T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AKTİF TENDONLU YAPI MODELİ İÇİN KONTROLÖR PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

Mert Yahya YILMAZ

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Hasan TİRYAKİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı

Haziran, 2022

TEZ KABUL VE ONAYI

Mert Yahya YILMAZ tarafından, **Dr. Öğr. Üyesi Hasan TİRYAKİ** danışmanlığında hazırlanan **" Aktif Tendonlu Yapı Modeli İçin Kontrolör Parametrelerinin Optimizasyonu "** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **27/06/2022** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

		İmza	**Sonuç**
DANIŞMAN	Dr. Öğr. Üyesi Hasan TİRYAKİ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Kontrol ve Kumanda Sistemleri Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Dr. Öğr. Üyesi Rana ORTAÇ KABAOĞLU İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Kontrol ve Kumanda Sistemleri Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Dr. Öğr. Üyesi Serdar ULUSOY Türk-Alman Üniversitesi Yapı Mühendisliği Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve bilimsel etik kuralları içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını ve her türlü hukuki sorumluluğu aldığımı kabul ederim.

Mert Yahya YILMAZ

(İmza)

Aileme ithaf ediyorum…

BÜTÇE DESTEKLERİ

Aktif Tendonlu Yapı Modeli İçin Kontrolör Parametrelerinin Optimizasyonu

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında maddi ve manevi desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Hasan TİRYAKİ' ye, bilgi ve tecrübeleriyle tezim konusunda bana yardımcı olan tez izleme komitesindeki değerli hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Rana ORTAÇ KABAOĞLU, Dr. Öğr. Üyesi Serdar ULUSOY 'a ve üniversite hayatım boyunca sürekli destekleri ile yanımda olan Arş. Görevlisi arkadaşım Sedat İN'e en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Tüm öğrenimim boyunca beni sabırla destekleyen değerli YILMAZ ailesinin tüm üyelerine teşekkürü borç bilirim.

Haziran 2022 Mert Yahya YILMAZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI ..... **ii**
BEYAN ..... **iii**
BÜTÇE DESTEKLERİ ..... **v**
TEŞEKKÜR ..... **vi**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **ix**
TABLO LİSTESİ ..... **xii**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xiii**
ÖZET ..... **xv**
ABSTRACT ..... **xvii**
1. GİRİŞ **19**
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE **21**
2.1. AKTİF TENDONLU KONTROL SİSTEMLERİ 21
2.2. AKTİF KONTROL YÖNTEMLERİ 22
2.2.1. PID Kontrolcü 22
2.3. META SEZGİSEL ALGORİTMALAR 23
2.3.1. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu 23
2.3.2. Yapay Arı Kolonisi Optimizasyonu 27
2.3.3. Gri Kurt Optimizasyon Algoritması- Parçacık Sürüsü Optimizasyonu Algoritması 30
2.3.4. Balina Optimizasyon Algoritması 33
2.3.5. Sinüs Kosinüs Algoritması 37
2.4. YAPAY ZEKÂ YÖNTEMLERİ 40
2.4.1. MultiLayer Perceptron Yöntemi 40
2.4.2. Bagging Yöntemi 44
2.4.3. IBk Yöntemi 45
2.4.4. Kstar Yöntemi 46
2.4.5. Additive Regression Yöntemi 46

2.4.6. Regression By Discretization Yöntemi 46
2.4.7. Random Forest (Rastgele Orman) Yöntemi 46
2.4.8. Random Tree (Rastgele Ağaç) Yöntemi 48
3. YÖNTEM 49
3.1. TEK SERBEST DERECELİ AKTİF TENDONLU YAPI MODELİ 50
3.2. ANALİZ METODU 51
4. BULGULAR 55
4.1. Yapay Zekâ Yöntem Parametreleri 58
4.1.1. Ortalama Mutlak Hata (MAE) 60
4.1.2. Kök Ortalama Kare Hata (RMSE) 60
4.1.3. Bağıl Mutlak Hata (RAE) 60
4.1.4. Kök Bağıl Kare Hatası (RRSE) 60
5. TARTIŞMA 61
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 76
KAYNAKLAR 78
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI 82
ETİK KURUL İZİN YAZISI 83
KURUM İZNİ YAZILARI 84
ÖZGEÇMİŞ 85

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Aktif tendon modeli [8]. 22

Şekil 2.2: Kuş sürüsü [11]. 24

Şekil 2.3: PSO algoritması akış diyagramı [16]. 26

Şekil 2.4: Arı koloni görseli [18]. 27

Şekil 2.5 ABC algoritması akış diyagramı [17]. 29

Şekil 2.6: Gri kurt sürüsü [24]. 30

Şekil 2.7: GWO algoritması akış diyagramı [25]. 32

Şekil 2.8: Kambur balina [27]. 33

Şekil 2.9: Arama uzayında balina hareketine A'nın etkisinin temsili gösterimi [26]. 34

Şekil 2.10: 2 boyutlu arama uzayında balina hareketine l'nın etkisi [20]. 34

Şekil 2.11: WOA akış diyagramı [20]. 36

Şekil 2.12: $\boldsymbol{r1}$ değerinin $Xt + 1i$ konumuna etkisi [30]. 37

Şekil 2.13: 2 genlikli sinüs-kosinüs fonksiyonları [30]. 38

Şekil 2.14: $\boldsymbol{r1}$ değerinin $Xt + 1i$konumuna etkisi [29]. 38

Şekil 2.15: SCA simülasyonu sırasında fonksiyon dağılım aralığının zamana (yaklaşım sayısına) bağlı dağılımı (a= 2) [31]. 38

Şekil 2.16: SCA akış diyagramı [30]. 39

Şekil 2.17: Multilayer Perceptron giriş-çıkışları. 41

Şekil 2.18: Sigmoid fonksiyonu [34]. 42

Şekil 2.19: MultiLayer Perceptron akış diyagramı [34]. 43

Şekil 2.20: Bagging akış diyagramı [35]. 44

Şekil 2.21: IBk akış diyagramı [37]. 45

Şekil 2.22: Random Forest akış diyagramı [43]. 48

Şekil 2.23: Random Tree akış diyagramı [44]. 49

Şekil 3.1: Yapı modelinin kontrolü (tek serbest dereceli aktif tendonlu) [8]. 50

Şekil 3.2: Kontrolcüye sahip yapı modeli (meta sezgisel ve yapay zekâ yöntemlerinden elde edilen parametrelerin yorumlanmasında kullanılan). 51

Şekil 3.3: Kontrolcü kullanılmayan tek serbest dereceli sistem blok diyagramı. 52

Şekil 3.4: Modele uygulanan deprem etkisi. 54

Şekil 4.1: Kp şeması. 55

Şekil 4.2: Ki şeması. 56

Şekil 4.3: Kd şeması. 57

Şekil 5.1: Kontrollü (PSO-PID) ve kontrolsüz modellerde oluşan yer değiştirme grafiği. 63

Şekil 5.2: Kontrollü (ABC-PID) ve kontrolsüz modellerde oluşan yer değiştirme grafiği. 64

Şekil 5.3: Kontrollü (GWO-PSO-PID) ve kontrolsüz modellerde oluşan yer değiştirme grafiği. 65

Şekil 5.4: Kontrollü (WOA-PID) ve kontrolsüz modellerde oluşan yer değiştirme grafiği. 66

Şekil 5.5: Kontrollü (SCA-PID) ve kontrolsüz modellerde oluşan yer değiştirme grafiği. 67

Şekil 5.6: Multilayer Perceptron kullanılarak elde edilen parametrelerin uygulandığı kontrolcünün ve standart kontrolcünün uygulandığı yapıda meydana gelen yer değiştirme grafiği. 68

Şekil 5.7: Bagging kullanılarak elde edilen parametrelerin uygulandığı kontrolcünün ve standart kontrolcünün uygulandığı yapıda meydana gelen yer değiştirme grafiği. 69

Şekil 5.8: IBK kullanılarak elde edilen parametrelerin uygulandığı kontrolcünün ve standart kontrolcünün uygulandığı yapıda meydana gelen yer değiştirme grafiği. 70

Şekil 5.9: KStar kullanılarak elde edilen parametrelerin uygulandığı kontrolcünün ve standart kontrolcünün uygulandığı yapıda meydana gelen yer değiştirme grafiği. 71

Şekil 5.10: Additive Regression kullanılarak elde edilen parametrelerin uygulandığı kontrolcünün ve standart kontrolcünün uygulandığı yapıda meydana gelen yer değiştirme grafiği. 72

Şekil 5.11: Regression By Discretization kullanılarak elde edilen parametrelerin uygulandığı kontrolcünün ve standart kontrolcünün uygulandığı yapıda meydana gelen yer değiştirme grafiği. 73

Şekil 5.12: Random Forest kullanılarak elde edilen parametrelerin uygulandığı kontrolcünün ve standart kontrolcünün uygulandığı yapıda meydana gelen yer değiştirme grafiği. 74

Şekil 5.13: Random Tree kullanılarak elde edilen parametrelerin uygulandığı kontrolcünün ve standart kontrolcünün uygulandığı yapıda meydana gelen yer değiştirme grafiği. 75

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: XOR problemi giriş çıkış değerleri. 41

Tablo 2.2: Multilayer Perceptron terim açıklaması. 42

Tablo 3.1: Yapı modeline (tek serbest dereceye sahip) ait matematiksel veriler. 50

Tablo 3.2: Blok diyagram ve görevleri. 53

Tablo 3.3(devam): Blok diyagram ve görevleri. 54

Tablo 4.1: Kp verileri. 58

Tablo 4.2: Ki verileri. 59

Tablo 4.3: Kd verileri. 59

Tablo 4.4 (devam): Kd verileri. 60

Tablo 5.1: Meta sezgisel algoritmalar ve yapay zekâ yöntemlerinden elde edilen parametreler. 61

Tablo 5.2 (devam) : Meta sezgisel algoritmalar ve yapay zekâ yöntemlerinden elde edilen parametreler. 62

Tablo 6.1: Yöntemlerin karşılaştırılması. 76

Tablo 6.2 (devam): Yöntemlerin karşılaştırılması. 77

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
a1	: İvme
c1	: Yapının sönüm katsayısı
$\boldsymbol{D}$	: İki ajanın birbirine olan uzaklığı
e(t)	: t anındaki hata
$\boldsymbol{Fij}$	: j. en iyi atomun i. atom üzerine kuvveti
$\boldsymbol{fiti}$	: i numaralı besinin uygunluk (fitness) değerini
Fitbest	: Eldeki konumlardan en iyi minimum uygunluk değeri
Fitworst	: Eldeki konumlardan en kötü maksimum uygunluk değeri
Gi	: Kısıtlayıcı kovalent bağ kuvvetinin
$\boldsymbol{hij(t)}$	: Konum ve özelliğe bağlı bulunan değişken
kc	: Tendonların rijitlik katsayısı
$\boldsymbol{K_d}$	: Türev Kazanç Katsayısı
$\boldsymbol{K_i}$	: İntegral Kazanç Katsayısı
$\boldsymbol{K_p}$	: Oransal Kazanç Katsayısı
k1	: Yapının rijitlik katsayısı
L	: Limit değer
m1	: Kütle
PD	: Orantı türev
$\boldsymbol{pi}$	: i numaralı besinin olasılık değeri
PI	: Orantı integral
PID	**:** Orantı integral türev
$\boldsymbol{P_t}$	: Hedef konumu
$\boldsymbol{ub}$	: Arama uzayının üst sınırı
u(t)	: Kontrol sinyali
v1	: Hız
$\boldsymbol{v_0^i}$	: Her bir parçacığın başlangıç hızı
$\boldsymbol{v_t^i}$	: i numaralı arama yapan ajanın t iterasyonundaki hızı
$\boldsymbol{v_{t+1}^i}$	: i numaralı arama yapan ajanın t+1 iterasyonundaki hızı

x1 : Yer değiştirme

X_0^i : Her bir parçacığın başlangıç konumu

$X_t^{i,pbest}$: Her bireye özel bir değişken

X_t^{gbest} : Global değişken

$X1(lider)$: Liderin yeni konumu

X_{min} : Arama uzayının alt sınırını

X_{max} : Arama uzayının üst sınırını

X_t^k : Besin kaynaklarından rastgele birinin konumu

X_t^i : i numaralı arama yapan ajanın t iterasyonundaki konumu

X_{t+1}^i : i numaralı arama yapan ajanın t+1 iterasyonundaki konumu

α : Alfa lider kurt

β : Beta ikinci seviyedeki kurtlar

δ : Delta üçüncü güçlü yapıdaki kurtlar

ω : Omega sürünün en alt tabaka kurtları

λ : Kesir dereceli PID kontrolör transfer fonksiyonunda integralin kuvvet sayısı

μ : Kesir dereceli PID kontrolör transfer fonksiyonunda türevin kuvvet sayısı

$\emptyset_i$: [0,1] aralığında değişen rastgele çarpanları

Kısaltmalar **Açıklama**

PID : Proportional Integral Derivative

WOA : Whale Optimization Algorithm

MFO : Moth-flame Optimization

ASO : Atom Search Optimization

GWO : Grey Wolf Optimization

PSO : Parçacık Sürü Optimizasyonu

ABC : Artificial Bee Colony

SCA : Sine Cosine Algorithm

MAE : Mean Absolute Error

RMSE : Root Mean Square Error

RAE : Relative Absolute Error

RRSE : Root Relative Squared Error

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aktif Tendonlu Yapı Modeli İçin Kontrolör Parametrelerinin Optimizasyonu

Mert Yahya YILMAZ

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hasan TİRYAKİ

Dünya nüfusunun kontrol edilemeyen artışı sonucunda yapılaşmalarda büyük problemler yaşanmıştır. Yaşanılan bu problemlerin çözülmesi için farklı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Gelişen teknolojinin yardımıyla birlikte yapı mühendisliği alanındaki çalışmaların insanlığa önemli katkıları olmuştur. Yapıları kontrol edebilmek için farklı kontrol sistemleri geliştirilmiştir. Geliştirilen bu sistemlerin en önemlilerinden biri olan aktif tendonlu kontrol sistemleri bu tez çalışmasında incelenmiştir.

Yapıdaki yer değişimi minimuma indirmeyi hedefleyen bu çalışmada kontrol sisteminin parametreleri meta sezgisel algoritmalar ve yapay zekâ yöntemleri kullanılarak optimum PID parametreleri tespit edilmiştir. Tespit edilen bu parametreler yapı modeline simülasyon üzerinde uygulanılarak yapıda meydana gelen yer değiştirme incelenmiştir.

PID parametrelerinin belirlenmesinde 5 farklı meta sezgisel algoritma ve 8 farklı yapay zekâ yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan bu 13 yöntem birçok mühendislik alanında aktif olarak kullanılmaktadır. Doğruluğu birçok kez yapılan çalışmalarla ispatlanmış çalışmalardır. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu algoritması kuş sürülerinden esinlenilerek oluşturulmuştur. Sürü içerisindeki kuşların davranışları baz alınmıştır. Yapay Arı Kolonisi Optimizasyon

algoritması arıların koloni şeklinde yemek arama hareketleri baz alınarak oluşturulmuştur. Gri Kurt Optimizasyon algoritması kurt sürülerinin avlanma hareketleri baz alınarak oluşturulmuştur. Balina Optimizasyon algoritması kambur balinaların avlanma davranışları incelenerek oluşturulmuştur. Sinüs Kosinüs Optimizasyon algoritması ise kosinüs ve sinüs fonksiyonlarının yapmış olduğu salınım hareketi temel alınarak oluşturulmuştur. Anlatılan bu 5 farklı algoritmadan PID parametreleri elde edilmiştir.

PID parametrelerinin belirlenmesi sırasında yapay zeka yöntemleri (Multi Layer Perceptron, Bagging, IBk, KStar, Additive Regression, Regression By Discretization, Random Forest, Random Tree) de kullanılarak onlardan elde edilen parametrelerde simülasyon üzerinde uygulanarak yapıda meydana gelen yer değişme incelenmiştir.

Parametreler ile yapılan kıyaslama sonucunda sistem için en uygun Random Tree olduğu belirlenmiştir. Random Tree bulunan Kp, Ki, Kd değerleri simülasyon üzerinde kullanılmakta olan kontrolcüye uygulandığında yapıda meydana gelen yer değiştirmenin minimum değerde olduğu görülmüştür.

Haziran 2022 , 86 sayfa.

Anahtar kelimeler: Aktif Tendon, Meta Sezgisel Algoritma, Yapay Zekâ, PID Parametreleri

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

Optimization of Controller Parameters for Active Tendon Structure Model

Mert Yahya YILMAZ

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Electrical and Electronics Engineering

Electrical and Electronics Engineering

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Hasan TİRYAKİ

Co-Supervisor: Academic Title Name SURNAME

As a result of the uncontrollable increase in the world population, great problems have been experienced in the constructions. Different studies have been carried out to solve these problems. With the help of developing technology, studies in the field of structural engineering have made significant contributions to humanity. Different control systems have been developed to control the structures.

Active tendon control systems, one of the most important of these developed systems, were examined in this thesis. In this study, which aims to minimize the displacement in the structure, the parameters of the control system are determined by using metaheuristic algorithms and optimum PID parameters. These determined parameters were applied to the building model on the simulation and the displacement in the building was examined.

5 different metaheuristic algorithms were used to determine the PID parameters. These 5 algorithms are actively used in many engineering fields. They are studies that have been proven to be correct by many studies. During the determination of PID parameters, artificial

intelligence methods (MultiLayer Perceptron, Bagging, IBk, KStar, Additive Regression, Regression By Discretization, Random Forest, Random Tree) were also used and the displacement in the structure was examined by applying the parameters obtained from them on simulation.

As a result of the comparison with the parameters, it was determined that the most suitable metaheuristic algorithm for the system was the Random Tree. When the Kp, Ki, Kd parameters obtained from the Random Tree are applied to the controller used on the simulation, it has been observed that the displacement in the structure is at a minimum value.

