1/Y^2}{n} \right)$$

Nomail is best yöntemi:

$$\text{SN ratio} = -10 \times \log_{10} (s^2)$$

Anova Tablosunun Analizi: Deney tasarım tekniklerinde temel bir araç olan varyans analizi ya da ANOVA, grupların ortalama değerleri arasındaki farkları belirlemek için kullanılan bir istatistiksel yöntemdir. Bu metod, 1930'larda Ronald Fisher tarafından geliştirilmiş ve adını soyadının baş harfinden alarak F testi olarak da bilinir [72]. Deneylerde elde edilen sinyal/gürültü oranları dışında, her bir faktör için varyans analizi yapılır. Bu analiz ile faktörlerin çıktı üzerindeki etki derecesi tespit edilir. ANOVA sonuçları değerlendirilirken, belirli bir F değerini aşan faktörler ile daha düşük F değerine sahip olan faktörler ayırt edilir. Eğer bir faktörün F değeri, belirlenen tablo değerinden yani kritik değerden yüksekse, bu faktörün grup ortalamaları üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu düşünülür. Tablo değerinden düşük F değerine sahip faktörlerin ise ortalama üzerinde önemli bir etkisi olmadığı kabul edilir [65].

Doğrulama Deneylerinin Yapılması: Taguchi deney tasarımı yönteminde, varyans analizleri sonrası hangi faktörlerin performans karakteristiği üzerinde ne kadar etkili olduğu belirlenir. Son aşama, bu sonuçların doğruluğunu test etmek amacıyla doğrulama deneylerinin yapılmasıdır [69]. Bu doğrulama aşamasında, analizle belirlenen en uygun seviyelerdeki faktörler üzerinden deneyler tekrarlanır. Bu deneylerin ortalama değerleri, standart sapmaları gibi istatistiksel değerler hesaplanır ve analiz sonuçları ile karşılaştırılır. Eğer doğrulama deneyleri, analiz sonuçları ile uyum gösterirse, deney tasarımının başarılı olduğu ve robust (güçlü) bir tasarımın elde edildiği sonucuna varılır. Ancak, doğrulama deneyleri istenilen güven aralığına ulaşamazsa, bu, deney tasarımının başarısız olduğunu gösterir. Bu durumda, süreç tekrar gözden geçirilir, yapılan hatalar analiz edilir ve düzeltilir. Deney tasarımı tekrar başlatılarak, en iyi seviyeler yeniden belirlenmeye çalışılır [65]. Bu süreç, sürekli iyileştirme ve mükemmelliğe ulaşma çabasının bir parçasıdır.

Tez çalışması kapsamında ABCP'nin kontrol parametre değerlerinin belirlenmesinde Taguchi yöntemi kullanılacaktır. Kontrol parametrelerine koloni büyüklüğü, limit parametre değeri, maksimum iterasyon sayısı örnek olarak verilebilir.

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1 Araştırma Modeli

Bu tez çalışmasında ABCP algoritmasının sembolik regresyon problemi analizi için anahtar olan koloni büyüklüğü, limit ve maksimum ağaç derinliği parametreleri incelenmiştir. Bu parametreler 100000 değerlendirme sayısı ile 4 seviyede $L_{16}(4^3)$ ortogonal dizi ile incelenmiştir. ABCP algoritmasında amaç fonksiyonu kullanılarak elde edilen sonuçların Minitab 22.1 programı ile analizleri yapılmıştır. Bu analizler, polinomal ve trigonometrik sembolik regresyon problemlerinde algoritmanın performansını değerlendirmek ve uygun parametre kombinasyonlarını belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Sonrasında fonksiyon setinin algoritma performansına etkisini ölçmek için ikinci bir deney tasarımı yapılmıştır ve $L_{16}(4^4)$ ortogonal dizi üzerinde 50000 değerlendirme ile sonuçlar hesaplanmıştır.

3.1.1. Birinci Deney Tasarımı

Tablo 3.1 Birinci deney tasarımı.

Faktörler	Seviyeler			
	1	2	3	4
Koloni Büyüklüğü	50	100	500	1000
Limit	50	100	500	1000
Maksimum ağaç derinliği	6	10	17	25

Tablo 3.1’de belirtilen faktörler ile oluşturulan 4 seviyeli ortogonal dizi Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2 L16 ortogonol dizi.

Deney No	X	Y	Z
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	1	4	4
5	2	1	2
6	2	2	1
7	2	3	4
8	2	4	3
9	3	1	3
10	3	2	4
11	3	3	1
12	3	4	2
13	4	1	4
14	4	2	3
15	4	3	2
16	4	4	1

Parametrelerin ABCP algoritması ortalama sonuçları alınmış ve S/N oranları “smaller is better” yöntemi ile hesaplanmıştır. Hesaplama sonuçları Tablo 3.3 ‘de verilmiştir.

$$\text{SN ratio} = -10 \times \log_{10} \left(\frac{\sum Y^2}{n} \right) \quad (3.1)$$

Tablo 3.3 Deneylerin ortalama sonuçları ve SN Oranları.

Deney No	X	Y	Z	Average Response	SN Ratio
1	1	1	1	0,00475331547306956977289038591	46,4600672206621
2	1	2	2	0,000000000000000000793635990259	342,007572915452
3	1	3	3	0,00260880071204671985796164080	51,67118191331277
4	1	4	4	0,01240174992567610011418022253	38,13034060410311
5	2	1	2	0,000000000000000000364291929955	348,77100898882253
6	2	2	1	0,00545299400962812996079831507	45,26729958811898
7	2	3	4	0,00266933274488846987090862051	51,4719457197411
8	2	4	3	0,00283106218775238012430595091	50,961011814385905
9	3	1	3	0,000000000000000000152655665886	356,3257414404921
10	3	2	4	0,000000000000000000128369537222	357,83076048889745
11	3	3	1	0,000000000000000000271917904859	351,3112438934544
12	3	4	2	0,00000000000000000059847959921	364,4590129820613
13	4	1	4	0,000000000000000000166533453694	355,5699702226946
14	4	2	3	0,00000000000000000041633363423	367,6111700493582
15	4	3	2	0,00000000000000000091940344227	360,72987749146034
16	4	4	1	0,000000000000000000380771802977	348,38670439193294

Tablo 3.4 SN Oranı Sonuçları.

Seviye	X	Y	Z
1	119,6	276,8	197,9
2	124,1	278,2	354,0
3	357,5	203,8	206,6
4	358,1	200,5	200,8
Delta	238,5	77,7	156,1
Rank	1	3	2

S/N oranı, özellikle "smaller is better" (daha küçük olan daha iyidir) kriteri kullanıldığında, yanıt değişkenindeki değişkenliğin daha az olmasını sağlamak için kullanılır.

Tablo 3.4 incelendiğinde koloni boyutu faktörü, hem S/N oranı hem de ortalama yanıt açısından en önemli faktör olduğu görülmektedir. Yanıt değişkeni üzerindeki etkisi büyüktür, bu yüzden optimum seviye seçimi yapılırken özellikle bu faktöre dikkat edilmelidir. Maksimum Derinlik faktörü, ikinci sırada yer almakta ve özellikle S/N oranı açısından daha stabil bir yanıt için optimum seviye belirlemede önemlidir. Limit faktörü ise diğer iki faktöre göre daha az etkiye sahiptir. Bu faktör, yanıt değişkeninde daha küçük bir değişime yol açmaktadır. Bu sonuçlar, faktörlerin farklı seviyelerde yanıt değişkeni üzerindeki etkilerini daha iyi anlamak ve hangi seviyelerin daha optimum sonuçlar verebileceğini değerlendirmek açısından önemlidir. Koloni boyutu ve maksimum derinlik faktörleri, yanıt değişkenini optimize etmek için öncelikli olarak ele alınması gereken faktörler olarak öne çıkmaktadır.



Şekil 3.1 SN Oranı Grafiği.