June 2022, 86 pages.

Keywords: Active Tendon, Metaheuristic Algorithms, Artificial Intelligence, PID Parameters

1. GİRİŞ

Doğal afetler binlerce yıldır canlıların hayatında birçok kez olumsuz etkilere neden olmuştur. Bu doğal afetler sırasında binlerce insan zarar görmüş veya hayatını kaybetmiştir. İnsanların doğal afetlerde aldığı önlemlerde zaman geçtikçe ilerlemiş ve kayıplar minimuma düşürülmüştür. Depremlerde insanların önlem almakta zorlandığı en büyük doğal afetlerden biridir. Fakat yaşanan teknolojik ilerlemelerinde yardımıyla depremlerde meydana gelen kayıplarda son yüzyılda büyük azalma yaşanmıştır. Yapı mühendisliği konusunda meydana gelen gelişmeler bu azalmanın yaşanmasında başrolü oynamıştır. Nüfusun kontrol edilemeyen artışıyla birlikte yüksek katlı yapıların sayısı logaritmik bir artış göstermiştir. Bu yapıların kontrolünün sağlanması için aktif kontrol sistemleri üretilmiştir. Üretilen bu sistemlerin en önemli üyelerinden birisi de aktif tendonlardır.

Niğdeli ve Boduroğlu'nun [1] gerçekleştirdikleri çalışmada aktif tendon yerleşiminin ve tercih edilen kontrolcü parametrelerinin deprem etkisi üzerinde büyük öneme sahip olduğunu söylemişlerdir.

2016 yılında yapılan çalışmada farklı bir bulanık kontrolcü kütle sönümleyiciye sahip bir yapıda denenmiştir. Zaman ve frekans yönlerinden analiz edilen yapının deneysel ve simülasyon sonuçlarının bağlantılı olduğu ve tepkinin büyük oranda düştüğü gözlemlenmiştir [2].

Kayabekir ve diğ. [3] aktif kütle sönümleyicilerin kütle sönümleyici etkileri ve sistemdeki PID kontrolcü parametrelerinin iyileştirilmesinde armoni araştırma algoritması kullanılarak oluşturulmuştur. Elde edilen verilerin zaman gecikmesi yaşanırsa oluşacak hassasiyet incelenmiştir [4].

Batı ve Beyen [5] 2020 yılında gerçekleştirilen çalışmada 8 katlı yapı modellenerek pasif değiştirilebilen kütle ve aktif değiştirilebilen kütle sistemleri ile kontrolcünün neden olduğu değişimler incelenmiştir. MATLAB üzerinde yapılan simülasyon çalışmalarda aktif ayarlı kütle sistemlerinin pasif ayarlı kütle sistemlerine göre daha etkinli olduğu anlaşılmıştır.

Şahin ve diğ. [6] yaptıkları çalışmada DC motorun hızının ayarlanabilmesi için meta sezgisel algoritma temelli PID denetleyici oluşturulmuştur. WOA, MFO, ASO ve GWO algoritmaları kullanılarak farklı Kp, Ki, Kd parametreleri belirlenmiştir. Analiz çalışmalarını gerçekleştirmek

için MATLAB programı kullanılmıştır. WOA tabanlı PID denetleyicinin daha iyi sonuç verdiği anlaşılmıştır.

Metsebo ve diğ. [7] yaptıkları çalışmada rüzgâr ve depremin yapı üzerinde etkileri incelenmiştir. Yapı modellenerek deprem ve rüzgâr sonucu meydana gelen yer değiştirmeyi minimuma indirmek amacıyla yapılmıştır. Yapılan analiz çalışmalar sonucunda kontrol cihazları salınımın kabul edilebilir düzeylerde kalmasını sağladığı görülmüştür.

Bu incelemede yapı modeli baz alınarak incelemeler yapılmıştır. Yapı modeli tek serbest ddereceli aktif tendonlu olarak belirlenmiştir. Aktif tendonun kontrolü için oluşturulan sistemde PID kontrolcü kullanılmaktadır. Bu kontrolcünün parametrelerinin en iyi şekilde belirlenebilmesi amacıyla birçok yöntem kullanılmıştır.

Sistemde kullanılacak PID kontrolcünün parametrelerini belirlemek için 5 farklı meta sezgisel algoritma ve 8 farklı yapay zekâ yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemler üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda her bir yöntem için farklı Kp, Ki, Kd parametreleri belirlenmiştir. Oluşturulan yapı modeli üzerindeki PID kontrolcüye bulunan Kp, Ki, Kd parametreleri uygulanarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Kontrolcü kullanılmayan simülasyonda yapıda ciddi yer değiştirmeler meydana geldiği gözlemlenirken meta sezgisel algoritmalar ve yapay zekâ yöntemlerinden elde edilen parametrelerin kullanıldığı yapı modeli simülasyonlarında yapıda meydana gelen yer değiştirmenin minimuma düştüğü anlaşılmıştır. Kullanılan farklı meta sezgisel algoritmalar ve yapay zekâ yöntemleri neticesinde bulunan kontrolcü parametreleri yakın değerler şeklinde elde edilmiştir. Parametrelerin yakın bulunması yapı modelinin ideal tasarımının başarılı yapıldığını ve bahsedilen metotların yapı modeli için uygun olduğunu ifade etmektedir. Algoritmalar kendi içerisinde incelendiğinde ise minimum yer değiştirmenin Random Tree algoritmasında meydana geldiği anlaşılmıştır.

Yapılan bu tez çalışması giriş, kavramsal çerçeve, yöntem, bulgular, tartışma, sonuç ve öneriler olmak üzere altı bölümden oluşmaktadır.

Kavramsal çerçeve bölümünde aktif tendonlu kontrol sistemleri, aktif kontrol yöntemleri ve meta sezgisel algoritmalar ve yapay zekâ yöntemleri anlatılmıştır.

Yöntem bölümünün altında tez çalışmasında kullanılan tek serbest dereceli aktif tendonlu yapı modeli anlatılarak özellikleri belirtilmiştir. Yapının modeli MATLAB Simulink üzerinden oluşturularak dışarıdan uygulanan kuvvete karşı yapıda meydana gelen yer değiştirme grafiği

incelenmiştir. 5 farklı meta sezgisel algoritma ve 8 farklı yapay zekâ yöntemleri kullanılarak her bir farklı algoritma için Kp, Ki, Kd parametreleri bulunmuştur.

Bulgular bölümünde tek serbest dereceli aktif tendonlu yapı modelinin yapısal tepkimeleri verilmiştir. Tek serbest dereceli aktif tendonlu yapı modelinin 5 farklı meta sezgisel algoritmadan ve 8 farklı yapay zekâ yöntemlerinden elde edilen PID parametrelerin kullanıldığı kontrolcü kullanıldığında yapıda meydana gelen yer değiştirme grafikleri incelenmiştir.

Tartışma bölümünde konu ile ilgili yapılan geliştirmeler incelenerek tez için yapılan çalışmalar değerlendirilmiştir.

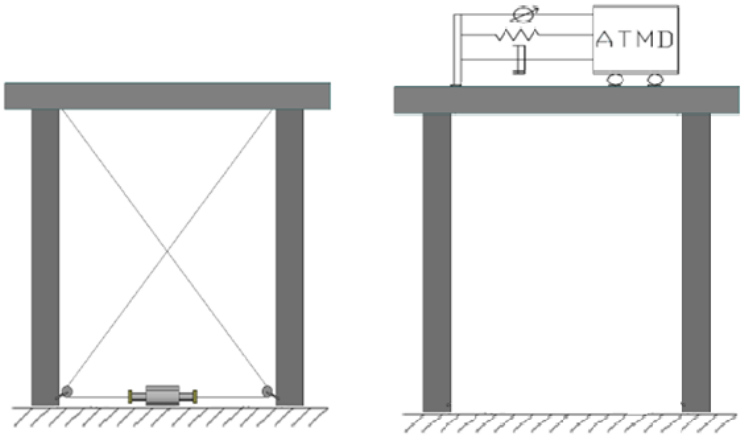
Sonuç ve öneriler bölümünde yapılarda aktif tendonlu kontrolcülerin kullanılmasının önemi incelenmiştir. Kontrolcü parametreleri belirlenirken kullanılan parametrelerin hangi meta sezgisel algoritma veya yapay zekâ yönteminin kullanılması gerektiği kararlaştırılmıştır.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Bu bölümde tek serbest dereceli aktif tendonlu yapı modelleri ve bu yapı modellerinde kullanılan kontrolcü parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan meta sezgisel algoritmalar ve yapay zekâ yöntemleri anlatılacaktır. Sistem ile ilgili yapılan çalışmalar literatür altında anlatılacaktır.

2.1. AKTİF TENDONLU KONTROL SİSTEMLERİ

Dışarıdan uygulanan kuvvetlerin yapıda meydana getirdiği tepkimeleri minimuma indirmek için kullanılan sistemlere aktif tendonlu kontrol sistemleri denmektedir. Bu sistemlerin kullanıldığı yapı sayısı sürekli artmaktadır. Kontrol edilemeyen nüfus artışı sonucunda yerleşim yerlerinin aktif fay hatlarının çevresine kurulmak zorunda kalması ve meydana gelen depremlerde can kaybının artması nedeniyle birçok yapıda aktif tendonlu kontrol sistemleri kullanılmaktadır. Kullanılan bu teknolojik alt yapı sayesinde yapılarda meydana gelen hasar minimuma indirilmektedir. Yapı maliyetlerinin kontrol edilemeyen şekilde artması nedeniyle herhangi bir depremde meydana gelebilecek maddi ve manevi kayıplar değerlendirildiğinde aktif tendonlu kontrol sistemlerinin maliyetleri göz ardı edilebilmektedir. Şekil 2.1’de aktif tendon modeli gösterilmektedir.



Şekil 2.1: Aktif tendon modeli [8].

Aktif tendonlu kontrol sistemlerinin kullanımında geçmiş yıllarda farklı problemler meydana gelebilmektedir. Birçok parametreye bağlı ve hassas bir sistem olması nedeniyle mühendislik hesaplamalarının büyük hassasiyetle yapılması gerekmektedir. Teknoloji alanında meydana gelen devrim niteliğindeki gelişmelerden kontrol alanı da faydalanarak birçok yeni teknik geliştirilmiştir. Yeni geliştirilen bu teknikler ve sensör teknojisinde meydana gelen değişimler sayesinde aktif tendonlu kontrol sistemlerinde yaşanılan problemler minimuma indirgenmiştir.

2.2. AKTİF KONTROL YÖNTEMLERİ

Sistem tasarlanırken püf noktalardan birisi de kullanılan kontrolcüdür. Seçilen kontrolcünün yapıda meydana gelen yer değiştirmeyi minimumda tutması çok önemlidir. Bunun içinde farklı kontrolcü tipleri bulunmaktadır. Bu çalışmada PID kontrolcü incelenecektir.

2.2.1. PID Kontrolcü

Orantı- integral – türev (PID) kontrolcüler genel olarak tek serbest dereceli yapı modellerinde kullanılmaktadır. Çok serbest dereceli sistemlerde PID kontrolcülerin kullanılması çoğu durumda yetersiz kalmaktadır. Yapılan incelemede tek serbest dereceye sahip yapı modeli üzerinde çalışıldığı için PID kontrolcü kullanılması daha uygun görülmüştür. Kullanılan PID kontrolcü parametreleri belirlenirken meta sezgisel algoritmalar ve yapay zekâ yöntemleri kullanılarak farklı PID parametreleri kullanılmıştır.

Sistemde kullanılan kontrolcü yapıda oluşan sinyal ile referans sinyal arasında karşılaştırma yaparak hata sinyali (e (t)) bulunmaktadır. Hata sinyalini minimuma indirmek amacıyla (u(t)) sinyali oluşturulması gerekmektedir. Bu sinyal yapıya uygulanarak yapıda meydana gelen yer değiştirme minimuma düşürülmektedir. PID kontrolcüsünün kontrol sinyali Denklem 2.1'de gösterilmektedir [8].

$$u = K_p[e(t) + \frac{1}{T_i}\int_0^t e(t)dt + T_d\frac{de(t)}{dt} \quad (2.1)$$

K_p orantı katsayısı, T_i integral katsayısını, T_d türev katsayısı ve e(t) hata sinyalini ifade etmektedir.

2.3. META SEZGİSEL ALGORİTMALAR

Doğadaki olaylardan taklit edilerek meta sezgisel algoritmalar birçok alanda aktif olarak kullanılmaktadır. Doğada var olan içgüdüsel hareketleri matematiksel olarak ifade edebilmek için bu algoritmalar oluşturulmuştur. Sistemde kullanılacak olan PID kontrolcünün parametrelerinin belirlenebilmesi için meta sezgisel algoritmalardan faydalanılmıştır.

Bu çalışmada farklı meta sezgisel yöntemler araştırılarak içlerinde sistemde kullanımı en uygun olan 5 tanesi seçilerek bunlar üzerine odaklanılmıştır. Seçilen bu 5 meta sezgisel algoritma (Yapay Arı Kolonisi Optimizasyonu (ABC), Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO), Gri Kurt Optimizasyon Algoritması-Parçacık Sürüsü Optimizasyonu Algoritması (GWO-PSO), Balina Optimizasyon Algoritması (WOA), Sinüs-Kosinüs Algoritması Optimizasyonu (SCA)) sırasıyla sisteme uygulanılarak farklı PID parametreleri bulunulmuştur.

2.3.1. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu

Kuş sürülerinin davranışları örnek alınarak tasarlanan Parçacık sürü optimizasyonu (Particle Swarm Optimization, PSO) popülasyon temelli bir metottur [9]. Kuşların sürü içerisindeki hareketleri ve davranışlarının örnek alınmasından faydalanılarak kuş sürüsünün popülasyonu, her bir kuşun da bir parçacığı temsil ettiği varsayılmıştır [10]. Şekil 2.2'de kuş sürüsü fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 2.2: Kuş sürüsü [11].

Popülasyonda her birinin başlangıç konumu (X_0^i) ve başlangıç hızı (V_0^i) vardır [12]. Parçacıkların hareketleri sırasında her bir parçacığın rastladığı, istenen sonuca yakın verileri veren konumu barındıran her bireye özel bir değişken $X_t^{i,pbest}$vardır. Global değişken X_t^{gbest}, popülasyon içerisindeki bütün bireyler arasında rastlanmış olan en iyi sonucu veren konum değerini barındırır [13]. Bu bilgiler doğrultusunda i∈[1,…,n] ve n>1 olduğu durumda i numaralı parçacığın t anındaki hızı V_t^i, konumu X_t^i aşağıdaki şekilde hesaplanır [14].

$$V_{t+1}^i = V_t^i + c1 * rand() * (X_t^{i,pbest} - X_t^i) + c2 * rand() * (X_t^{gbest} - X_t^i) \quad (2.2)$$

$$X_{t+1}^i = X_t^i + V_{t+1}^i \quad (2.3)$$

Denklem (2.2)'de rand() fonksiyonu [0,1] aralığında rastgele bir sayı üretmektedir. c1 ve c2 hız değişkenlerinin kuvvet çarpanlarıdır [15]. Konumların güncellenme işlemi maksimum deneme sayısı kadar tekrarlanır ve sonuç olarak en iyi neticeleri veren parçacık konumu X^{gbest} bulunmuş olur [9].

$$X_t^{gbest} = min\{X_t^{i,pbest}\},\ i \in [1,\ldots,n] \text{ ve } n>1 \quad (2.4)$$

Global en iyi değeri veren konumun belirlenme şekli matematiksel olarak denklem (2.4)'de ifade edilmiştir. Bireysel en iyi konumlar arasında en az uygunluk değerine sahip konum global en iyi konum olarak belirlenir. PSO algoritmasının pseudo kod örneği aşağıda verilmiştir [15].

n belirlenerek bunlara rastgele konum verilir (X_0^i i=1,2,3...,n)

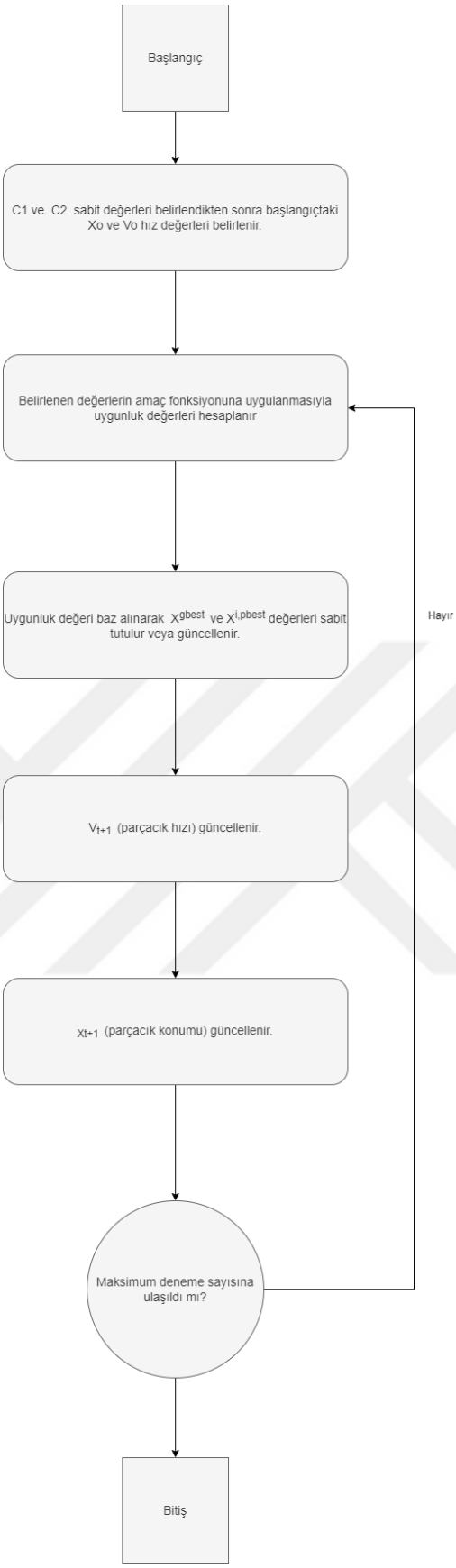
c1 ve c2 değerleri verilir.

t=1

while (t<maksimum deneme sayısı)

for her n için,
Tüm n'lere simülasyon yapılır
Fitness değerleri verilir.
if f($X_t^{i,pbest}$) > f(X_t^i)
$X_t^{i,pbest} = X_t^i$
if f(X_t^{gbest}) > f($X_t^{i,pbest}$)
$X_t^{gbest} = X_t^{i,pbest}$
end if
end if
end for
V n hız değerleri bulunur
X n konumları değiştirilir
t=t+1
end while
return X_t^{gbest}

Şekil 2.3'te Parçacık Sürü Optimizasyonu'na ait akış diyagramı verilmiştir [16].



Şekil 2.3: PSO algoritması akış diyagramı [16].

2.3.2. Yapay Arı Kolonisi Optimizasyonu

Karaboğa tarafından arıların içgüdüsel yemek arama hareketlerinden örnek alınarak Prof. Dr. Derviş Karaboğa tarafından geliştirilmiştir [17]. Bilgisayar ortamında optimizasyon sorunlarını çözebilmek için kullanılmaktadır. Şekil 2.4'te arı kolonisiyle ilgili görsel gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Arı koloni görseli [18].

Arılarda hiyerarşik bir görev dağılımı bulunmaktadır. İşlerin çoğu işçi arılar tarafından yapılmaktadır.

ABC algoritması üç kısımdan oluşur [19];

- Besin kaynaklarının tespit edilmesi.
- Besinin kovana taşınması.
- İş üstlenmeyen arı gözcü ve izci olmak üzere görevlendirilir.

Çevredeki besinleri temsilen başlangıç besin konumları belirlenmektedir. Belirleme denklem (2.5) kullanılarak yapılır [20].

$$X_0^i = \text{Xmin} + \text{rand}()(\text{Xmax} - \text{Xmin}) \text{ , } i \in [1,\ldots,n] \text{ ve } n>1 \quad (2.5)$$

X_0^i, arama uzayındaki n adet parçacık konumunu ifade etmektedir. Xmin arama uzayının alt sınırlarını ve Xmax arama uzayının üst sınırlarını anlatmaktadır. rand() fonksiyonu [0,1] aralığında eşit ihtimalleri bulunan rastgele değerleri ifade eder. Hedeflenen besin konumlarının uygunluk değerleri bulunur [21].

Belirlenen besinlerin çevresine aşağıdaki denklem (2.6) kullanılarak görevli arılar yönlendirilir [22].

$$X_{t+1}^{i}=X_{t}^{i}+\emptyset i*(X_{t}^{i}-X_{t}^{k}) \quad (2.6)$$

X_{t+1}^{i}, besinin komşu konumunu ve X_{t}^{i} değişkeninin güncellenmiş değerini ifade etmektedir. X_{t}^{i} besinin mevcut konumu; X_{t}^{k} bilinen kaynaklarından birinin rastgele konumudur. $\emptyset i$ ise

[-1,1] aralığında herhangi bir değer alan ağırlık katsayısıdır. Besinlere yollanan görevli işçi arılardan alınan bilgi doğrultusunda aşağıdaki denklem (2.7) ile besinlerin olasılık değerleri hesaplanmaktadır.

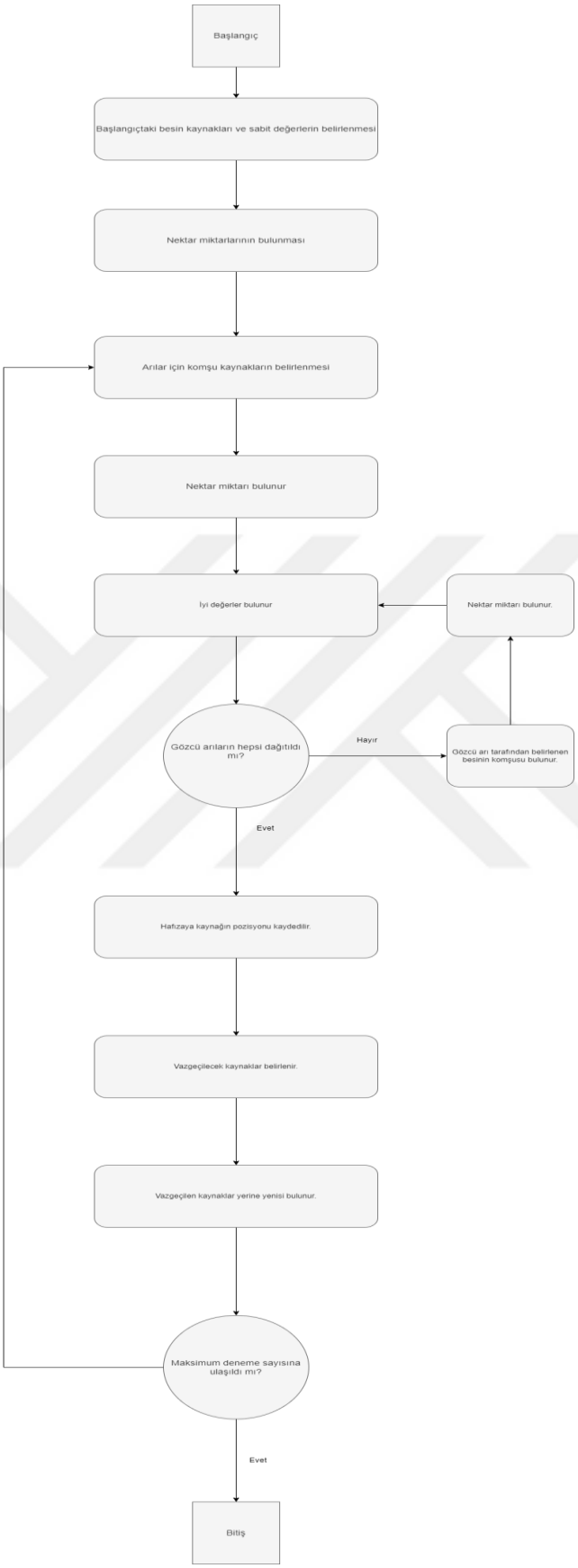
$$p_i = \frac{fit_i}{\sum_{i=1}^{n} fit_i} \text{ , i}\in[1,\ldots,n] \text{ ve n>1} \quad (2.7)$$

Burada $fiti$, i numaralı besinin uygunluk (fitness) değerini, pi ise i numaralı besinin olasılık değerini ifade etmektedir.

Gözcü işçi arılar önceden belirlenmiş olan besin olasılık değerleri pi göz önünde bulundurularak, olasılık değeri düşük olana az görevli işçi arı yollayacak şekilde görevli arıları denklem (2.6) kullanarak yönlendirir. İzci işçi arılar ise her bir arı için başlatılmış olan sayaçların belirlenmiş limit (L) değere ulaşmasıyla ortaya çıkar [9]. ABC algoritmasının pseudo kod örneği aşağıdaki gibidir [17].

Arıların sayısı verilir
Besin konumları rastgele atanır X_0 (i=1, 2, ..., n)
Limit ve parametre sayısı verilir
Sabit başlangıç değerleri verilir
Besin fitness değerleri bulunur
t=1
while (t < maksimum deneme sayısı)
for her n için,
Komşular arasından yeni besin kaynağı bulunur.
Uygunluk değerleri bulunur, en iyisi seçilir.
end for
Her bir besin kaynağının olasılığı hesaplanır.
for her n için,
P oranına göre arayıcı arılar besin kaynaklarına yollanır.
Yeni besin kaynakları bulunur
Yeni besin kaynaklarının uygunluk değerleri bulunur.
En iyi olan bulunur.
end for
if herhangi bir işçi arı, izci arı olduğunda
Rastgele bir alana yeni kaynak bulması için yollanır.
t=t+1
end while
return “en iyi değere sahip Xi

Genel işleyiş Şekil 2.5'te akış diyagramında verilmiştir [17].



Şekil 2.5 ABC algoritması akış diyagramı [17].

2.3.3. Gri Kurt Optimizasyon Algoritması- Parçacık Sürüsü Optimizasyonu Algoritması

Kurt sürülerinin avlanma davranışlarından örnek alınmıştır. Davranışı matematiksel olarak bilgisayar ortamında benzetilmesi ile oluşturulmuştur [23]. Gri kurtlar sürü şeklinde yaşamaktadır. Kendi aralarında hiyerarşik bir düzen vardır. Bu yapıya göre önder kurt alfa (α) şeklinde adlandırılır ve uyku yeri, kalkma zamanı, avlanma gibi konularda sürüye öncülük eder. İkinci seviyedeki kurtlar beta (β) olarak adlandırılır, alfa kurdun yardımcılığını üstlenirler ve alfadan gelen emirlerin sürüye aktarılmasını sağlarlar. Delta (δ) ise üçüncü güçlü yapıdaki kurtlardır ve alfa ile betadan emir alırlar. Delta kurtlar nöbetçilik, hasta bakıcılık gibi işleri üstlenir. Omega (ω) ise sürünün en alt tabaka kurtlarını oluşturur, özel olarak üstlendikleri bir görev yoktur. Şekil 2.6'da gri kurt sürüsü görülmektedir.



Şekil 2.6: Gri kurt sürüsü [24].

Başlangıçta arama uzayında rastgele konumlandırılan ve uygunluk değerleri hesaplanan kurt bireyleri hiyerarşik yapıya uyularak uygunluk değerlerine göre sınıflandırılırlar. Uygunluk değeri en iyi olan alfa kurt (Xa), ikinci olan beta kurt (Xβ), üçüncü en iyi olan delta kurt (Xδ) olarak belirlenir. Geriye kalan kurtlar omega sınıfına dâhildirler.

Avın sürü tarafından çevrelenmesi benzetimi denklem (2.8), (2.9) ve (2.10) kullanılarak yapılır.

$$\begin{aligned} Da &= |C1\ X\alpha - Xti|, \\ D\beta &= |C2\ X\beta - Xti|, \\ D\delta &= |C3\ X\delta - Xti| \end{aligned} \tag{2.8}$$

X1=Xa−A1 Da,

X2=Xβ−A2 Dβ,

X3=Xδ−A3 Dδ (2.9)

X_{t+1}^{i}=(X1+X2+X3) /3 (2.10)

Denklem (2.8)'de C1, C2, C3 parametreleri denklem (2.11) ile bulunur [22]. Xti kurdun o anki konumunu ifade eder. Da, Dβ, Dδ parametreleri ise kurdun alfa, beta ve delta kurtlara olan uzaklığının "C" katsayıları ile çarpılmış halini ifade eder. Denklem (2.9)'daki A1, A2, A3 denklem (2.12) ile hesaplanır. Denklem (2.10) kullanılarak kurdun yeni konumu Xt+1i belirlenir [9].

C=2r (2.11)

A=2 a r−a (2.12)

r, [0,1] aralığında herhangi bir sayıdır. a ise [0,2] aralığında iterasyon sayısı (maksimum deneme sayısı) ile doğrusal orantılı olarak azalan bir sayıdır. A, [-2a, 2a] aralığında değişen rastgele bir değerdir [23].

Aşağıda GWO algoritmasının pseudo kod örneği verilmiştir [25].

Kurt sayısı verilir
Rastgele konumları atanır Xi (i=1, 2, ..., n)
Sabit başlangıç değerleri verilir
Kurtların fitness değerleri bulunur.
Xα=En iyi konum uygunluk değeri
Xβ= En iyi ikinci konum uygunluk değeri
Xδ= En iyi üçüncü konum uygunluk değeri
t=1
while (t < maksimum deneme sayısı)
for her n için
Kurt konumları güncellenir.
end for
a, A ve C değerlerini değiştir
Bütün n konumunun uygunluk değerleri hesaplanır.
Xα, Xβ, Xδ değerleri güncellenir
t=t+1
end while
return Xa

GWO algoritmasının genel işleyişini özetleyen akış diyagramı aşağıdaki Şekil 2.7'te verilmiştir [25].



Şekil 2.7: GWO algoritması akış diyagramı [25].

2.3.4. Balina Optimizasyon Algoritması

Kambur balinaların davranışları örnek alınarak bulunmuştur. "Kabarcık ağı" adlı sadece kendilerinin kullandığı avlanma hareketi gösterirler. Bu metot uygulanırken ava aşağıdan yukarıya yükselerek spiral çizerken kabarcıklar çıkarmasıdır. Bu yöntem ile sürü şeklinde yaşayan balıkların telaşlanarak birleşmelerine neden olur. Şekil 2.8'te kambur balina görseli verilmiştir [26].



Şekil 2.8: Kambur balina [27].

Başlangıç parametre ve balina adetlerin bulunması sonrasında balinalara arama uzayı dahilinde herhangi konumlar belirlenir [28]. Bütün balinaların ve besinin fayda değerleri amaç fonksiyonu yardımıyla bulunur ve bu fayda değerlerine bağlantılı olarak olasılık hesapları yapılır. Fayda olasılığı 0,5' den yukarı fayda olasılığına sahip hedeflerde balina, kabarcık ağı metodu ile avlanır. Olasılık değeri 0,5' den aşağıda olan hedeflerde bu metot kullanılmaktadır. Kabarcık ağı avlanma yöntemini uygulamayan balinanın eşit şekilde iki olasılığı vardır. %50 olasılıkla ava yakınlaşacak veya yeni hedef belirleyerek arama uzayı bölgesindeki herhangi bir konuma yönlendirilecektir [29]. Bu avlanma yönelimleri denklem (2.13) ve (2.14)'de kullanılan formüller gösterilmiştir.

$$D=|C\ Xbest-Xt| \tag{2.13}$$

$$X_{t+1} = \begin{cases} \begin{cases} X_{best} - AD, & A < 1 \\ X_{rand} - AD, & A > 1 \end{cases}, & P < 0.5\ ise\ C = 2r \\ D\ e^{bl}\cos(2\pi l) + X_{best,} & p \geq 0.5\ iseC = 1 \end{cases} \tag{2.14}$$

Denklem (2.14)'de D besin konumu ve balina arasındaki mesafeyi; $Xbest$ besin konumu en iyi olanı (uygunluk değerine göre); Xt balina konumunu ifade etmektedir. C, aşağıdaki formülde (2.15)'de verilmiştir. $r1$, [0,1] herhangi bir sayıdır.

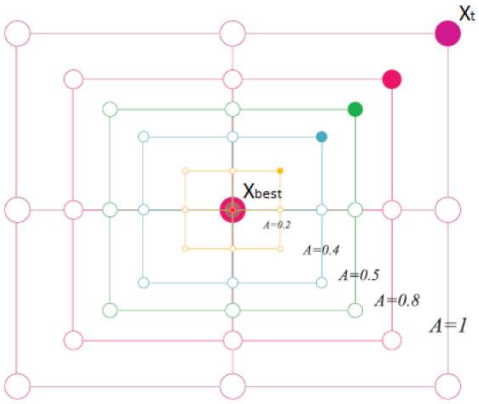
$$C=2\ r1 \tag{2.15}$$

Denklem (2.14)'de balinanın güncellenmiş konumu $X_{t+1,}$ spiralin oluşmasını sağlayan katsayı sabit değeri b, [-1,1] aralığında rastgele bir sayı l, besinin olasılık değerini ifade etmekte

kullanılan [0,1] aralığında rastgele bir sayı ise p şeklinde ifade edilmektedir. [0,1] aralığında rastgele bir sayı r2 ile ifade edilmektedir. [-1,1] aralığında iterasyon sayısı ile ilişkili şekilde azalan bir değişkendir [9].

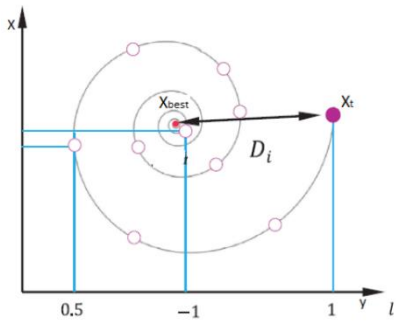
$$A=2\ a\ r2-a \tag{2.16}$$

Denklem (2.16)'daki balinanın güncellenmiş konuma etkisi A parametresi ile gösterilmektedir. Temsili şekilde iki boyutlu hali Şekil 2.9'da ifade edilmiştir.



Şekil 2.9: Arama uzayında balina hareketine A'nın etkisinin temsili gösterimi [26].

l parametresinin balinanın yeni konumunu belirlerken etkisi Şekil 2.10'da 2 boyutlu olarak ifade edilmiştir. 1'den -1'e doğru l parametresi gittikçe balinanın güncellenmiş konumu da uygunluk derecesi yüksek olan besin konumuna gitmektedir [9].