Koloni boyutunun 50 seviyesinde çok düşük S/N oranına sahip olduğu, ancak 500 ve 1000 seviyelerinde S/N oranının yüksek olduğu görülmektedir. Bu, koloni boyutunun artırılmasının daha tutarlı sonuçlar sağladığını, yani değişkenliği azalttığını gösterir. Bu durumda, en iyi seviye olarak 1000 önerilebilir. Limit faktöründe S/N oranı seviyeler arasında nispeten küçük bir değişiklik gösterir. Ancak en yüksek S/N oranı 100 seviyesinde bulunuyor, bu da limit faktörünün düşük seviyelerde daha istikrarlı sonuçlar verdiğini gösterir. Maksimum derinlik 10 seviyesinde en yüksek S/N oranına sahipken, daha yüksek seviyelerde S/N oranı düşmektedir yani maksimum derinlik parametresinin 10 seviyesinde daha stabil sonuçlar verdiği görülmektedir.

Tablo 3.5 Anova Analizi.

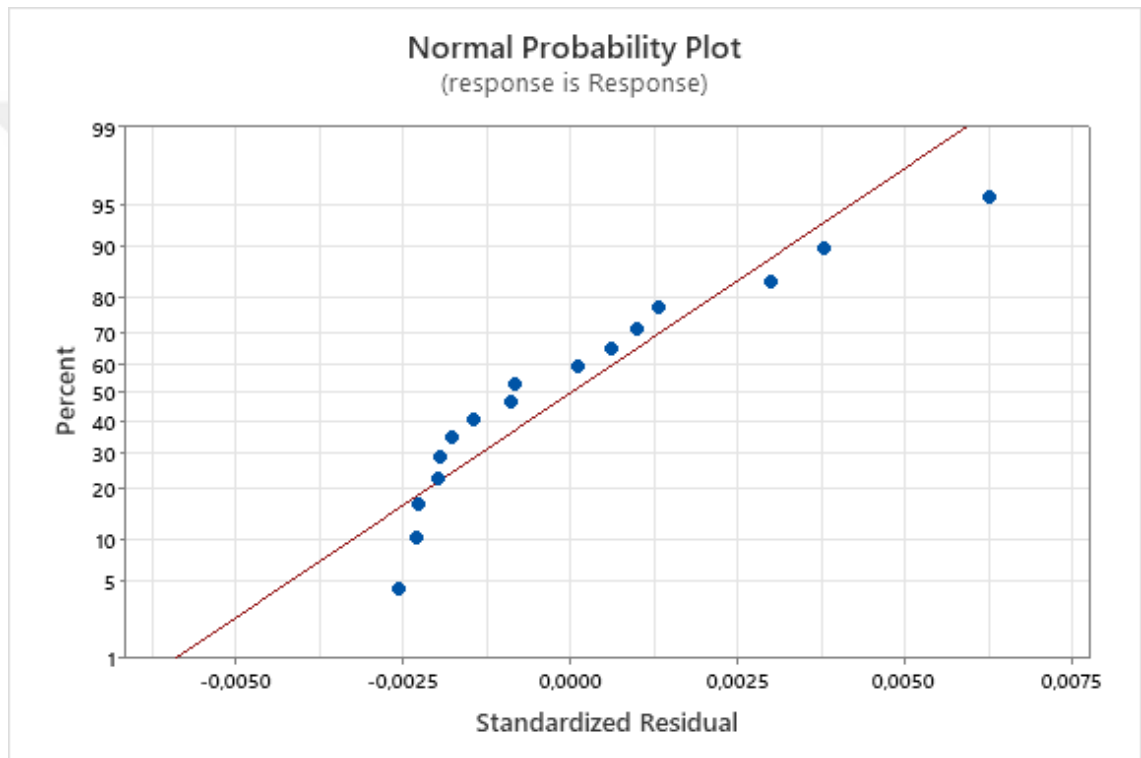
Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
X	3	0,000069	0,000023	2,74	0,135
Y	3	0,000019	0,000006	0,76	0,555
Z	3	0,000031	0,000010	1,25	0,373
Hata	6	0,000050	0,000008		
Toplam	15	0,000169			

Koloni büyüklüğü p-değeri 0,135, limit p-değeri 0,555 ve maksimum derinlik p-değeri 0,373'tür. Genel olarak bu değerler istatistiksel olarak anlamlı değildir.

Tablo 3.6 ANOVA Model Özeti.

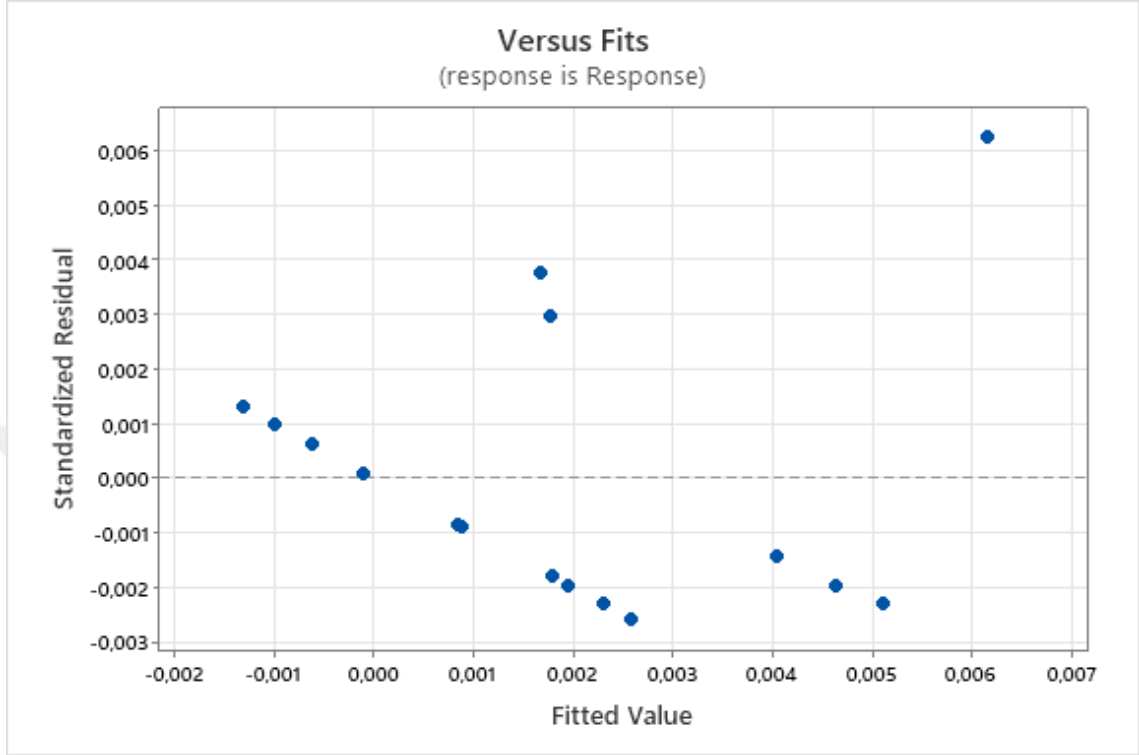
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0028895	70,38%	25,94%	0,00%

R-sq (R-kare) değeri %70,38, modelin yanıt değişkenindeki değişimin %70,38'ini açıkladığını gösteriyor. Ancak, R-sq(adj) (Düzeltilmiş R-kare) %25,94 ve R-sq(pred) (tahmin edilen R-kare) %0,00 olduğundan modelin uyumunun çok güçlü olmadığı görülmektedir. Bu durum, modelin fazla karmaşık olabileceğini veya faktörlerin etkisinin düşük olduğunu göstermektedir.