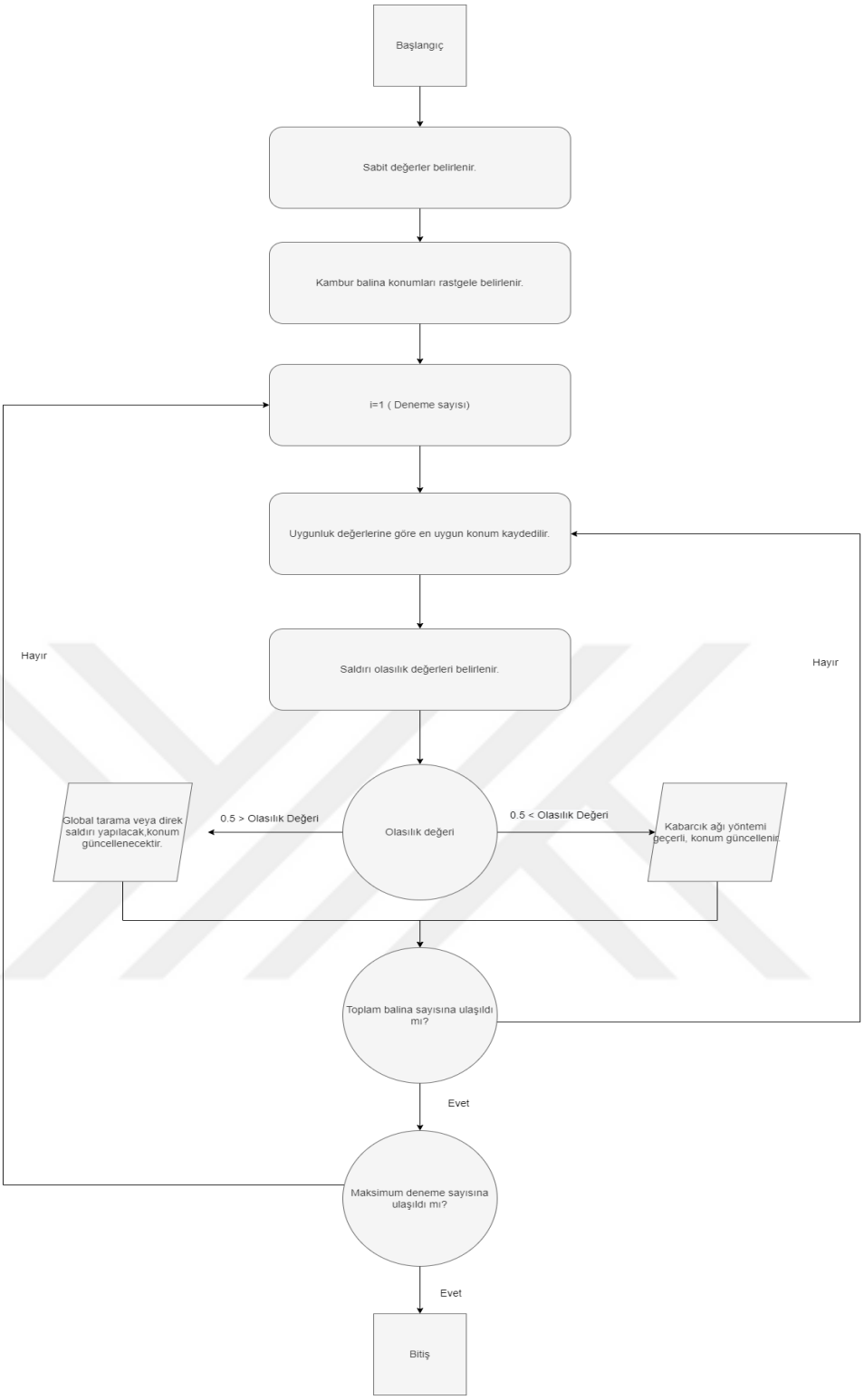
Şekil 2.10: 2 boyutlu arama uzayında balina hareketine l'nın etkisi [20].

WOA algoritması pseudo cod aşağıda verilmiştir [26].

Balina sayısı verilir
Rastgele konumları atanır Xi (i=1,2,...,n)
Sabit başlangıç değerleri verilir
Balina konumlarının uygunluk değerleri hesaplanır
Xo= Bilinen en uygun konum olarak verilir
t=1

while (t < Maksimum deneme sayısı)
for her n için
Uygunluk değeri temel alınarak P bulunur
if (P>0.5)
Kabarcık ağı yöntemi ile balina konumu güncellenir
else
Rastgele atama yöntemi veya doğrudan saldırı yöntemi ile balina konumu değiştirilir
end if
end for
for her n için
Uygunluk değerleri bulunur
Daha iyi çözüm varsa Xo güncellenir.
end for
t=t+1
end while
return Xo

Şekil 2.11'de Balina Optimizasyon Algoritmasının çalışma prensibini ifade eden akış diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 2.11: WOA akış diyagramı [20].

2.3.5. Sinüs Kosinüs Algoritması

Sinüs ve kosinüs fonksiyonlarının hareketinden esinlenilerek meydana getirilmiş bir metottur [30]. Salınımlar yardımıyla tarama yapılmaktadır. Bulunan en iyi değerler elde edilir.

Amaç fonksiyonu yardımıyla ajan konumlarının fitness değerleri elde edilmektedir. Elde edilen bu değerler aralarında kıyaslanarak en yüksek uygunluk değerine sahip nokta (Pt) nokta şeklinde ifade edilir. Tüm ajanların güncellenmiş konumları daha önce belirlenen hedef noktasını referans alarak denklem (2.17) ile değiştirilir.

$$X_{t+1}^{i} = \begin{cases} X_t^i + r_1 \sin(r_2) \left| r_3 P_t - X_t^i \right|, & r_4 < 0.5 \\ X_t^i + r_1 \cos(r_2) \left| r_3 P_t - X_t^i \right|, & r_4 \geq 0.5 \end{cases} \tag{2.17}$$

Denklem (2.17)'de Xti, i numaralı ajanın t anındaki konumunu; X_{t+1}^{i}ajanın t+1 anındaki konumunu; Pt hedef konumunu sembolize eder. $r1$ ise deneme sayısı ile ters orantılı olarak azalan, [a,0] (a, maksimum dalga genliğidir.) aralığında yapılan salınımın genliğini belirleyen değişkendir ve denklem (2.18)'deki gibi ifade edilir. Burada T maksimum deneme sayısını temsil eder. Rastgele sayılar olan $r2$, $r3$ ve $r4$'ün ifadeleri aşağıda denklem (2.19), (2.20) ve (2.21)'de gösterilmiştir. Burada rand () fonksiyonu [0.1] aralığında rastgele bir sayı üretmektedir [9].

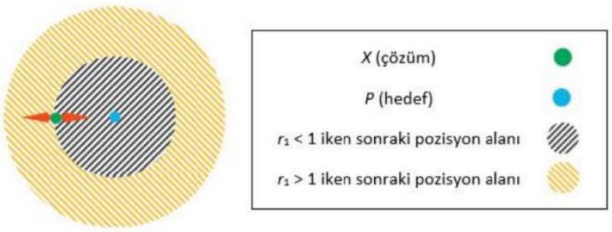
$$r1=a-t(a/T) \tag{2.18}$$

$$r2=2\,\pi\, rand\,() \tag{2.19}$$

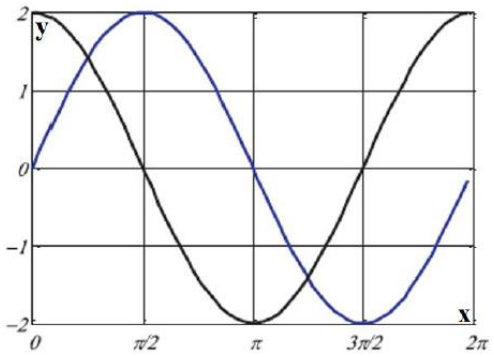
$$r3=2\, rand\,() \tag{2.20}$$

$$r4=rand\,() \tag{2.21}$$

Şekil 2.12 ve 2.13'te $r1$ parametre değişiminin X_{t+1}^{i} konum değerlerine etkisi temsili iki boyutlu bir görsel ile anlatılmıştır. Buradaki görsel örnekte a sabiti 2 olarak kabul edilmiş ve sinüs, kosinüs dalgaları verilmiştir.

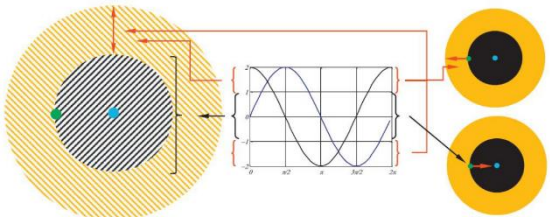


Şekil 2.12: $r1$ değerinin X_{t+1}^{i} konumuna etkisi [30].



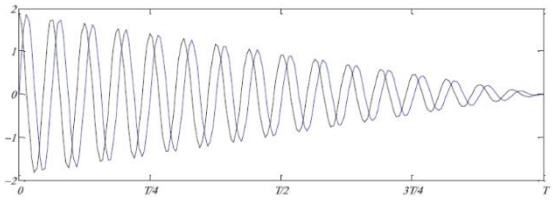
Şekil 2.13: 2 genlikli sinüs-kosinüs fonksiyonları [30].

$r1$>1 olduğu durumda ajanların yeni konumları P konumundan uzaklaşır ve global keşif için yeni konumlar aranır. $r1$<1 olduğu durumlarda ise P konumuna yaklaşılarak sömürme işlemi yapılır ve en iyi değerin bulunması için hassas ayarlamalar yapılır [31]. $r2$ değeri yeni konumun P konumuna yakınlığı ya da P konumunda uzaklaşacağını belirler ve [0,2π] değer aralığındadır. $r3$, hedef için rastgele bir ağırlığı tanımlar. Hedef (P) konumunun yeni konum belirlemedeki etkisini ayarlar. $r4$, [0,1] aralığında değişir ve %50 olasılıkla hareketin sinüs ya da kosinüs tabanlı olma durumunu belirler [32]. Şekil 2.14'te r1 değerinin X_(t+1)^i konumuna etkisi gösterilmektedir.



Şekil 2.14: $r1$ değerinin X_{t+1}^{i}konumuna etkisi [29].

Şekil 2.15'te bir parçacığın (ajanın) SCA algoritması sırasında arama uzayında izleyeceği yol görsel olarak verilmiştir.



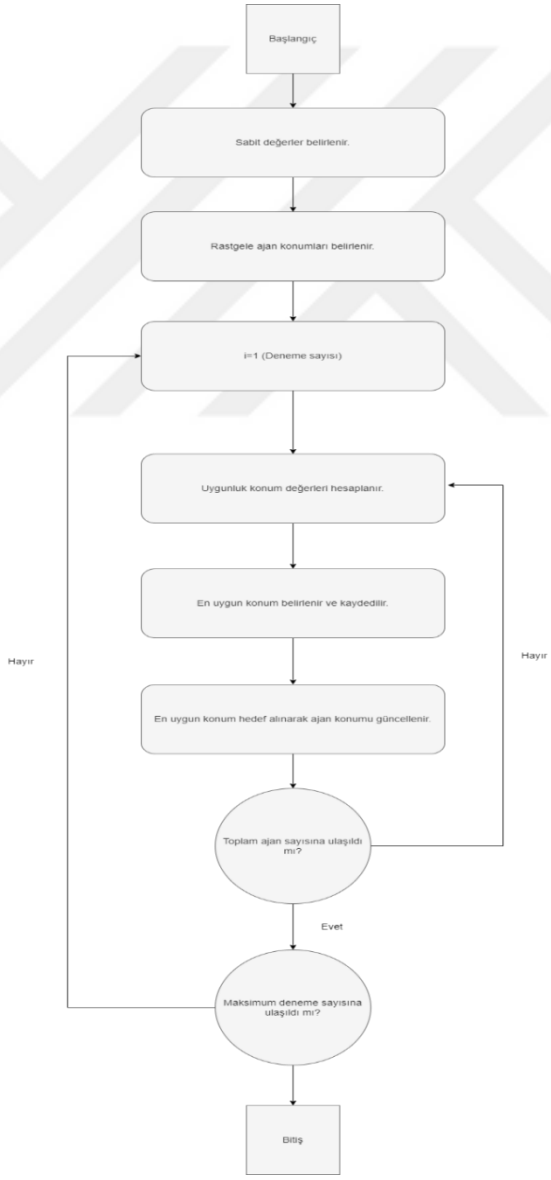
Şekil 2.15: SCA simülasyonu sırasında fonksiyon dağılım aralığının zamana (yaklaşım sayısına) bağlı dağılımı (a= 2) [31].

SCA optimizasyon yöntemini özetleyen pseudo kod aşağıdaki gibidir [30].

Keşif ajanı sayısı verilir
Konumları rastgele atanır Xi (i=1, 2, ..., n)
Sabit başlangıç değerleri verilir
Ajan konumlarının fitness değerleri bulunur

En uygun konum=P
t=1
while (t < max. deneme sayısı)
for her n için
Xo'a göre ajan konumu güncellenir
end for
for her n için
Uygunluk değerleri bulunur
Daha iyisi varsa P güncellenir.
end for
t=t+1
end while
return P

SCA optimizasyon yönteminin genel işleyişi aşağıdaki Şekil 2.16'da akış diyagramı gösterilmiştir [30].



Şekil 2.16: SCA akış diyagramı [30].

2.4. YAPAY ZEKÂ YÖNTEMLERİ

Yapay zekâ belirlenen işleri yapmak için insan zekâsını taklit etmektedir. Elde ettiği verilerle kendisini sürekli geliştiren sistemlerdir. Bu çalışmalarda ana amaç sistemlere öğrenme yeteneği kazandırmaktır. Teknolojinin güçlenmesiyle birlikte bilgisayarların etki alanları her geçen gün artmaktadır. Bu artışla beraber hayatımızın her alanında yapay zekâ yöntemleri aktif olarak kullanılmaktadır. Kullanım alanları göz önüne getirildiğinde yapay zekâ uygulamalarının insan yaşamını büyük ölçüde kolaylaştırdığı net olarak anlaşılmaktadır.

Bu çalışmada sistemde kullanılacak kontrolcünün PID parametrelerinin belirlenmesi içinde 8 farklı yapay zekâ yöntemi kullanılacaktır. Yapılan ön çalışmalar neticesinde bu 8 yöntemin bu parametreleri belirlemede kullanılabileceği anlaşılmıştır. Çalışmada kullanılan 8 farklı yapay zekâ yöntemi (Multilayer Perceptron (MLP), Bagging, IBk, Kstar, Additive Regression, Regression By Discretization, Random Forest ve Random Tree) çalıştırılarak tüm yöntemler için birbirinden farklı PID parametreleri belirlenerek sisteme uygulanmıştır.

2.4.1. MultiLayer Perceptron Yöntemi

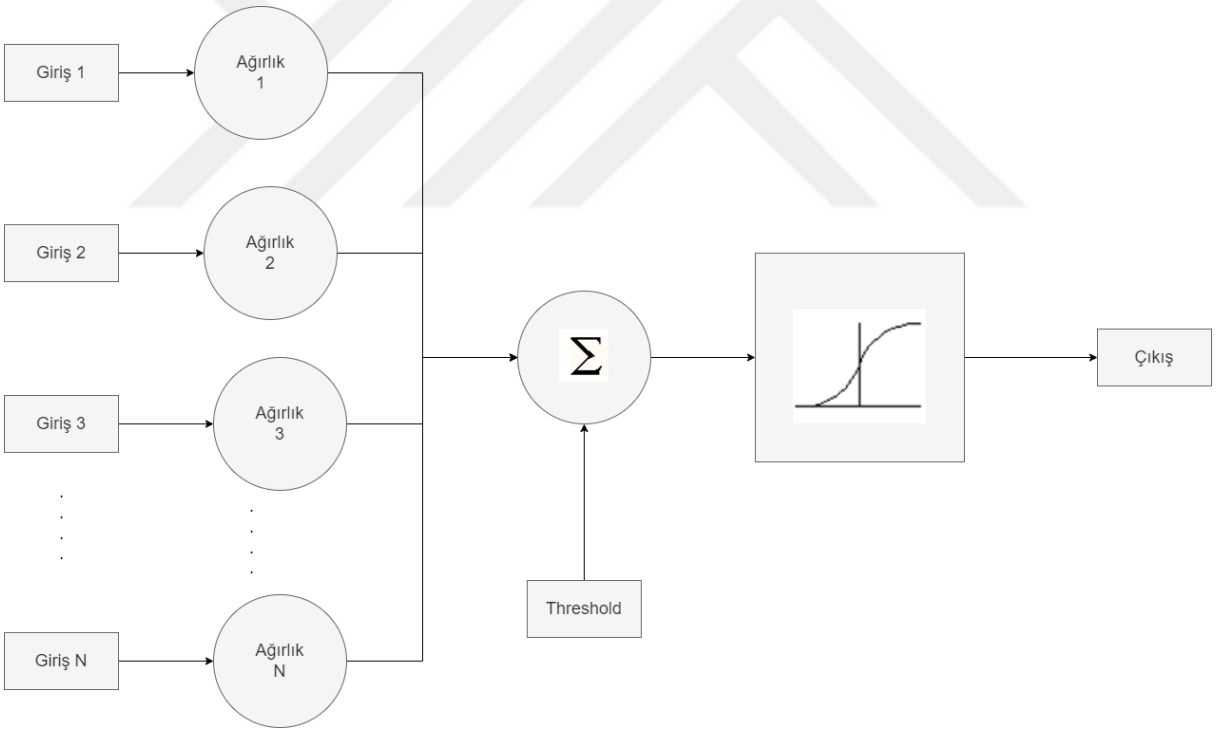
Geri yayılım kullanarak örnekleri sınıflandırır ve çok katmanlı bir algılayıcı öğrenen sınıflandırıcıdır. Ağ basit bir buluşsal yöntem kullanılarak kurulabileceği gibi elle de oluşturulabilir. Ağ parametreleri işlem süresi boyunca takip edilebilirken aynı zamanda düzenlenebilir. Düğümlerin tamamı sigmoiddir. Nöronların sinaptik bağlantılarla birbirine bağlanan bir düşünce yapısını temsil eder. İnsan beyninden esinlenilmiştir. Çok katmanlı algılayıcı giriş veri setlerini uygun çıkışla birleştiren ileri beslemeli yapay sinir ağı çalışmasıdır. Multilayer Perceptron da öğrenme Delta Öğrenme Kuralı tabanlıdır. Yapay sinir ağlarına ilginin artmasında Multilayer Perceptron'un önemi büyüktür [33].

XOR problemini çözmek için yapılan çalışmaların sonucunda Multilayer Perceptron bulunmuştur. Tablo 2.1'de XOR problemi giriş ve çıkış değerleri verilmektedir.

Tablo 2.1: XOR problemi giriş çıkış değerleri.