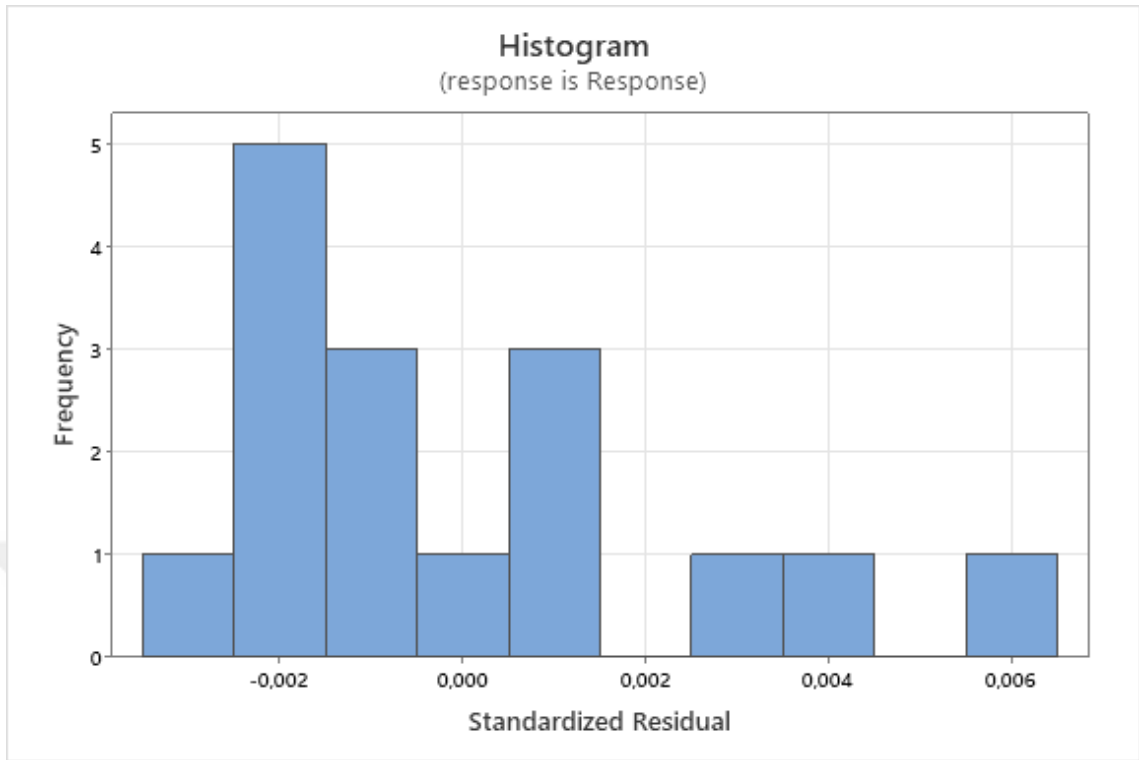
Şekil 3.2 Normal Olasılık Grafiği.

Modelin normal dağılıma uyumunu kontrol etmek için normal olasılık grafiğine bakılır, noktalar çizgiye yakınsa, rezidüellerin/artıkların (artıklar, modelin tahminleri ile gerçek gözlemler arasındaki farktır) normal dağıldığı söylenebilir. Bu, ANOVA ve regresyon analizinin geçerliliği açısından önemlidir. Bu grafikte modelin artıklarının büyük ölçüde normal dağılım varsayımına uyduğu görülmektedir. Normal dağılım varsayımı sağlandığı için modelin doğruluğunun ve öngörü gücünün yeterli olduğu düşünülebilir ancak uç değerlerdeki hafif sapmalar nedeniyle bu uç gözlemler analizde özellikle ele alınmalıdır.



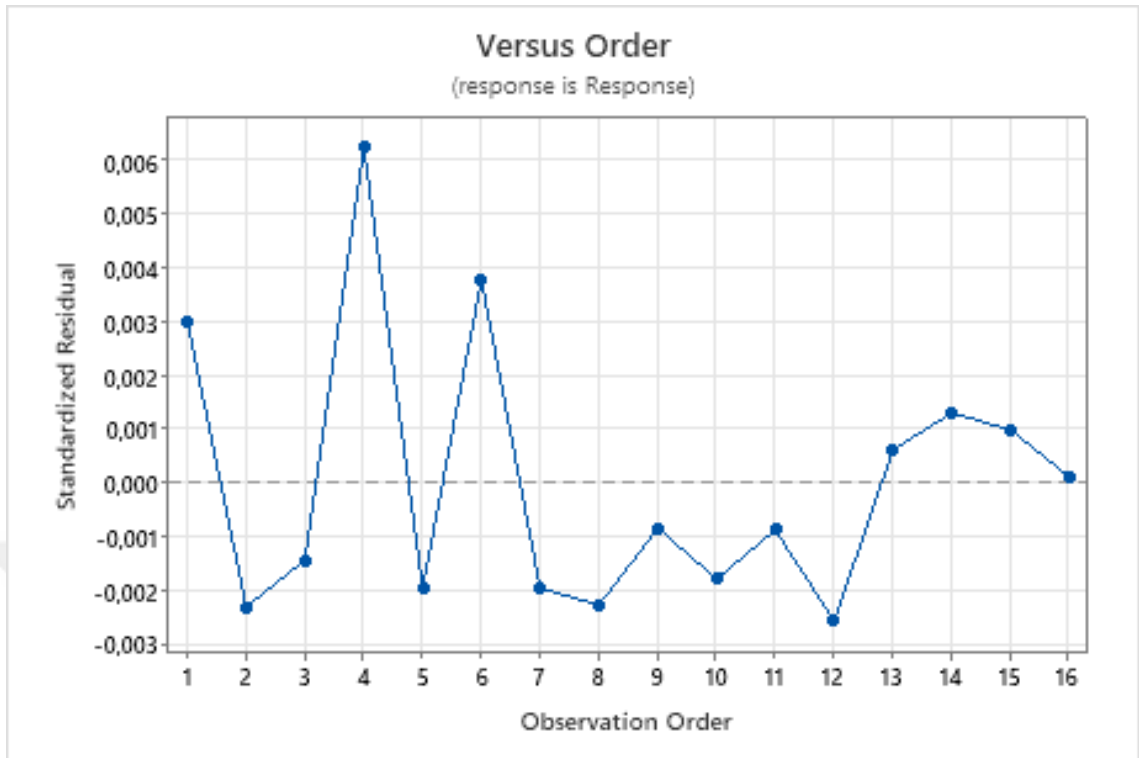
Şekil 3.3 Artıklar ve Tahmin Edilen Değerler Grafiği.

Artıklar tahmin edilen değerlere göre rastgele dağılmıştır ve belirgin bir desen veya varyans değişikliği gözlenmemektedir bu durum, modelin “varyansın sabitliği” varsayımını ihlal etmediğini ve varyansın sabit olduğunu gösterir.



Şekil 3.4 Histogram Grafiği.

Histogram, artıkların dağılımını gösterir ve simetrik bir dağılım normal dağılıma işaret eder. Artıkların histogramı simetrik bir dağılım gösteriyorsa, bu artıkların ortalama etrafında dengeli bir şekilde dağıldığını ve modelin sistematik bir hataya sahip olmadığını gösterir. Bu, modeldeki varyansın kontrol altında olduğunu ve gözlemlerin model etrafında rastgele dağıldığını işaret eder. Buradaki histogram grafiği incelendiğinde histogramın simetrik bir yapıya sahip olduğu ve artıkların genellikle 0 etrafında yoğunlaştığı görülmektedir, model hatalarının çoğunluğu düşük seviyelerde yoğunlaşmış, bu da regresyon modelinin iyi bir uyum sağladığını gösteriyor. Küçük sapmalar veya uç noktalar üzerinde çalışarak modelin daha fazla optimize edilmesi düşünülebilir.



Şekil 3.5 Gözlem Sırası ve Artıklar Grafiği.

Bu grafikte modelin artıklarının gözlem sırasına göre bağımsız ve rastgele olduğunu görülmektedir, belirgin bir artış/ azalma veya döngüsel yapı gözlenmemektedir. Bu durum, artıkların bağımsız olduğu ve zamanla sistematik bir hatanın bulunmadığını göstermektedir.

ANOVA analizi sonuçlarına göre modelin iyileştirilmesi için faktörler gözden geçirilmeli ve daha açıklayıcı faktörler eklenmelidir.

3.1.2. İkinci Deney Tasarımı

Tablo 3.7. İkinci Deney Tasarımı.

Faktörler	Seviyeler			
	1	2	3	4
Koloni Büyüklüğü	50	100	500	1000
Limit	50	100	500	1000

Maksimum ağaç derinliği	6	10	17	25
Fonksiyon Seti	{+,-,*,/}	{+,-, *, /, sin, cos}	{+,-, *, /, sin,cos,pow,log}	{+, *, sin, pow}

Bu deney tasarımında $\sin(x)+x^2+1$ problemi üzerinde koloni büyüklüğü, limit ve maksimum derinlik parametrelerine ek olarak fonksiyon setinin algoritma üzerindeki etkileri ölçülmüştür.

Tablo 3.8 L16 Ortogonal Dizi.

Deney No	X	Y	Z	W
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	1	4	4	4
5	2	1	2	3
6	2	2	1	4
7	2	3	4	1
8	2	4	3	2
9	3	1	3	4
10	3	2	4	3
11	3	3	1	2
12	3	4	2	1
13	4	1	4	2
14	4	2	3	1
15	4	3	2	4
16	4	4	1	3

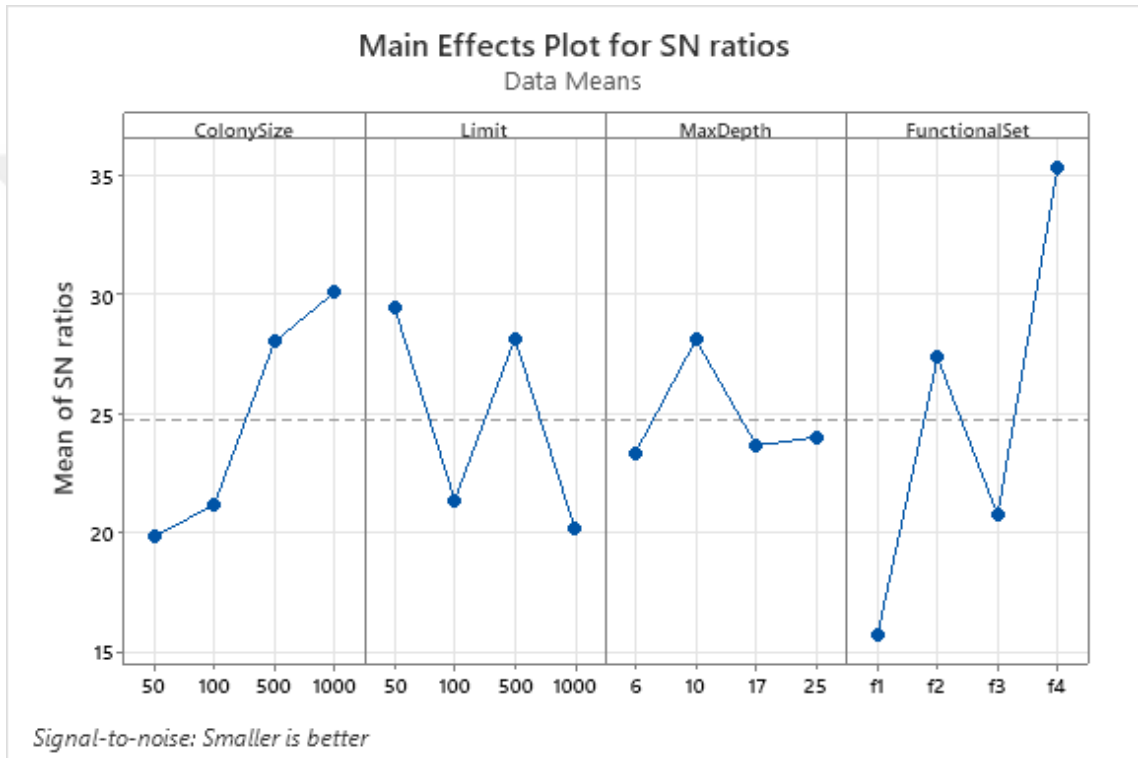
Tablo 3.9 Deneylerin ortalama sonuçları ve SN Oranları.

Deney No	X	Y	Z	W	Average Response	SN Ratio
1	1	1	1	1	0,165670795477726	15,6151
2	1	2	2	2	0,065097448710274	23,7287
3	1	3	3	3	0,145463468815685	16,7449
4	1	4	4	4	0,069202925644052	23,1975
5	2	1	2	3	0,068388892422489	23,3003
6	2	2	1	4	0,052318611475814	25,6269
7	2	3	4	1	0,156768484616883	16,0948
8	2	4	3	2	0,103931516179174	19,6651
9	3	1	3	4	0,006617224743011	43,5865
10	3	2	4	3	0,084391254482544	21,4741
11	3	3	1	2	0,029085164933991	30,7266
12	3	4	2	1	0,152531593492823	16,3328
13	4	1	4	2	0,017210884686606	35,2839
14	4	2	3	1	0,185656527747344	14,6258
15	4	3	2	4	0,003526061753558	49,0542
16	4	4	1	3	0,084993017508792	21,4123

Tablo 3.10 SN Oranı Sonuçları.

Level	X	Y	Z	W
1	19,82	29,45	23,35	15,67
2	21,17	21,36	28,10	27,35
3	28,03	28,16	23,66	20,73
4	30,09	20,15	24,01	35,37
Delta	10,27	9,29	4,76	19,70
Rank	2	3	4	1

"Smaller is better" kriterine göre yapılan Taguchi analizinde her bir faktörün etkisini gösteren S/N oranları ve delta değerleri tablo 3.10'da verilmiştir. S/N oranı açısından en büyük etkiye sahip faktör W parametresidir (delta: 19.70), diğer faktörlerin sıralaması $X > Y > Z$ şeklindedir. En yüksek etkiye sahip W parametresi için optimum değerin 4. seviyede elde edildiği görülmektedir.



Şekil 3.6 SN Oranı Grafiği.

Tablo 3.11 ANOVA Analizi.

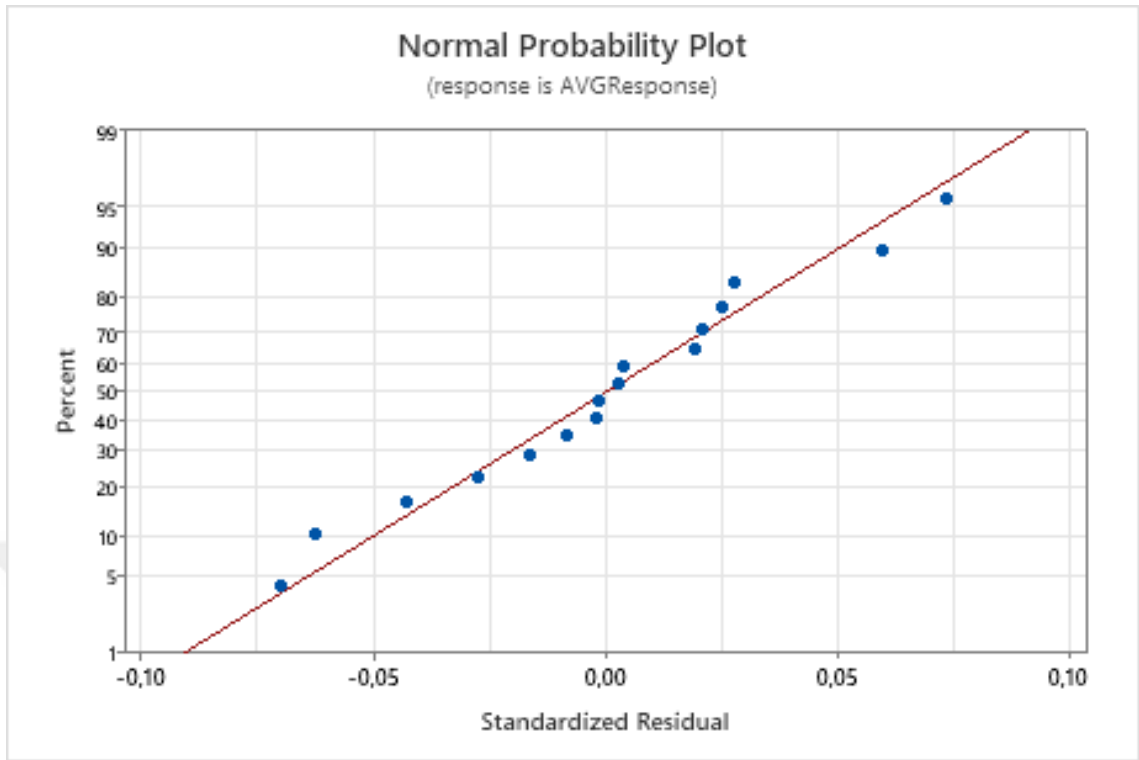
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
X	3	0,004874	0,001625	11,59	0,037
Y	3	0,003444	0,001148	8,19	0,059
Z	3	0,003215	0,001072	7,65	0,064
W	3	0,040845	0,013615	97,12	0,002
Error	3	0,000421	0,000140		
Total	15	0,052799			

ANOVA analizi sonuçlarına göre istatistiksel olarak anlam ifade eden yani 0,05 değerinden küçük p değerine sahip parametreler fonksiyon seti ve koloni büyüklüğüdür.