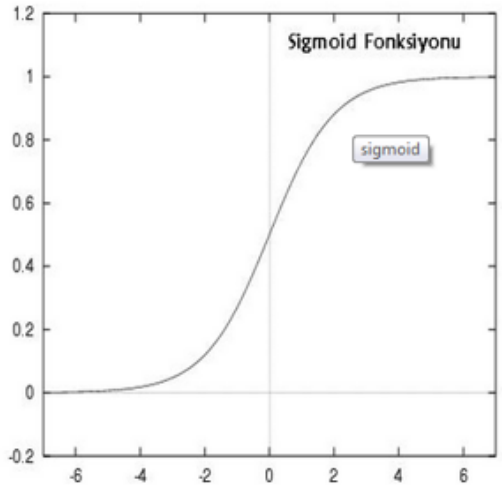
XOR Problemi		
Giriş A	Giriş B	Çıkış
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

İhtiyaca göre ara katman sayısı belirlenmektedir. Her katmanın çıkışı bir sonraki katmanın girişidir. Çıkış katmanı ara katmanlardan iletilen verileri düzenleyerek ağ çıkışını belirlemektedir. Şekil 2.17'te Multilayer Perceptron giriş çıkışları gösterilmektedir [34].



Şekil 2.17: Multilayer Perceptron giriş-çıkışları.

Çalışılan modelde herhangi bir matematik fonksiyonu kullanılabilmektedir. Fakat Sigmoid en çok tercih edilenlerden biridir. Şekil 2.18'te Sigmoid fonksiyonu gösterilmektedir.



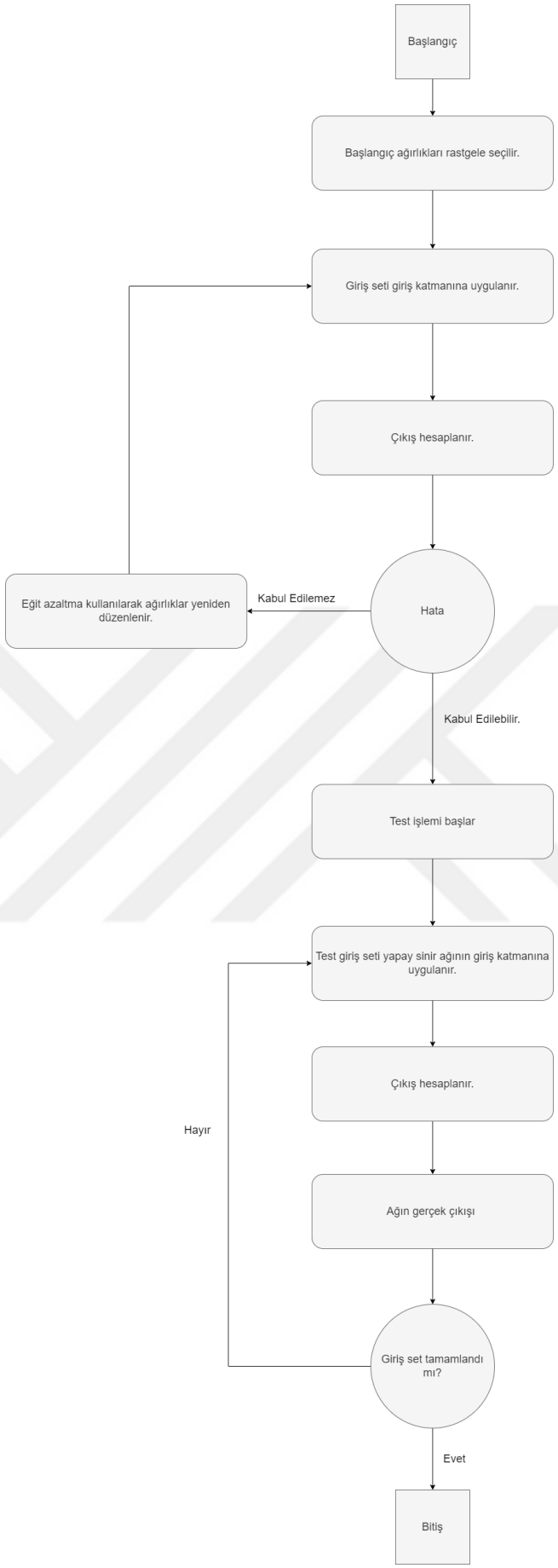
Şekil 2.18: Sigmoid fonksiyonu [34].

Multilayer Perceptron da kullanılan terimlerin anlamları Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2: Multilayer Perceptron terim açıklaması.

Terim	Açıklama
Epoch	Tahmini girdilerin ağırlık güncellenme sayısıdır.
Error	Çıkış değeri ile öngörülen değer arasındaki farktır.
Girdi Katmanı	Dışarıdan gelen girdilerin ara katmana iletilmesini sağlar.
Ara Katmanı	Bilgileri değerlendirerek diğer katmana verir.
Çıkış Katmanı	Ara katmanın ilettiği bilgileri işleyerek çıktı üretir.

Şekil 2.19'da MultiLayer Perceptron için akış diyagramı verilmiştir.

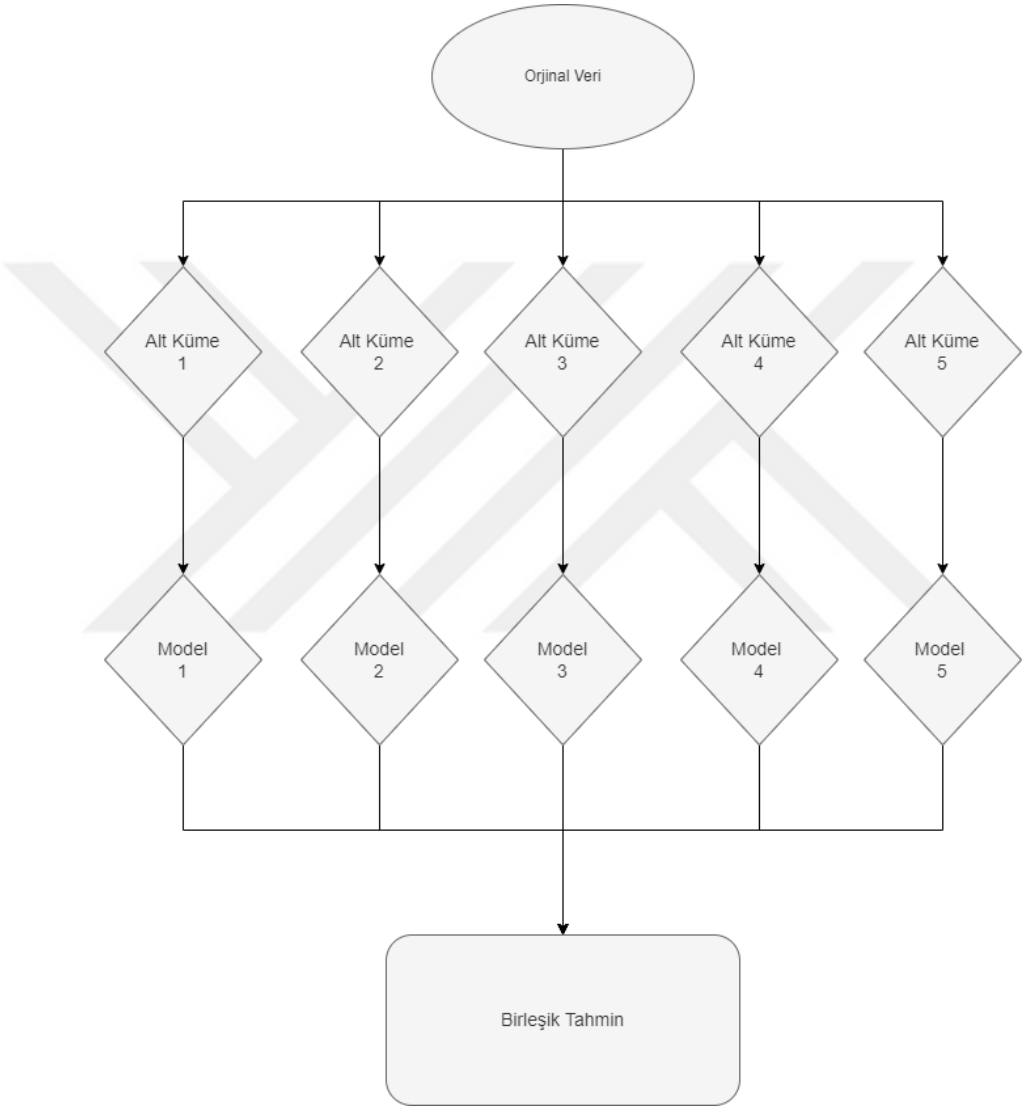


Şekil 2.19: MultiLayer Perceptron akış diyagramı [34].

2.4.2. Bagging Yöntemi

Orijinal veri setinden ön yükleme örnekleri oluşturulur. Bu örneklere tahminciler uygulanarak topluluk oluşturulur. Ön yükleme uygulaması iadeli rastgele seçim yaparak alt örneklemler meydana getirir. Alt örneklemler baştaki veri setindeki baştaki sayılar ile aynıdır. Deneysel incelemelere göre Bagging yöntemi tekil ağaçlara göre daha efektif çıktılar oluşturmaktadır [35].

Şekil 2.20'te Bagging yöntemine dair akış diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 2.20: Bagging akış diyagramı [35].

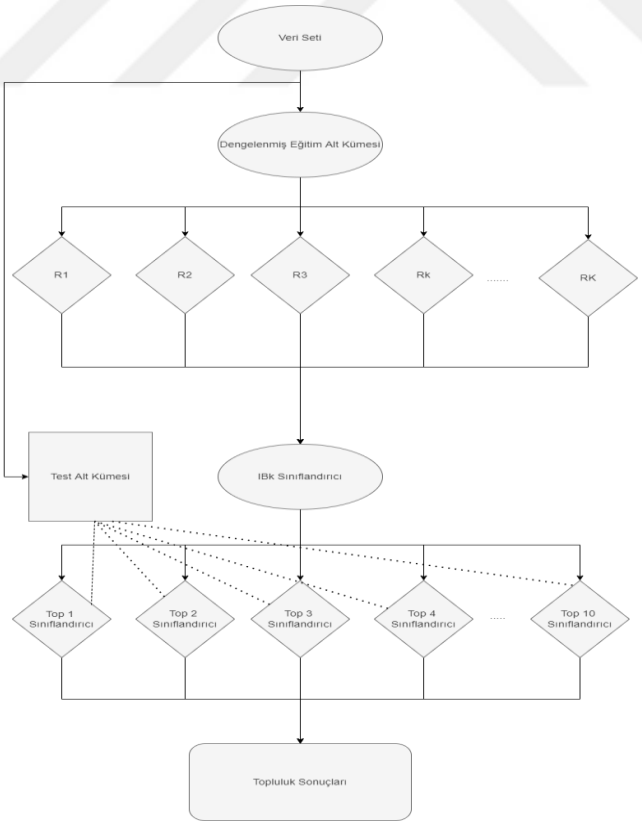
2.4.3. IBk Yöntemi

K- en yakın komşular sınıflandırıcısı olarak isimlendirilmektedir. Çapraz doğrulamayla uygun K değeri belirlenebilir. Mesafe ağırlıklandırması yapabilmektedir. Bütün gözlem değerleri farklı küme olarak değerlendirilir. Bu kümeler bir araya gelerek farklı yeni kümeler meydana getirir. Basit bir şekilde uygulanabilir. Yüksek veri setlerinde etkilidir. K parametresine ihtiyaç duymaktadır. Hangi uzaklık tipi ve hangi niteliğin değerlendirileceği net değildir. Hesaplama maliyetleri yüksektir [36].

IBk kullanılırken izlenecek adımlar;

- K değeri belirlenir.
- Bütün örnekler ile olan uzaklık bulunur.
- Uzaklık en az olana göre değerlendirilir.
- Uzaklık fonksiyonları sınıf değerleri belirlenmesi
- Baskın olan sınıfın belirlenmesi [37]

Şekil 2.21'de IBk için akış diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 2.21: IBk akış diyagramı [37].

2.4.4. Kstar Yöntemi

Kstar örnek tabanlı bir sınıflandırıcıdır. Entropi tabanlı bir uzaklık kullandığı için diğerlerinden farklıdır. Veri madenciliğinde tercih edilen bir sınıflandırıcıdır. Sınıflandırıcının amacı test verisinde özniteliği bilinmeyen örneğin daha önce sınıflandırılan gizlide kalan eğitim verileri ile karşılaştırılması esasına dayanmaktadır [38].

2.4.5. Additive Regression Yöntemi

Doğrusal regresyon fiziksel hayat etkisinde başarısız olabilmektedir. Doğrusal olmayan regresyon etkilerini ifade etmek için Additive Regresyon tercih edilmektedir. Bir regresyon tabanlı sınıflandırıcının performansını artıran meta sınıflandırıcıdır. Her iterasyon sınıflandırıcının önceki yinelemede bıraktığı artıklara bir model uyarlamaktadır. Tahmin her sınıflandırıcının tahminleri eklenerek gerçekleştirilmektedir. Öğrenme oranı parametresinin azaltılması uyum gösterme fazlalığını önlemeye katkıda bulunur ve yumuşatma etkisine sahiptir. Fakat bu öğrenme süresini arttırmaktadır [39].

2.4.6. Regression By Discretization Yöntemi

Sınıf özniteliği (eşit genişlik) ayrıklaştırılmış verilerin bir kopyası üzerinde herhangi bir sınıflandırıcı kullanan bir regresyon şemasıdır. Tahmin edilen değer, her ayrıklaştırılmış aralık için ortalama sınıf değerinin beklenen değeridir. Her aralık için tahmin edilen olasılıklara dayalı olarak bulunur [40].

2.4.7. Random Forest (Rastgele Orman) Yöntemi

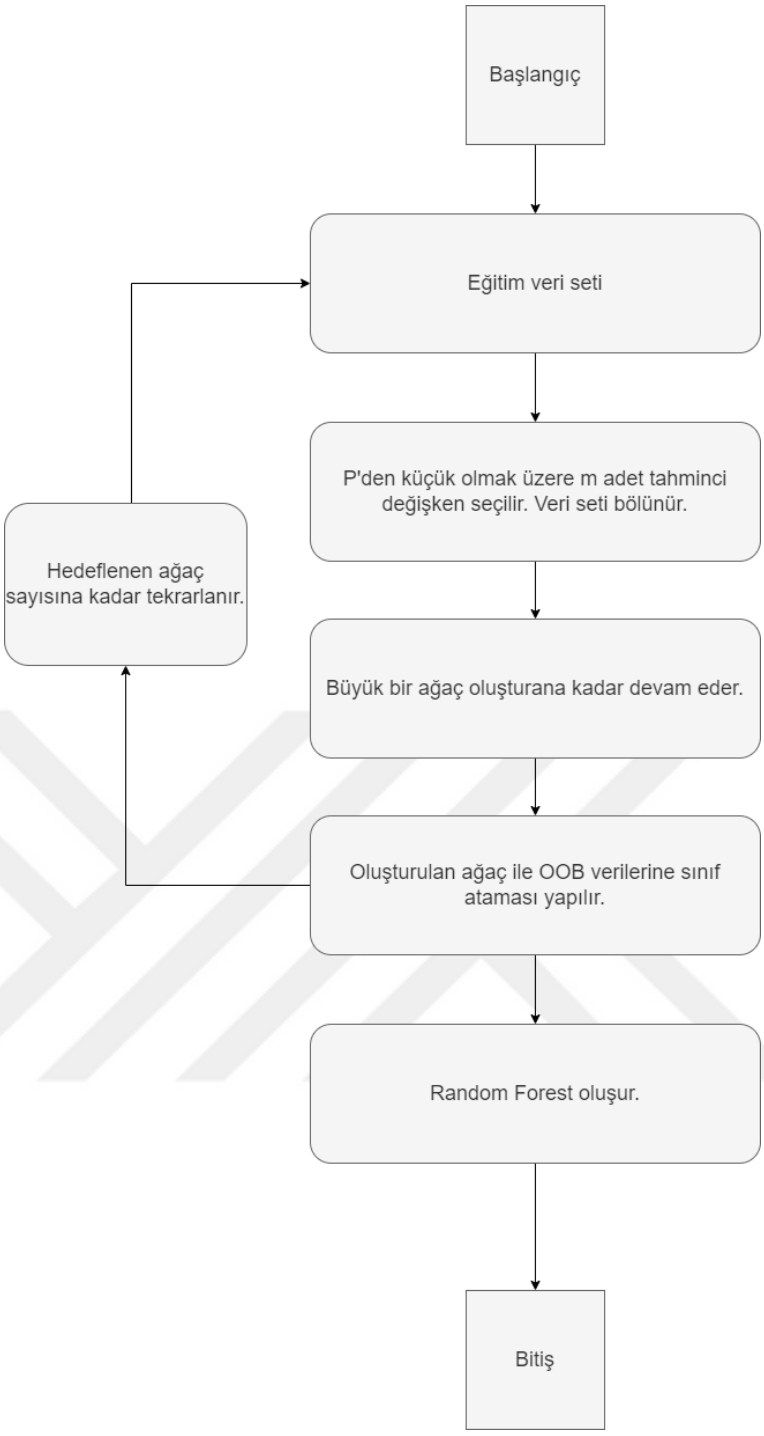
Random Forest sınıflandırıcısının amacı rastgele ağaçlardan oluşan bir orman oluşturmaktır. Bu yöntem sınıflandırma ve regresyon problemlerinin aşılmasında sürekli kullanılan veri madenciliği modellerinden biridir. Random Forest metodunda çok sayıda farklı alt küme rastgele eğitilerek karar ağaçları oluşturulur. Oluşturulan bu karar ağaçları yardımıyla eğitim gerçekleştirilir. Bu metot içinde oluşturulan karar ağaçları topluluğuna RF denir. Karar ağaçları birbirinden bağımsızdır [41].