Tablo 3.12 ANOVA Model Özeti.

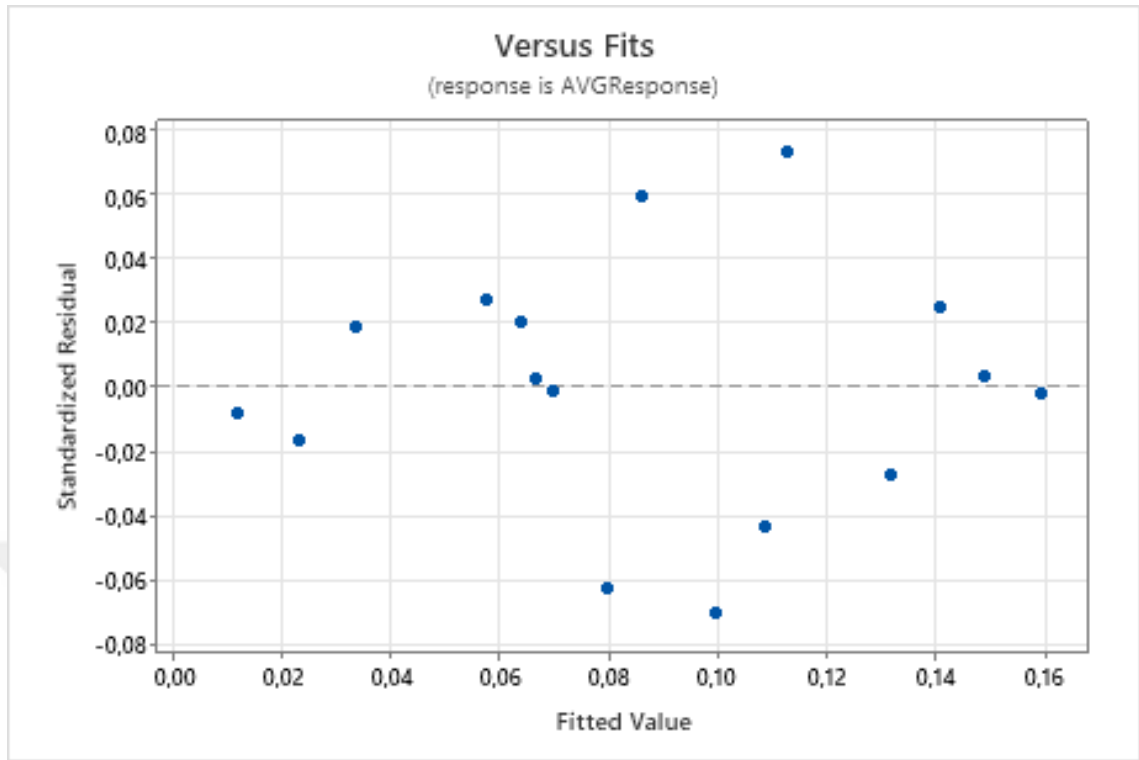
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0118398	99,20%	96,02%	77,34%

Bu sonuçlar, modelin mevcut veri setine oldukça yüksek bir uyum sağladığını (R-sq = %99,20) ve genel açıklayıcılığının da güçlü olduğunu (R-sq(adj) = %96,02) göstermektedir. Modelin yeni verilerdeki tahmin performansının da yüksek seviyede olacağı (R-sq(pred) = %77,34) öngörülmektedir ancak mevcut veriye uyumu kadar güçlü olmayabileceği anlaşılmaktadır. Sonuç olarak model özeti, modelin güvenilir bir tahmin performansına sahip olduğu ve veriyi açıklamada başarılı olduğunu göstermektedir.



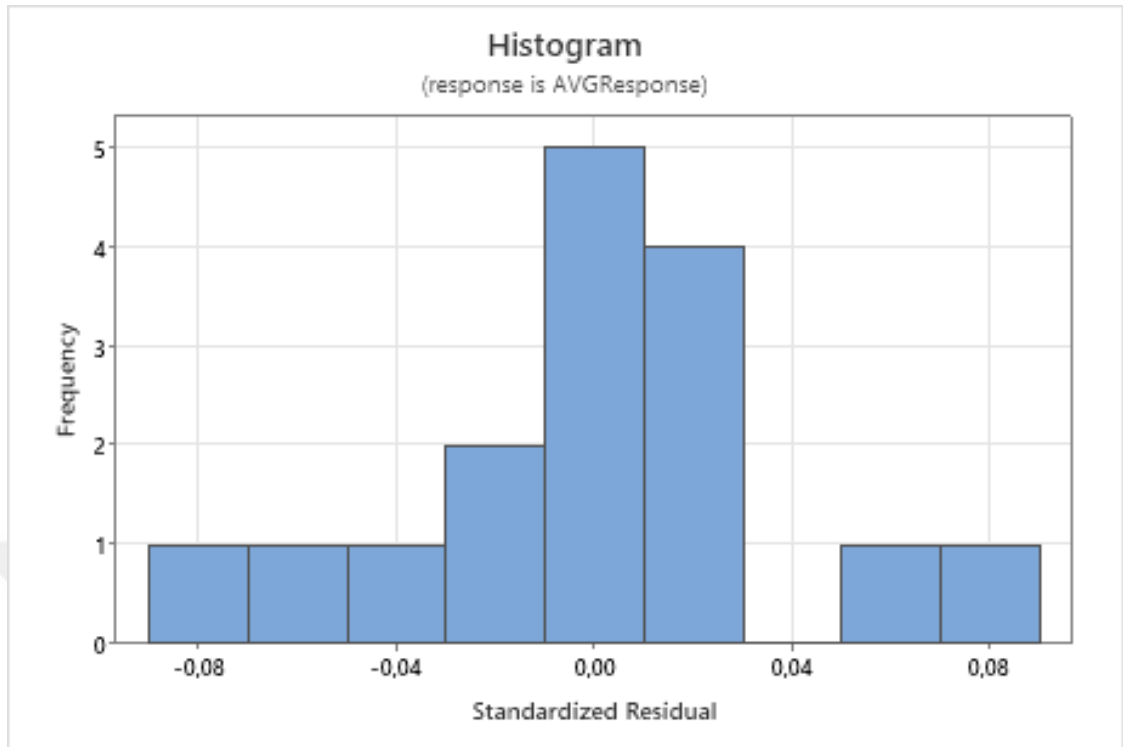
Şekil 3.7 Normal Olasılık Grafiği.

Bu grafikte, artıkların çoğunluğunun kırmızı referans çizgisine yakın bir şekilde dizildiği gözlemlenmektedir. Bu durum, artıkların normal dağılıma yaklaştığını ve modelin normallik varsayımını büyük ölçüde karşıladığını göstermektedir. Grafiğin uç noktalarında referans çizgisinden hafif sapmalar olduğu görülmektedir, bu sapmalar, özellikle veri setinin uç gözlemlerinde normalliğe aykırılıklar olabileceğine işaret edebilir, ancak genel model değerlendirmesinde ciddi bir sorun teşkil etmeyecektir.



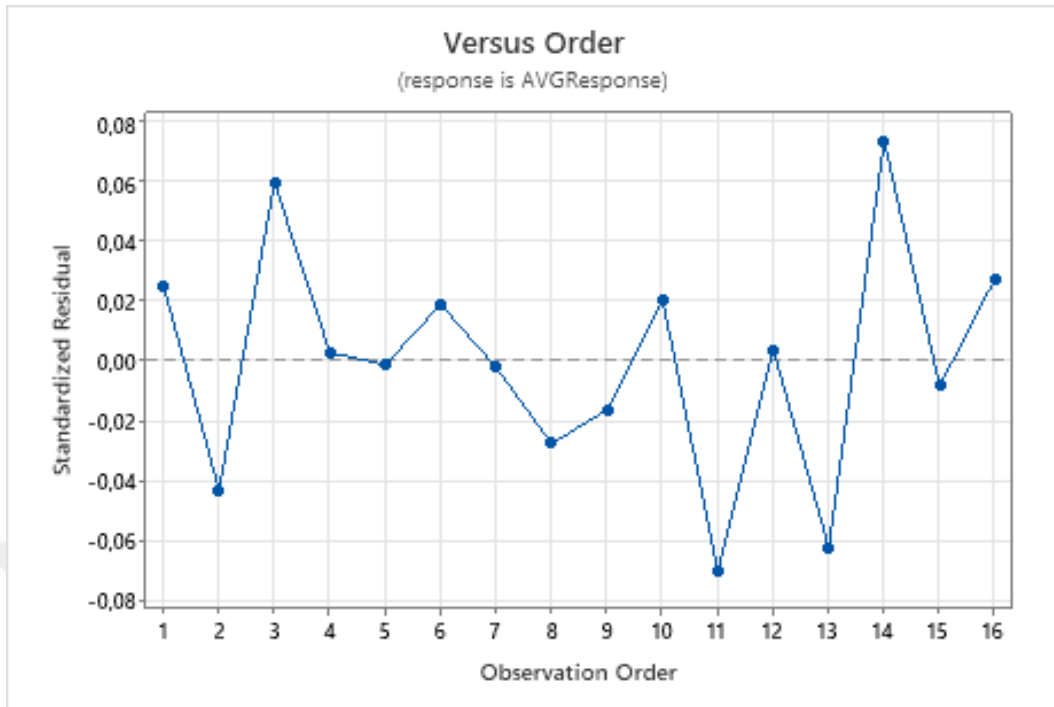
Şekil 3.8 Artıklar ve Tahmin Edilen Değerler Grafiği.

Bu grafikte rezidüellerin tahmin edilen değerlere göre rastgele dağılması ve belirgin bir desen olmaması, modelin varyansının sabit olduğunu ve doğruluğunun yüksek olduğunu desteklemektedir.



Şekil 3.9 Histogram Grafiği.

Deneyde bağımsız koşullarla çalışıldığı için artıkların ortalamalarının sıfır civarında olması ve normal bir dağılım göstermesi beklenir bu histogram grafiği incelendiğinde simetrik bir yapı olduğu ve artıkların 0 etrafında toplandığı görülüyor yani normal dağılım büyük ölçüde sağlanmakta ancak uç değerlerdeki düşük frekans küçük bir sapmayı gösterebilir.



Şekil 3.10 Gözlem Sırası ve Artıklar Grafiği.

Bu grafikte, artıklar gözlem sırasına göre rastgele dağıldığı ve belirgin bir artış, azalış veya döngüsel bir yapı olmadığı görülüyor. Bu da artıkların bağımsız olduğunu ve zamanla sistematik bir hatanın olmadığını göstermektedir.

En iyi parametre kombinasyonu (koloni büyüklüğü 1000, fonksiyon seti {sin, pow,+,*}, limit 50 ve maksimum derinlik 10) ile doğrulama deneyi yapılmış ve deney sonucunun tahmin edilen değeri %87,5 sağladığı görülmüştür.

$$Tahmin = \eta_{ort} + (\eta_{X4} - \eta_{ort}) + (\eta_{W4} - \eta_{ort})$$

Tablo 3.13 Doğrulama Deneyi.

Tahmin	Doğrulama Deney Sonucu
40,68	46,49

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1.Tartışma - Sonuç ve Öneriler

ABCP günümüzde birçok sembolik regresyon probleminin çözümünde kullanılan popüler bir meta-sezgisel algoritmadır. Kullanım alanının genişliği göz önünde bulundurulduğunda literatürde ABCP ile ilgili yeteri kadar araştırmanın yapılmadığı görülmüş ve bu tez kapsamında ABCP algoritmasının parametre optimizasyonuna yoğunlaşmıştır ve uygun (robust) parametre setinin belirlenmesi amaçlanmıştır ve bu amaç doğrultusunda Taguchi metodundan yararlanılarak belirlenen kontrol parametreleri analiz edilmiştir. Yapılan çalışmada iki farklı problem ailesi üzerinde kontrol parametrelerinin etkisi ölçülmüştür ve sonuçların SN oranı analizi ile optimum parametre seti oluşturulmaya çalışılmış ve algoritma başarısını en çok etkileyen parametre araştırılmıştır, sonrasında ANOVA analizi ile bu parametrelerinin istatistiksel anlamı ölçülmüştür ve model başarısı ile genellenebilirliği değerlendirilmiştir.

Yapılan ilk deney çalışmasında aritmetik ifadelerden oluşan polinomal bir problem üzerinde koloni büyüklüğü, limit ve maksimum ağaç derinliği parametreleri ele alınmıştır. Tablo 3.4'deki SN oranları incelendiğinde algoritma üzerinde en etkili parametrenin koloni büyüklüğü olduğu görülmüştür ancak ANOVA analizi sonucunda istatistiksel olarak anlamlı olan parametre belirlenememiştir (Tablo 3.5). Bu sebeple fonksiyon seti parametresinin de deneye eklendiği ikinci bir deney tasarımı yapılmasına karar verilmiştir.

Yapılan ikinci deney çalışmasında trigonometrik bir problem ele alınmış olup koloni büyüklüğü, limit ve maksimum ağaç derinliği parametrelerine ek olarak fonksiyon seti

parametresinin algoritma başarısı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ham uygunluk değeri ile elde edilen Tablo 3.10'daki algoritma sonuçlarının SN oranları analiz edildiğinde en etkili parametrenin fonksiyon seti olduğu, etkisi yüksek ikinci parametrenin de koloni büyüklüğü olduğu görülmüştür. İlk deneyde olduğu gibi burada da koloni büyüklüğünün etkisinin önemli olduğu görülmüştür. Tablo 3.11'deki ANOVA analizinde p değerleri incelendiğinde istatistiksel olarak fonksiyon seti ve koloni büyüklüğü parametrelerinin anlamlı olduğu görülmüştür. Tablo 3.11'deki ANOVA model analizi özeti modelin mevcut veri setine oldukça yüksek bir uyum sağladığını ve genel açıklayıcılığının da güçlü olduğunu göstermektedir. İkinci deney sonucunda gürültüden en az etkilenen parametre seti belirlenmiş olup bu parametre değerleri ile doğrulama deneyi yapılmış ve %87.5 oranında başarı sağlanmıştır (Tablo 3.13).

İstatistiksel olarak en anlamlı olan ve hassas ayarlanması gereken fonksiyon seti parametresinin problemde kullanılan aritmetik ve/veya trigonometrik ifadelerden oluşmasının algoritma başarısını arttırdığı görülmüştür. Koloni büyüklüğünün yüksek olmasının algoritma başarısını arttırdığı iki deneyde de görülmüştür ancak burada hesaplama maliyetinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında ABCP algoritmasının kontrol parametrelerinin optimizasyonu ve robust (gürbüz) parametre tasarımı için Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Sonraki çalışmalarda farklı analiz yöntemleri kullanılarak parametre analizi gerçekleştirilebilir. Kontrol parametrelerinden çıkıp algoritma içine gömülü stratejik parametrelerin ele alınması da literatüre önemli katkı sağlayacaktır bunun yanında farklı problem aileleri için parametre analizi yapılması da faydalı olacaktır.