Test verisi ve eğitim verisi önceden ifade edilmemişse veri setindeki sınıf oranları referans kabul edilerek çalışma yapılmaktadır. Tüm veri setinin 1/3'i test verisi geriye kalan kısmı da eğitim verisi şeklinde değerlendirilmektedir. Karar ormanını oluşturan K adet karar ağacı için K tane bootstrap yardımı sayesinde örneklem meydana getirilir. Meydana getirilen bu örneklemler için test ve eğitim verileri seçilir. Bütün ağaçlar test verisiyle test edilerek hata hesaplanır. Test hata oranlarına göre ağaçlara ağırlık tanımlanır [42].

Random Forest algoritması oluşturulurken;

- Veri seti belirlenerek test ve eğitim şeklinde ikiye ayrılır.
- Eğitim verisi kullanılarak en büyük karar ağacı oluşturulur. Bu ağaca budanma işlemi uygulanmaz. Ağacın fazla büyümesi ve fazla uyum sağlaması istenmemektedir. En yüksek bilgi kazancına sahip olan tahminci ile dallara ayrılma gerçekleştirilir. Anlatılan çalışma bütün düğümler için yeni dal üretilemeyene kadar tekrarlanmaktadır.
- Her yaprak düğüme sınıf tanımlanır. Test verisi ağacın en üstünden bırakılır. Her gözleme atanan sınıf not edilmektedir.
- İlk 3 adım B defa yapılır.
- Kullanılmayan gözlemler ile değerlendirme gerçekleştirilir. Ele alınan gözlemin hangi kategorilerde kaç kez sınıflandırıldığı not edilir.
- Bütün gözlemlere ağaç setleri yardımıyla karar verilen oy çoğunluğu ile sınıf ataması yapılır [43].

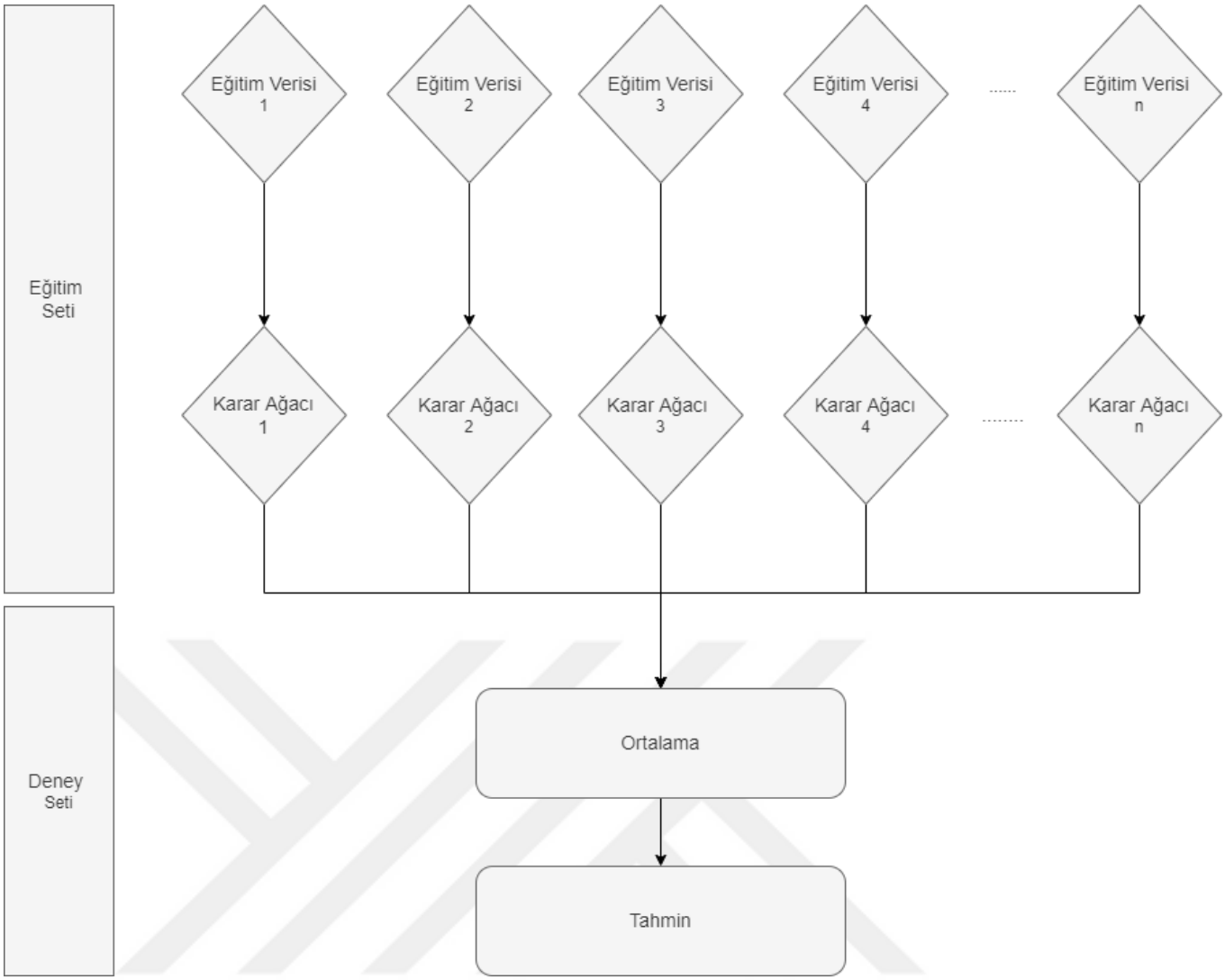
Her ağaçta verilerin değişik olması nedeniyle fazla uyum sorunu oluşmaz. Büyük veri setlerinde veya eksik verinin olduğu durumlarda kullanılabilir. Araştırmacı ağaç sayısını istediği gibi belirleyebilmektedir. Random Forest kullanımı oldukça basittir. Şekil 2.22’ de akış diyagramı verilmektedir.



Şekil 2.22: Random Forest akış diyagramı [43].

2.4.8. Random Tree (Rastgele Ağaç) Yöntemi

Her düğümde K rastgele verilen öznitelikleri baz alan bir ağaç yaratmak için çalıştırılan bir sınıflandırıcıdır. Random Tree yönteminde budama yapılmamaktadır. Bir uzatma kümesine bağlı olarak sınıf olasılıklarının tahmin edilmesine izin verme özelliğini de barındırmaktadır. Şekil 2.23'te Random Tree sınıflandırıcısına ait akış diyagramı verilmektedir.



Şekil 2.23: Random Tree akış diyagramı [44].

3. YÖNTEM

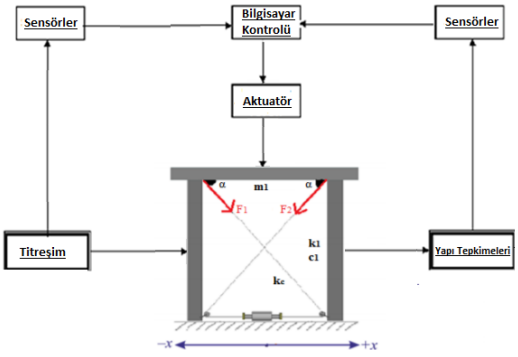
Bu bölümde tek serbest dereceli aktif tendonlu yapı modeline uygulanan dış kuvvet etkileri incelenerek yapı modelinde meydana gelen yer değiştirme incelenecektir. Farklı meta sezgisel algoritmalar yardımıyla elde edilen PID parametreleri tek serbest dereceli aktif tendonlu yapı modelindeki PID kontrolcüye uygulanarak yapıdaki yer değiştirme görüntülenecektir.

3.1. TEK SERBEST DERECELİ AKTİF TENDONLU YAPI MODELİ

Chung ve diğ. Matematiksel ve deneysel olarak incelenen m_1 kütleye, c1 sönüm katsayısına, k1 rijitliğine, kc tendon rijitliği ve zemin ile aktif tendonlar arasında α açısı bulunan yapı modeli bu incelemede ele alınmıştır (Chung ve diğ., 1988 [45]). Bahsedilen yapı modelinin matematiksel değerleri ve aktif tendonu bünyesinde barındıran modelin kontrolü Tablo 3.1 ve Şekil 3.1'de ifade edilmektedir. Bu modele +x yönünde gelen titreşim kuvvetleri hız, ivme ve yerdeğiştirme gibi etkilere neden olmaktadır. Bahsedilen etkilerin minimuma indirilmesi için tendonlara etki edecek F1 kuvveti F-kcu(t) ve F2 kuvveti F+kcu(t) şeklinde bulunmaktadır.

Tablo 3.1: Yapı modeline (tek serbest dereceye sahip) ait matematiksel veriler.

Parametre	Sayısal Değer
m1 (Kütle)	2924 kg
k1 (Yapıya ait rijitlik katsayısı)	1390000 N/m
c1 (Yapıya ait sönüm katsayısı)	1581 Ns/m
kc (Tendonlara ait rijitlik katsayısı)	372100 N/m
α (Tendona ait açı)	36°



Şekil 3.1: Yapı modelinin kontrolü (tek serbest dereceli aktif tendonlu) [8].

Denklem (3.1) ve (3.2)'te incelenen yapı modelinin kontrollü ve kontrolsüz incelemelerdeki hareket denklemleri gösterilmiştir.

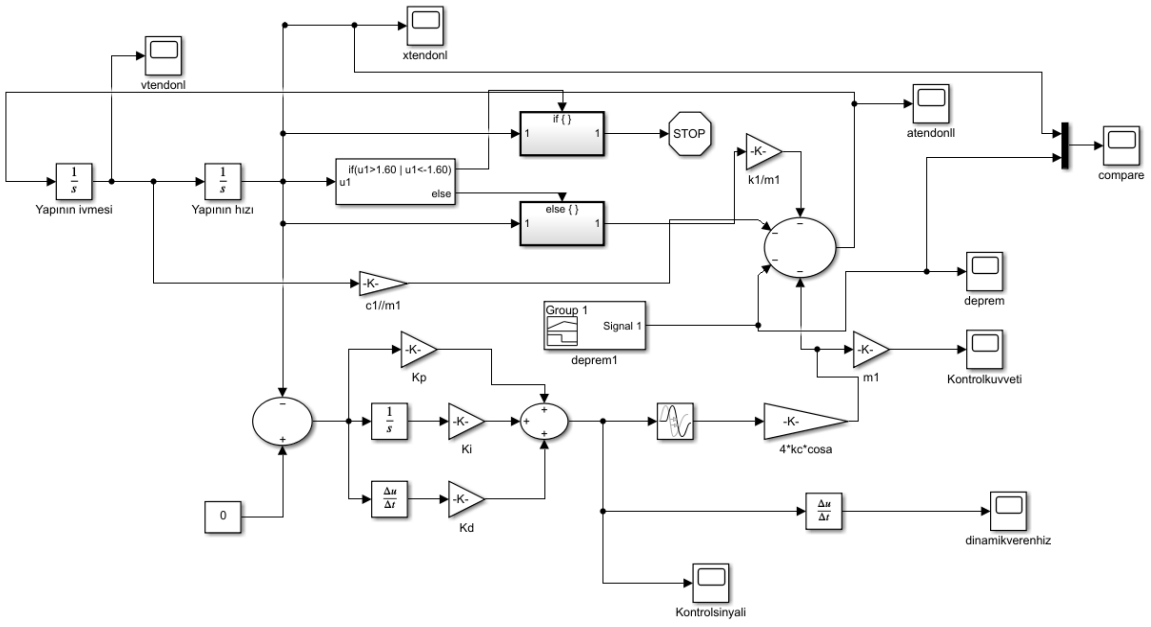
$$-m1xg = m1a1 + c1v1 + k1x1 \quad (3.1)$$

$$-m1xg - 4kcu(t)\cos\alpha = m1a1 + c1v1 + k1x1 \quad (3.2)$$

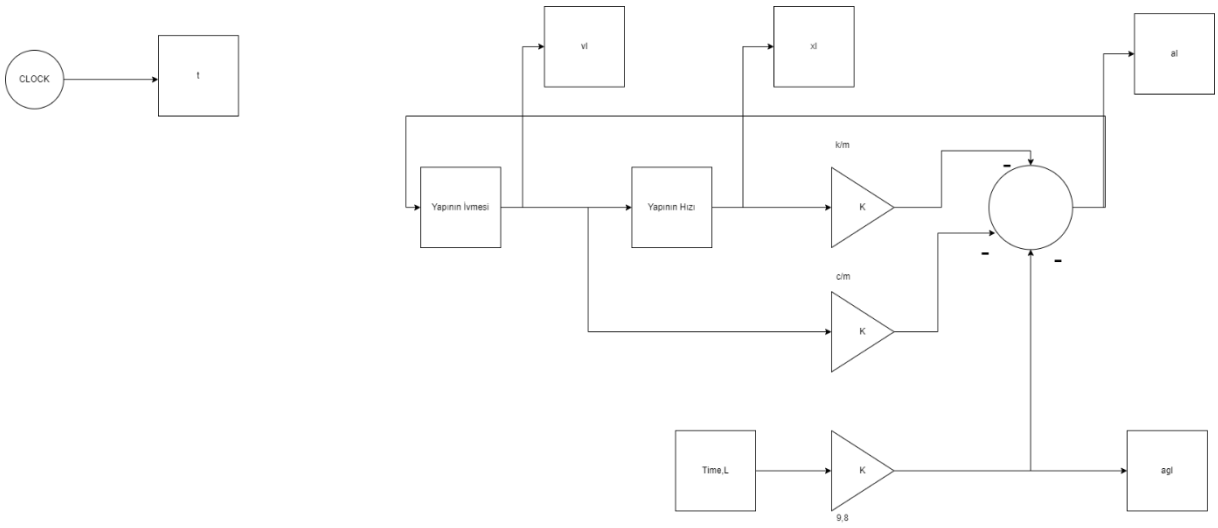
U(t) ile gösterilen kısım kontrol sinyalini göstermektedir. Kontrol sinyali PID kontrolcü üzerinde gerçekleştirilen çalışma ile oluşturulmaktadır. a1,v1 ve x1 sırasıyla ivme, hız ve yer değiştirmeyi ifade etmektedir.

3.2. ANALİZ METODU

MATLAB Simulink yardımıyla yapı modeli elde edilmiştir. Elde edilen bu model meta sezgisel algoritmaların ve yapay zekâ yöntemlerinden elde edilen parametrelerin kullanılmasında ve sistemin kontrolünün sağlanmasında kullanılacaktır. Bahsedilen model Şekil 3.2'de anlatılmaktadır. 60 saniye boyunca yapıya deprem kuvveti verilmiştir bu sayede model üzerindeki deprem etkisi takip edilebilmiştir. Depremin neden olduğu kuvvet bu yapı modelinde ifade edilmiştir. 5 farklı meta sezgisel yöntem ve 8 farklı yapay zekâ yardımıyla elde edilen kazanç katsayısı (Kp), integral kazanç katsayısı (Ki) ve türev kazanç katsayısı (Kd) değerleri bulunarak simülasyon üzerinden uygulanmış ve sonuçları yorumlanmıştır. MATLAB Simulink üzerinde kullanılan yapı modeli aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 3.2: Kontrolcüye sahip yapı modeli (meta sezgisel ve yapay zekâ yöntemlerinden elde edilen parametrelerin yorumlanmasında kullanılan).

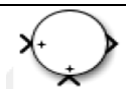
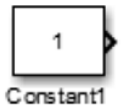
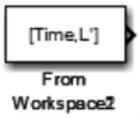
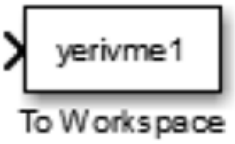
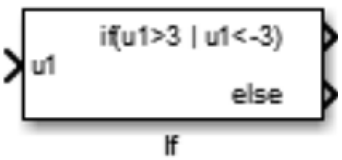


Şekil 3.3: Kontrolcü kullanılmayan tek serbest dereceli sistem blok diyagramı.

Tek serbest dereceli sistem için kontrollü ve kontrolsüz blok diyagramları Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te gösterilmiştir. İki simülasyon çalışması içinde süre 60 saniye olarak belirlenmiştir. Bu modellerde kullanılan blok diyagramları ve görevleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

Kontrolsüz tek serbest dereceli sistem ele alındığında yapı ivmesinin integrali alınarak yapıda oluşan yer değiştirme ve hız değerleri elde edilmiştir. Bulunan bu değerlerden hız yapının sönümü ile yer değiştirme de rijitliği ile çarpılmış bulunan bu değerler yapının kütlesine bölünmüştür. MATLAB programından elde edilen zaman bloku yardımı ile deprem kaydı yer çekimi ivmesiyle çarpılmıştır. Elde edilen değerlerin eksilisi ile toplama işlemi yapılmıştır. Yapının tüm tepkimeleri bu şekilde elde edilmiştir.

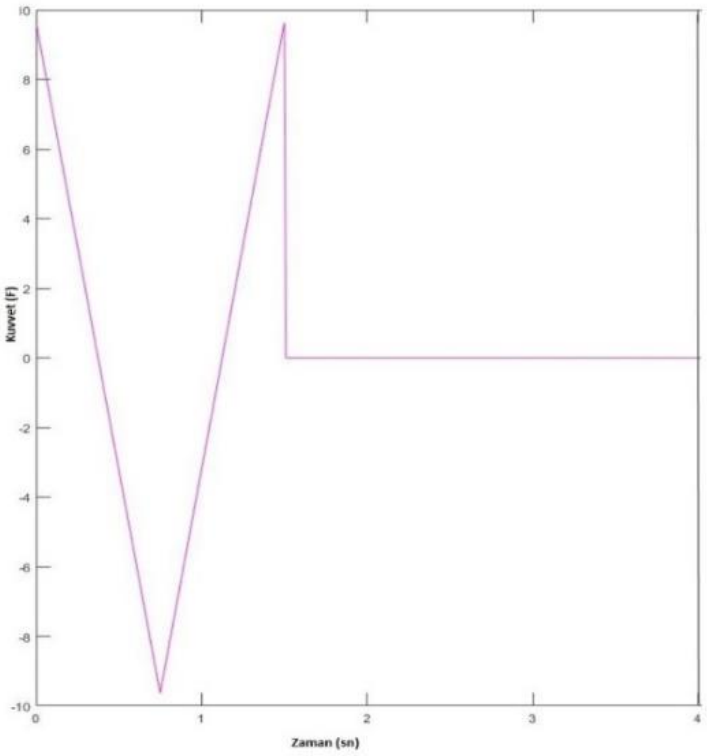
Tablo 3.2: Blok diyagram ve görevleri.