KAYNAKÇA

- [1] Arora, J. S., 2011. Introduction to Optimum Design. Academic Press, 896 s.
- [2] Ekmekci, D. .,2020. Dinamik Parametre Değerli Yapay Arı Koloni Algoritması (DPD YAK). **Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi**, 407–415.
- [3] Islam, M., Kamaruddin, N., 2024. A thermo-mechanical analysis of polyurethane foam for biomimetic bone scaffolds and optimization of process parameters using Taguchi method. **Heliyon**, 10(17).
- [4] Özden, E., 2020. Elektrostatik Toz Boya Proses Parametrelerinin Deney Tasarım Yöntemi İle Optimizasyonu Ve Endüstriyel Uygulaması, Balıkesir Üniversitesi, Yüksek lisans Tezi, Balıkesir.
- [5] Taguchi, G., Konishi, S., 1987. Taguchi Methods: Orthogonal Arrays and Linear Graphs. American Supplier Institute, 72 s.
- [6] Antony, J., 2006. Taguchi or classical design of experiments: A perspective from a practitioner. **Sensor Review**, 26(3), 227–230.
- [7] Karaboğa, D. , 2010. Artificial bee colony algorithm. **Scholarpedia**, 5(3), 6915.
- [8] Ye, T., Liu, B., 2022. Uncertain hypothesis test with application to uncertain regression analysis. **Fuzzy Optimization and Decision Making**, 21(2), 157–174.
- [9] Bakır, M., Akan, Ş., Özdemir, E., Nguyen, P. H., Tsai, J. F., Pham, H. A., 2022. How to achieve passenger satisfaction in the airport? Findings from regression analysis and necessary condition analysis approaches through online airport reviews. **Sustainability**, 14(4), 2151.
- [10] Udrescu, S. M., Tegmark, M., 2020. AI Feynman: A physics-inspired method for symbolic regression. **Science Advances**, 6(16).

- [11] Boudouaoui Y., Habbi H., 2019. On the computational performance of artificial bee colony programming strategy. **Models & Optimisation and Mathematical Analysis Journal** 7(1)
- [12] Chaabene, W. B., Nehdi, M. L., 2021. Genetic programming-based symbolic regression for shear capacity prediction of SFRC beams. **Construction and Building Materials**, 280, 122523.
- [13] Arslan, S., 2019. Makine Öğrenmesi Uygulamalarında Yapay Arı Koloni Programlama Temelli Yeni Yöntemlerin Geliştirilmesi, Erciyes Üniversitesi, Doktora Tezi, Kayseri.
- [14] Abualigah, L., Diabat, A., 2020. A comprehensive survey of the Grasshopper Optimization Algorithm: Results, variants, and applications. **Neural Computing and Applications**, 32(19), 15533–15556.
- [15] Yang, B., Wang, J., Zhang, X., Yu, T., Yao, W., Shu, H., Sun, L., 2020. Comprehensive overview of meta-heuristic algorithm applications on PV cell parameter identification. **Energy Conversion and Management**, 208, 112595
- [16] Kıran, M. S., 2014. Optimizasyon Problemlerinin Çözümü İçin Yapay Arı Kolonisi Algoritması Tabanlı Yeni Yaklaşımlar, Selçuk Üniversitesi, Doktora Tezi, Konya.
- [17] Akay, R., & Baştürk, A., 2014. Parallel artificial bee colony algorithm for traveling salesman problem. *2014 IEEE 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, ss 2027-2030, 23-25 Nisan 2014, Trabzon, Türkiye.
- [18] Karaman, A., Karaboga, D., Pacal, I., 2023. Hyper-parameter optimization of deep learning architectures using Artificial Bee Colony (ABC) algorithm for high performance real-time automatic colorectal cancer (CRC) polyp detection. **Applied Intelligence**, 53: 15603–15620.
- [19] Ahmed, S., Hamdy, A., 2023. Artificial Bee Colony For Automated Black-Box Testing of RESTful API. *Intelligent Data Engineering and Analytics*, Proceedings of the 11th International Conference on Frontiers of Intelligent Computing: Theory and Applications (FICTA 2023), ss. 1-17, 11-12 Nisan 2023, Birleşik Krallık.

- [20] Crawford, B., Soto, R., 2014. Application of the artificial bee colony algorithm for solving the set covering problem. **The Scientific World Journal**, 2014, 189164.
- [21] Cortes, D., Arimatea, M., 2017. Artificial bee colony algorithm applied to multi-threshold segmentation. **In Intelligent systems reference library**, **129**, 193–214.
- [22] Kubicek, J., Penhaker, M., 2018. Biomedical Image Data Segmentation With Using Of Clustering Driven By Genetic Algorithms. **In New trends in intelligent software methodologies, tools and techniques**, **303**, 101–107.
- [23] Menon, N., Ramakrishnan, R., 2015. Brain tumor segmentation in MRI images using unsupervised artificial bee colony algorithm and FCM clustering. *2015 International Conference on Communications and Signal Processing (ICCCP)*, ss, 0006-0009, 2-4 Nisan 2015, Hindistan.
- [24] Baje, D., Zoric, B., 2019. An effective refined artificial bee colony algorithm for numerical optimisation. **Information Sciences**, **504**, 221–275.
- [25] Karaboğa, D., Akay, B., 2010. A modified artificial bee colony algorithm for real-parameter optimization. **Information Sciences**, **192**(1), 120–142.
- [26] Ting, T. O., Lee, C. P., Sat, P. S., 2011. An artificial bee colony algorithm with a modified choice function for the traveling salesman problem. **Journal of Information Science and Engineering**, **27**(6), 1933–1951.
- [27] Görkemli, B. (2022). Parameter optimization of quick artificial bee colony algorithm for dynamic deployment problem of wireless sensor networks using Taguchi method. **BAUN Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, **24**(2), 567–580.
- [28] Tasirin, S. M., Kamarudin, S. K., 2007. Optimization of drying parameters of bird's eye chilli in a fluidized bed dryer. **Journal of Food Engineering**, **80**(2), 695–700.
- [29] Kumar, V., Sharma, H. K., Kaushal, P., Singh, K., 2015. Optimization of taro–wheat composite flour cake using Taguchi technique. **Journal of Food Measurement and Characterization**, **9**(1), 35–51.

- [30] Baynal, K., Gencel, İ., 2015. Taguchi yönteminin gıda sektöründe çok yanıtlı problemin eniyilemesinde uygulanması. **Sakarya University Journal of Science**, **19**(1), 107–121.
- [31] Dooyum, U., Woo, S., Hong, D., Ha, Y., 2016. Optimization of parboiling conditions for enhanced Japonica rice milling. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, **28**(11), 764–771.
- [32] Morakinyo, T. A., Bamgboye, A. I., 2016. Performance Characterization And Optimization Of A Synchronized Medium-Scale Oil Palm Fruit Processing Mill. **Journal Of Food Process Engineering**, **40**(5), E12523.
- [33] Kırmacı, V., Gülsevinçler, E., Kaya, H., 2017. Farklı kalınlıklardaki elmaların dondurarak kurutma davranışlarının Taguchi metodu kullanılarak belirlenmesi. **Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi**, **6**(2), 529–540.
- [34] Türkan, B., Etemoğlu, A., 2020. Taguchi metodu kullanılarak gıda kurutulmasına etki eden parametrelerin optimizasyonu. **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, **26**(4), 654–665.
- [35] Singh, A., Kumar, P., 2019. Storage stability determination of calorie deficit gluten-free biscuit: Taguchi concern. **Journal of Food Processing and Preservation**, **43**(5), e13927.
- [36] Mayasti, N., Ushada, M., Ainuri, M., 2019. Optimization of gluten-free spaghetti products from local food with the Taguchi method approach. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **251**(1), 012031.
- [37] Durmaz, U., Ozel, M. B., 2019. An experimental study on extraction of sugar from carob using Taguchi method. **Sakarya University Journal of Science**, **23**(5), 916–923.
- [38] Sadr, S., Mozafari, V., Alaei, H., Pour, A., Behjat, A., 2019. Control of pistachio endocarp lesion by optimizing the concentration of some nutrients using Taguchi method. **Scientia Horticulturae**, **256**, 108575.