Blok Diyagram	Görev
	Toplama-çıkarma
	Sabit değer
	Toplama-çıkarma
	Durdurma
	Eleman seçimi
	Bilgi alımı
	Zaman kaynaklı gecikme
	MATLAB'e bilgi gönderimi
	Eğer komutu

Tablo 3.3(devam): Blok diyagram ve görevleri.

	Çarpma işlemi
	İntegral işlemi
	Türev işlemi

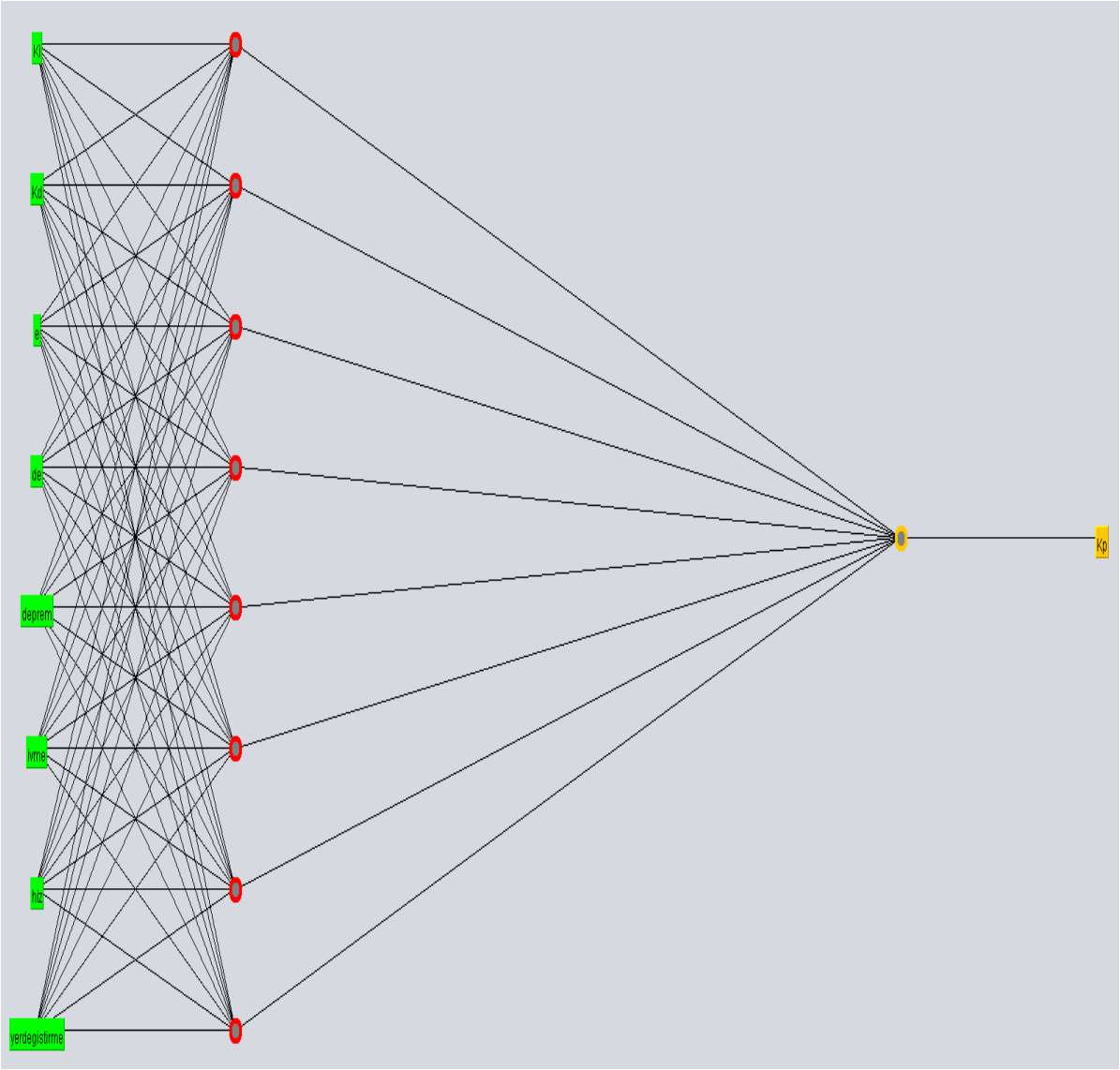
Şekil 3.4'te oluşturulan modellere uygulanan deprem etkisinin grafiği verilmiştir.



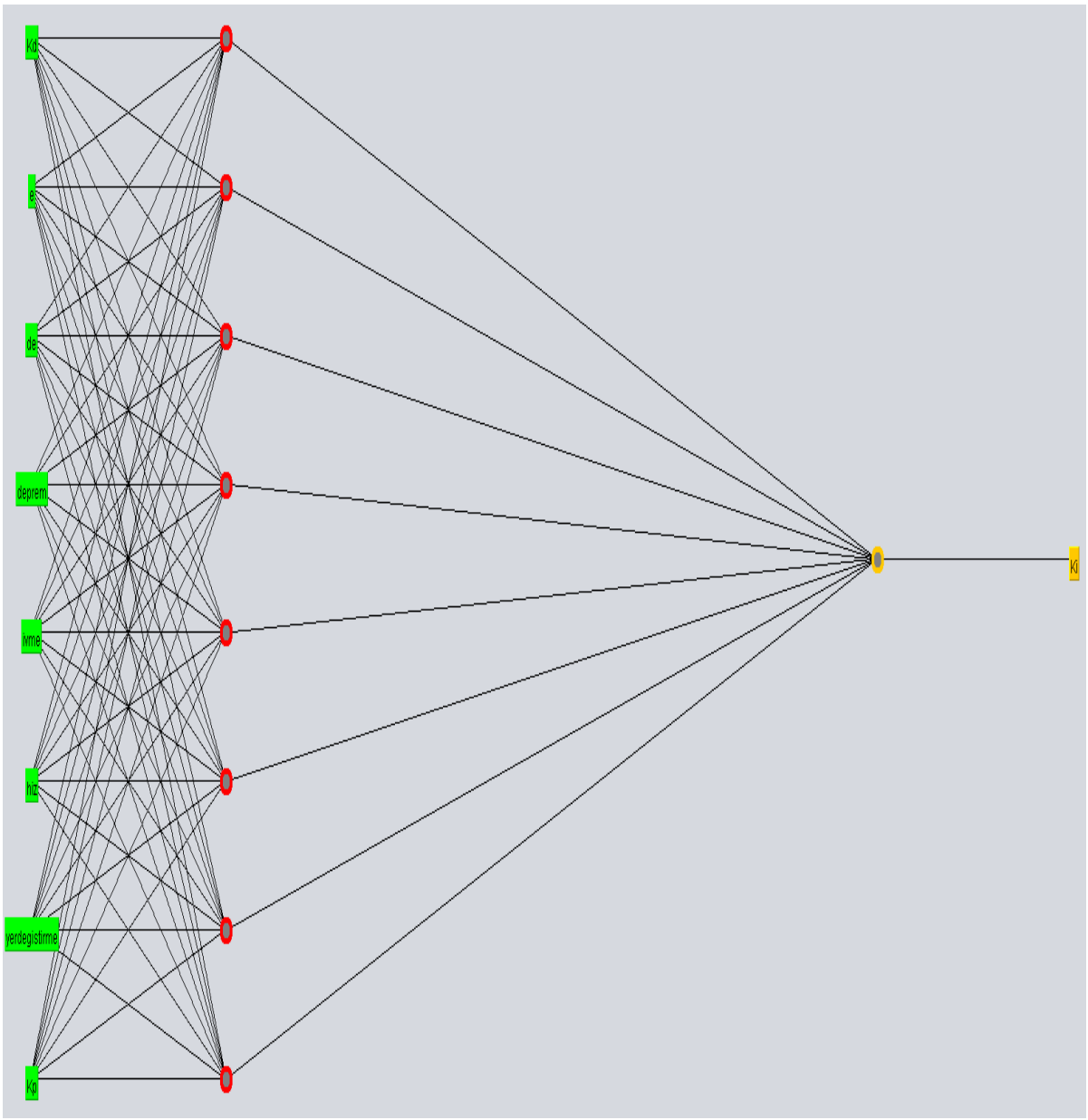
Şekil 3.4: Modele uygulanan deprem etkisi.

4. BULGULAR

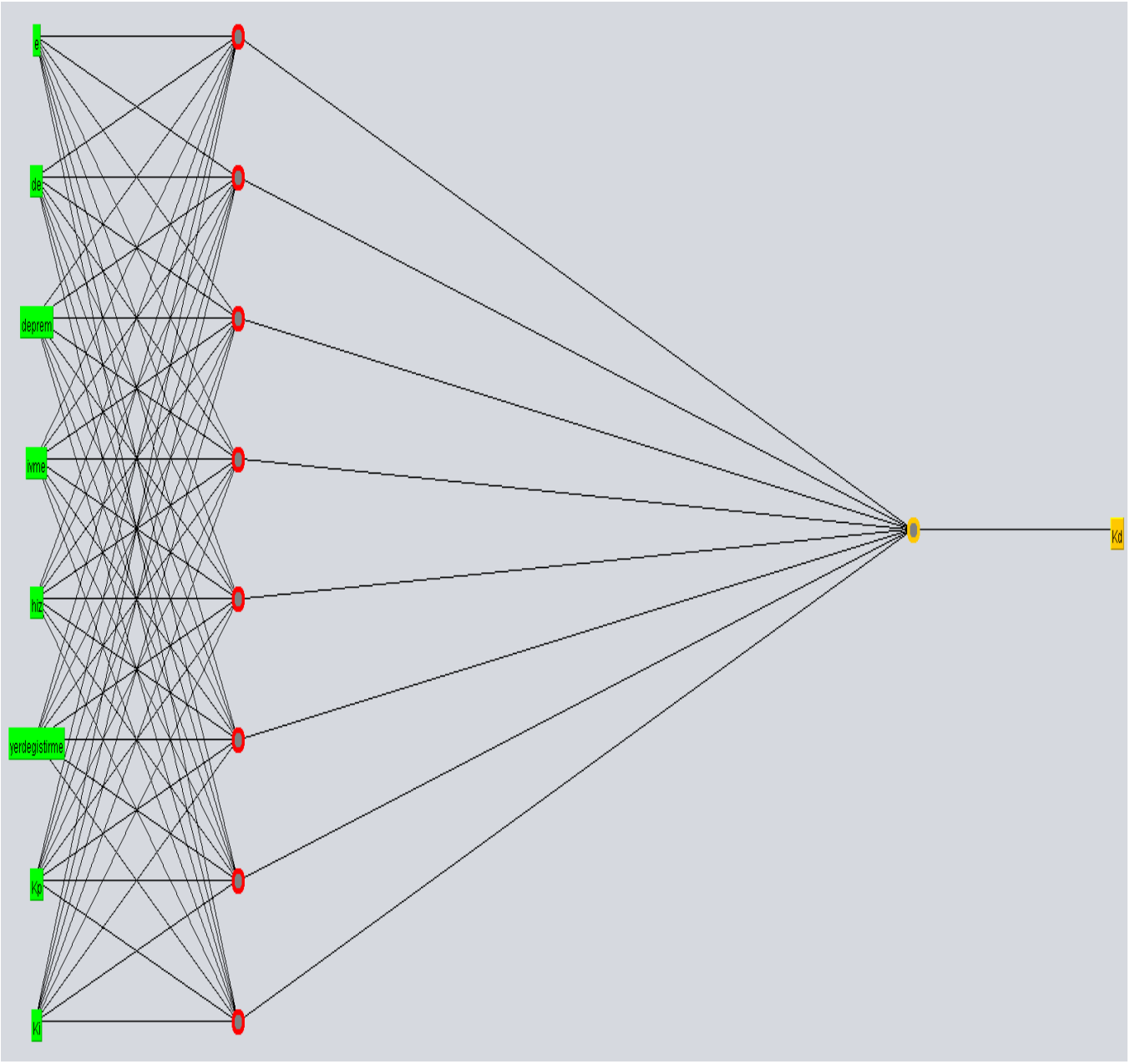
Bu kısımda belirlenen yapı modelinin tepkimeleri anlatılmıştır. Tek serbest dereceli aktif tendonlu yapı modelinin 5 farklı meta sezgisel algoritma ve yapay zekâ yöntemlerinin deprem kaydına göre sonucu verilmiştir. Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'te WEKA programı üzerinden oluşturulan şemalar gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Kp şeması.



Şekil 4.2: Ki şeması.



Şekil 4.3: Kd şeması.

4.1. Yapay Zekâ Yöntem Parametreleri

Tek serbest dereceli yapı modelinde kullanılacak olan kontrolcünün parametrelerinin belirlenebilmesi için birçok farklı yapay zekâ yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemler üzerinde yapılan incelemeler neticesinde birçok veri bulunmuştur. Kp, Ki ve Kd parametreleri için kullanılan Multilayer Perceptron (MLP), Bagging, IBk, Kstar, Additive Regression, Regression By Discretization, Random Forest ve Random Tree yöntemlerinden elde edilen veriler tablolarda detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 4.1: Kp verileri.

Yöntemler	Korelasyon Katsayısı	MAE	RMSE	RAE (%)	RRSE (%)
Multilayer Perceptron	0.0789	0.1034	0.1210	102.4304	104.3767
Bagging	0.8982	0.0785	0.0905	77.7275	78.0449
IBK (K-nearest neighbor)	1	0	0	0	0
KStar	0.8974	0.0262	0.0517	25.9759	44.6013
AdditiveRegression	0.4109	0.0929	0.1078	91.9885	92.986
RegressionByDiscretization	0.6625	0.0705	0.0869	69.8741	74.9047
Random Forest	0.9885	0.0381	0.0443	37.7772	338.1663
Random Tree	1	0.0004	0.0010	0.3614	0.8331

Tablo 4.2: Ki verileri.

Yöntemler	Korelasyon Katsayısı	MAE	RMSE	RAE %	RRSE %
Multilayer Perceptron	0.0517	0.026	0.0305	103.0038	104.8704
Bagging	0.8872	0.0195	0.0226	77.4774	77.8031
IBK (K-nearest neighbor)	1	0	0	0	0
KStar	0.8946	0.0066	0.0131	26.3587	45.1703
AdditiveRegression	0.4059	0.0231	0.027	91.7338	92.9365
RegressionByDiscretization	0.6551	0.0179	0.022	71.0758	75.5505
Random Forest	0.9809	0.0096	0.0113	37.9484	38.9025
Random Tree	1	0.0001	0.0002	0.3107	0.7498

Tablo 4.3: Kd verileri.

Yöntemler	Korelasyon Katsayısı	MAE	RMSE	RAE %	RRSE %
Multilayer Perceptron	0.0684	0.013	0.0155	105.9816	108.7722
Bagging					
IBK (K-nearest neighbor)	1	0	0	0	0
KStar	0.8962	0.0032	0.0064	26.0977	44.8583
AdditiveRegression	0.4064	0.0113	0.0133	91.7198	92.9868
RegressionByDiscretization	0.6522	0.0087	0.0108	70.8608	75.8048

Tablo 4.4 (devam): Kd verileri.

Yöntemler	Korelasyon Katsayısı	MAE	RMSE	RAE %	RRSE %
Random Forest	0.9871	0.0046	0.0054	37.7776	38.1869
Random Tree	0.9999	0.0001	0.0002	0.6625	1.3669

4.1.1. Ortalama Mutlak Hata (MAE)

İki sürekli değişken arasındaki fark ölçüsüne ortalama mutlak hata denir. Ortalama mutlak hata her orijinal değer ile veriye maksimum uyum gösteren çizgi arasındaki ortalama dikey mesafedir. Kolay anlamlandırabildiği için regresyon ve zaman serisi problemlerinde çoklukla seçilmektedir. Değer alırken sıfırdan sonsuza kadar bir kümeye sahiptir. Tahminleyici değeri ne kadar düşük olursa o kadar iyi performans sergilemektedir [46].

4.1.2. Kök Ortalama Kare Hata (RMSE)

Gerçek değerler ile modelin bulduğu değerler arasındaki mesafenin hesaplanmasında çokça seçilen hatanın büyüklüğünü ifade eden bir metriktir. Kısaca tahmin hatalarının standart sapması olarak adlandırılabilmektedir. Kök ortalama kare hata sıfırdan sonsuza kadar değer alabilir. Düşük değer alan tahminleyiciler daha iyi performans sergilemektedir. Kök ortalama kare hata sıfır ise model hata yapmamıştır [46].

4.1.3. Bağıl Mutlak Hata (RAE)

Bağıl mutlak hata tahmine dayalı bir modelin performansını ölçmenin bir yoludur. Makine öğrenimi veri madenciliği ve operasyon yönetiminde sıklıkla kullanılır. Bir ortalama hatayı önemsiz veya saf bir model tarafından üretilen hatalarla karşılaştıran bir oran olarak ifade edilmektedir.

4.1.4. Kök Bağıl Kare Hatası (RRSE)

Kök bağıl kare hatası regresyon gibi tahmine dayalı modeller için bir performans ölçümüdür. Modelin performansının ne kadar iyi olduğunun ilk göstergesini veren temel bir ölçümdür. Bağıl kare hatanın bir uzantısıdır.