- [39] Gökler, S., 2024. Prediction of COVID-19 confirmed cases and deaths using hybrid support vector machine-Taguchi method. **Computers & Industrial Engineering**, 191, 110103.
- [40] Salea, R., Widjojokusumo, E., Hartanti, A. W., Tjandrawinata, R. R., 2013. Supercritical fluid carbon dioxide extraction of *Nigella sativa* (Black Cumin) seeds using Taguchi method and full factorial design. **Biochemical Compounds**.
- [41] Tunçel, O., Bayraklılar, M., 2024. FDM kullanılarak üretilen PLA numunelerinin basma mukavemetini optimize etmek için Taguchi yöntemi uygulaması. **KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 27(1).
- [42] Chen, H., Chung, C., Wang, H., Huang, T., 2011. Application of Taguchi method to optimize extracted ginger oil in different drying conditions. *2011 International Conference on Food Engineering and Biotechnology, IPCBEE*, 9.
- [43] Liu, W., Fu, Y., Zu, Y., 2009. Supercritical carbon dioxide extraction of seed oil from *Opuntia dillenii* Haw and its antioxidant activity. **Food Chemistry**, 114(2), 334–339.
- [44] Wenqiang, G., Shuufen, L., 2006. Comparison of essential oils of clove buds extracted with supercritical carbon dioxide and other three traditional extraction methods. **Food Chemistry**, 101(4), 1558–1564.
- [45] Bagheri, H., Yamini, Y., Safari, M., Asiabi, H., Karimi, M., Heydari, A., 2016. Simultaneous determination of pyrethroids residues in fruit and vegetable samples via supercritical fluid extraction coupled with magnetic solid phase extraction followed by HPLC-UV. **The Journal of Supercritical Fluids**, 107, 571-580.
- [46] Ayazi, Z., Shekari Esfahlan, F., Monsef, Z., 2018. ZnO nanoparticles doped polyamide nanocomposite coated on cellulose paper as a novel sorbent for ultrasound-assisted thin film microextraction of organophosphorous pesticides in aqueous samples. **Analytical Methods**, 10(25).
- [47] Rasoulifard, M., Akrami, M., Eskandarian, M. R., 2015. Degradation of organophosphorus pesticide diazinon using activated persulfate: Optimization of

operational parameters and comparative study by Taguchi's method. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, 57.

[48] Çetin, T., Ilgın, M. A., Yurdusev, M. A., 2024. Selection of genetic algorithm parameters for optimization of storm-sewer networks using Taguchi method. **Karaelmas Fen Ve Mühendislik Dergisi**, 14(1), 1-10.

[49] Karaboğa, D., Öztürk, C., Karaboğa, N., Görkemli, B., 2012. Artificial bee colony programming for symbolic regression. **Information Sciences**, 209, 1–15.

[50] Golafshani, E. M., Ashour, A., 2016. Prediction of self-compacting concrete elastic modulus using two symbolic regression techniques. **Automation in Construction**, 64, 7–19.

[51] Boudouaoui, Y., Habbi, H., 2018. Scaled artificial bee colony programming. *2018 International Conference on Applied Smart Systems (ICASS'2018)*, 24–25, Medea, Algeria.

[52] Bouderdara, F., Görkemli, B., 2018. Application of artificial bee colony programming to two trails of the artificial ant problem. *2018 2nd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)*, Ankara, Turkey.

[53] Bozoğullarından, E., Bozoğullarından, C., Öztürk, C., 2020. Transfer learning in artificial bee colony programming. *2020 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU)*, Istanbul, Turkey.

[54] Arslan, S., Öztürk, C., 2019. Artificial bee colony programming descriptor for multi-class texture classification. **Applied Sciences**, 9(9), 1930.

[55] Arslan, S., Öztürk, C., 2019. Feature selection for classification with artificial bee colony programming. **In Swarm Intelligence - Recent Advances, New Perspectives and Applications**.

[56] Arslan, S., Öztürk, C., 2019. Multi hive artificial bee colony programming for high dimensional symbolic regression with feature selection. **Applied Soft Computing Journal**, 78, 515–527.

- [57] Hara, A., Kushida, J., 2018. Artificial bee colony programming using semantic control crossover. *2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, Miyazaki, Japan.
- [58] Boudouaoui, Y., Habbi, H., Öztürk, C., Karaboğa, D., 2020. Solving differential equations with artificial bee colony programming. **Soft Computing**, **24**(24), 17991–18007.
- [59] Görkemli, B., Karaboğa, D., 2019. A quick semantic artificial bee colony programming (qsABCP) for symbolic regression. **Information Sciences**, **502**, 346–362.
- [60] Görkemli, B., Çitakoğlu, H., Haktanır, T., Karaboğa, D., 2022. A new method based on artificial bee colony programming for the regional standardized intensity–duration–frequency relationship. **Arabian Journal of Geosciences**, **15**(272).
- [61] Karaboga, D., Basturk, B., 2007. A Powerful And Efficient Algorithm For Numerical Function Optimization: Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm. **Journal Of Global Optimization**, **39**(3), 459-471.
- [62] Karaboga, D., Akay, B., 2009. A comparative study of artificial bee colony algorithm. **Applied Mathematics and Computation**, **214**(1), 108–132.
- [63] Ghambari, S., Rahati, A., 2018. An improved artificial bee colony algorithm and its application to reliability optimization problems. **Applied Soft Computing**, **62**, 736–767.
- [64] Koza, J. R., 1992. Genetic Programming: On The Programming Of Computers By Means Of Natural Selection. MIT Press. Cambridge, MA, USA.
- [65] Durmaz, S., 2008. Taguchi Metodunun Kauçuğun Vulkanizasyonu Prosesine Uygulanması. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
- [66] Antony, J., 2003. Design Of Experiments For Engineers And Scientists. Elsevier Science & Technology Books. ISBN: 0750647094.
- [67] Aytekin, A. G., 2011. Robotik gazaltı köşe kaynak işleminin Taguchi yöntemi ile en iyilenmesi. **Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi**, **9**(1), 7–28.

- [68] Topçu, R. M., 2018. Uygulamalı Bir Laboratuvar Çalışması Üzerinden Yates Ve Taguchi Deney Tasarımlarının Karşılaştırılması. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.
- [69] Kandemir, Y., 2018. Kompozit Malzemelerin Enerji Sönümleme Performansına Numune Ve Tetikleyici Geometrik Değişkenlerin Etkisinin Taguchi Metodu İle İncelenmesi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.
- [70] Kağnıcıoğlu, C. H., 1998. Üretim Öncesi Kalite Kontrolunda Taguchi Yöntemi Ve Kükürtdioksit Giderici Sitrat Yöntemine Uygulanması. Anadolu Üniversite, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, Eskişehir, 198 s.
- [71] Şanyılmaz, M., 2006. Deney Tasarımı Ve Kalite Geliştirme Faaliyetlerinde Taguchi Yöntemi İle Bir Uygulama. Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar, 109 s.
- [72] Taylan, D., 2009. Taguchi Deney Tasarımı Uygulaması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Isparta.
- [73] Kacker, R., Lagergren, E., 1991. Taguchi's orthogonal arrays are classical designs of experiments. **Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology**, **96**(5), 577–591.
- [74] Mercan, Ş., 2019. Deney Tasarımı ve Yapay Zeka Tekniklerinden Yararlanarak Ürün Kalitesinin Geliştirilmesi. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir.
- [75] Çangal, Ç., 2019. Farklı Yakıt Karışımları Ve Emisyon Azaltma Teknikleri Uygulanan Bir Dizel Motorda Optimum Parametrelerin Taguchi Yöntemi İle Belirlenmesi. Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
- [76] Kamber, Ö. Ş., 2008. Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Basınç ve Sıcaklık Parametrelerinin Ürün Kalitesine Etkileri ve Taguchi Yöntemi İle Optimizasyonu. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.

[77] Gencel, İ., 2007. Çok Yanıtlı Problemlerin Optimizasyonunda Taguchi Yönteminin Kullanılması ve Alkollü İçkiler Sektöründe Bir Uygulama. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı:

Uyruğu:

Doğum Tarihi ve Yeri:

Medeni Durum:

e-mail:

Yazışma Adresi:

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	İnönü Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği	2016
Lise	Malatya Kız Teknik Anadolu Lisesi	2012

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2023-Halen	Prodigi Solutions Yazılım A.Ş.	İş Zekası Danışmanı
2019-2023	Erciyes Anadolu Holding	İş Zekası Uzmanı
2016-2019	Ninova Yazılım	Full Stack Developer

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

- Lisan B., Görkemli B., Parameter Optimization of the Artificial Bee Colony Programming Method for the Symbolic Regression Problem Using the Taguchi Method (Abstract), ICCESN 2024: International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering, 2024, Antalya, Turkey.