5. TARTIŞMA

60 saniye boyunca deprem uygulanan yapı modeli MATLAB Simulink yardımıyla simülasyon yapılmıştır. Üretilen yapı modeline 5 farklı meta sezgisel algoritma ve 8 farklı yapay zekâ yönteminden elde edilen kontrolcü parametreleri uygulanmıştır. Elde edilen bu parametreler Tablo 5.1'de verilmiştir.

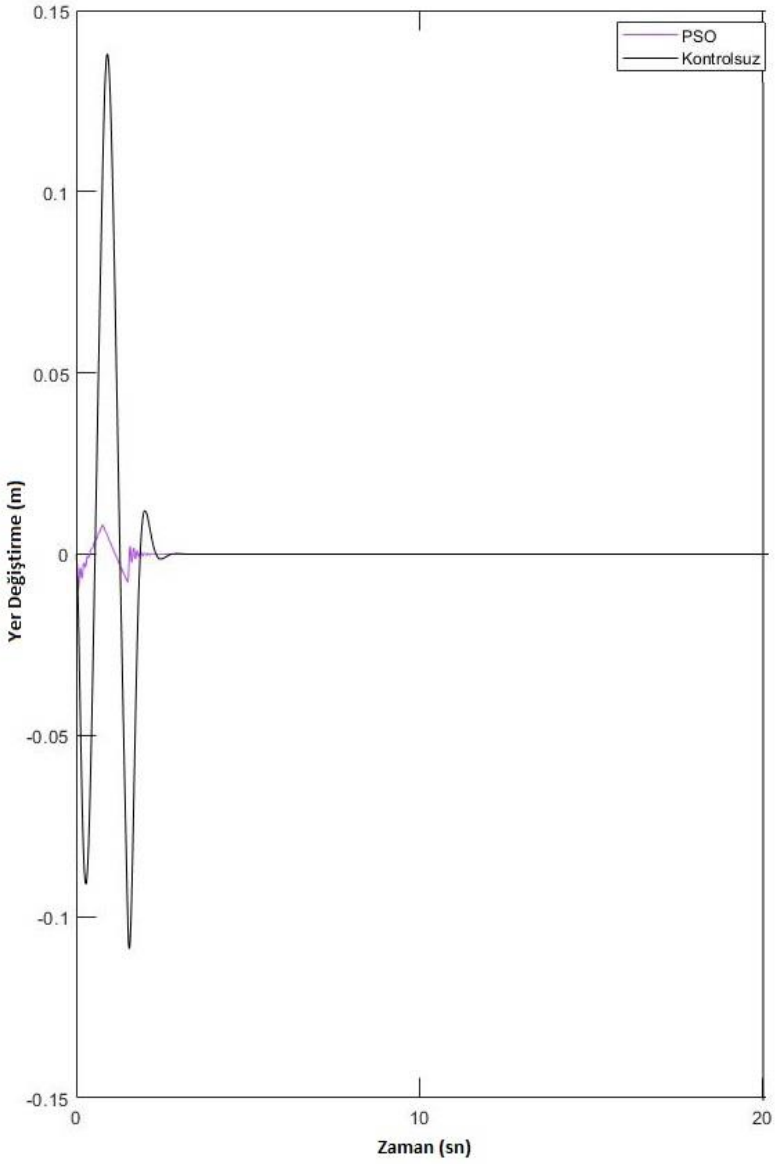
Tablo 5.1: Meta sezgisel algoritmalar ve yapay zekâ yöntemlerinden elde edilen parametreler.

	-Kp-	-Ki-	-Kd-
Parçacık Sürüsü Optimizasyonu	-1,7218	-0,5354	-0,1124
Yapay Arı Kolonisi Optimizasyonu	-1,8496	-0,5763	-0,1193
Gri Kurt Optimizasyon Algoritması-Parçacık Sürüsü Optimizasyonu Algoritması	-1,8048	-0,5063	-0,1105
Balina Optimizasyon Algoritması	-1,8264	-0,5867	-0,1340
Sinüs-Kosinüs Algoritması Optimizasyonu	-1,8469	-0,5191	-0,1133
Multilayer Perceptron	-1,6630	-0,5220	-0,1310
Bagging	-1,6920	-0,5440	-0,1290

Tablo 5.2 (devam) : Meta sezgisel algoritmalar ve yapay zekâ yöntemlerinden elde edilen parametreler.

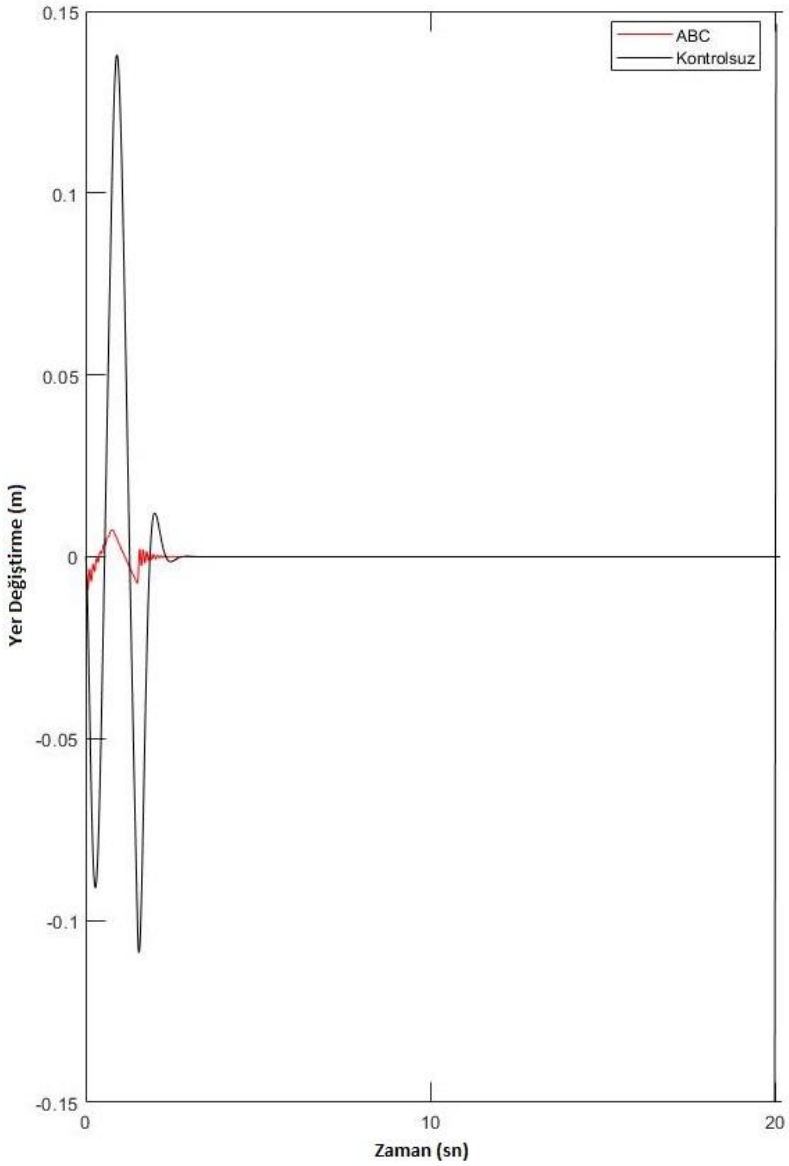
	-Kp-	-Ki-	-Kd-
IBk	-1,6900	-0,5430	-0,1350
KStar	-1,6010	-0,5430	-0,1350
Additive Regression	-1,6210	-0,5650	-0,1360
Regression By Discretization	-1,8280	-0,5510	-0,1280
Random Forest	-1,6630	-0,5460	-0,1310
Random Tree	-1,5700	-0,5450	-0,1350

MATLAB Simulink üzerinde oluşturulan yapı modeline tüm yöntemlerden elde edilen parametreler uygulandığında modelde oluşan hız, ivme ve yer değiştirme değerleri yorumlanmıştır. Şekil 5.1'de PSO algoritması kullanılarak belirlenen parametreleri kullanan kontrolcünün olduğu ve kontrolcünün bulunmadığı durumlar için oluşturulan grafikler gösterilmiştir.



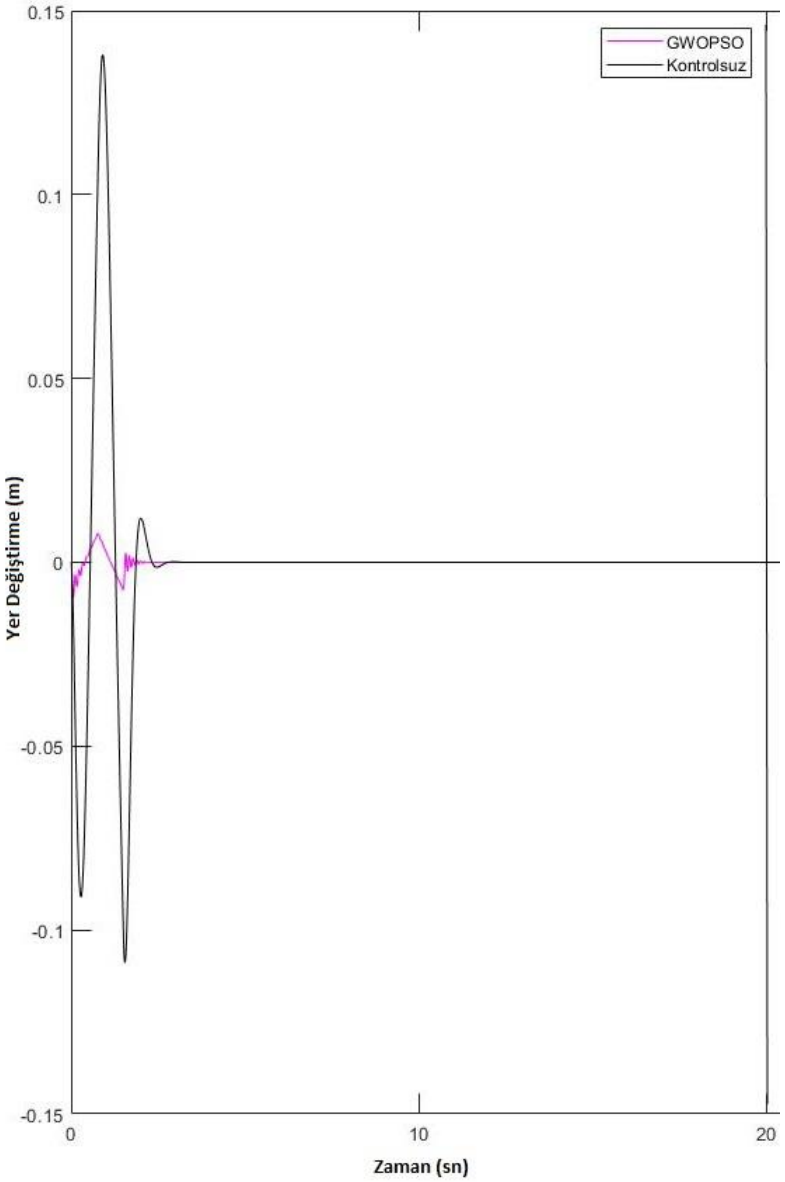
Şekil 5.1: Kontrollü (PSO-PID) ve kontrolsüz modellerde oluşan yer değiştirme grafiği.

Şekil 5.2'de ABC algoritması kullanılarak belirlenen parametreleri kullanan kontrolcünün olduğu ve kontrolcünün bulunmadığı durumlar için oluşturulan grafikler gösterilmiştir.



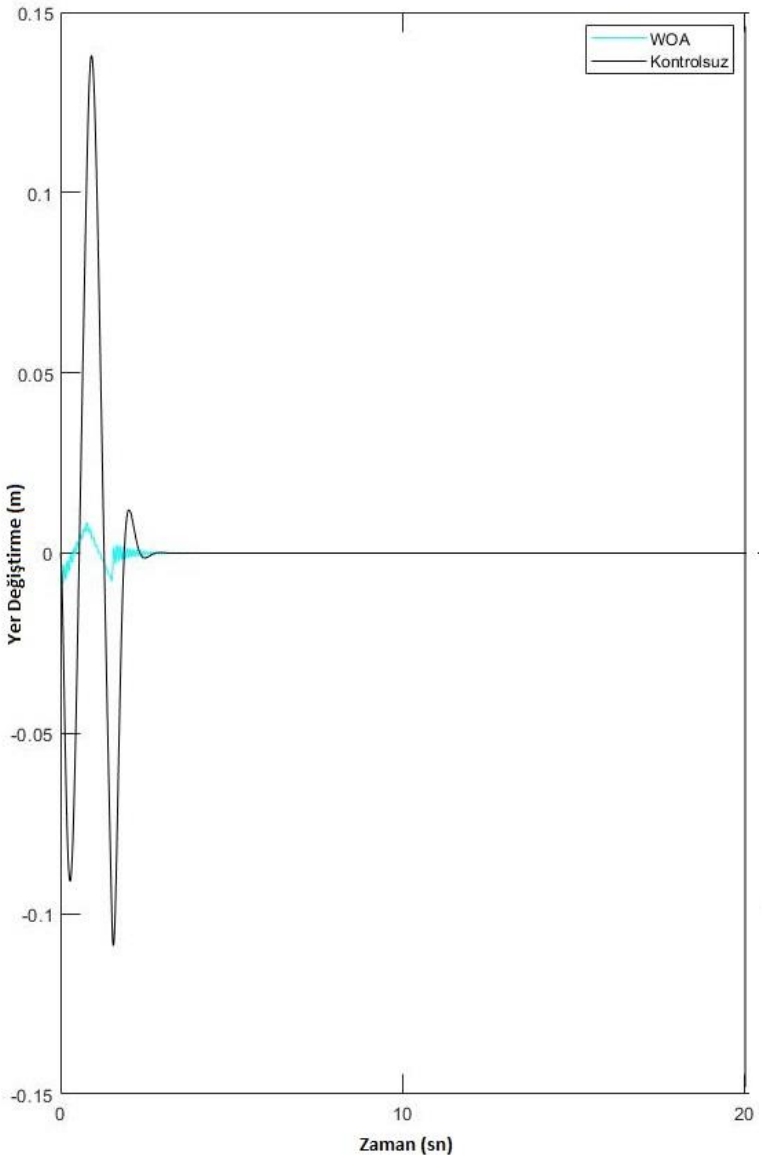
Şekil 5.2: Kontrollü (ABC-PID) ve kontrolsüz modellerde oluşan yer değiştirme grafiği.

Şekil 5.3'te GWO-PSO algoritması kullanılarak belirlenen parametreleri kullanan kontrolcünün olduğu ve kontrolcünün bulunmadığı durumlar için oluşturulan grafikler gösterilmiştir.



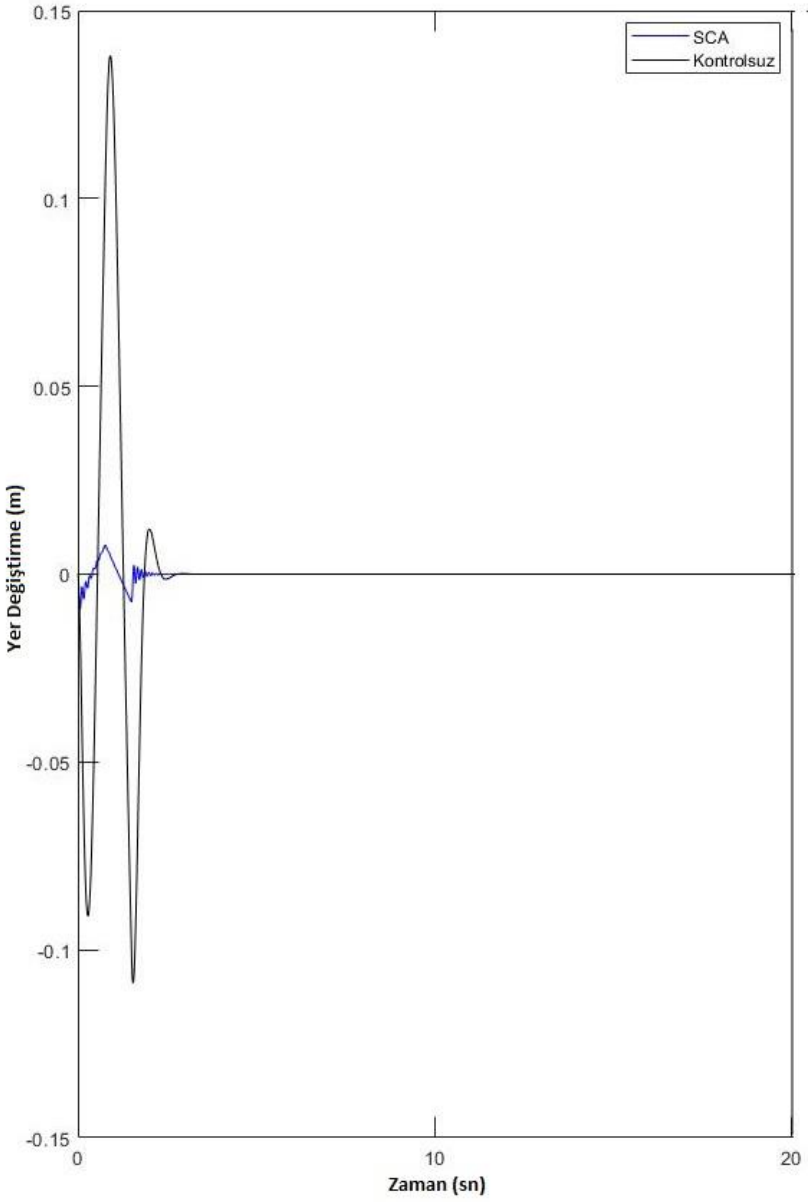
Şekil 5.3: Kontrollü (GWO-PSO-PID) ve kontrolsüz modellerde oluşan yer değiştirme grafiği.

Şekil 5.4'te WOA algoritması kullanılarak belirlenen parametreleri kullanan kontrolcünün olduğu ve kontrolcünün bulunmadığı durumlar için oluşturulan grafikler gösterilmiştir.



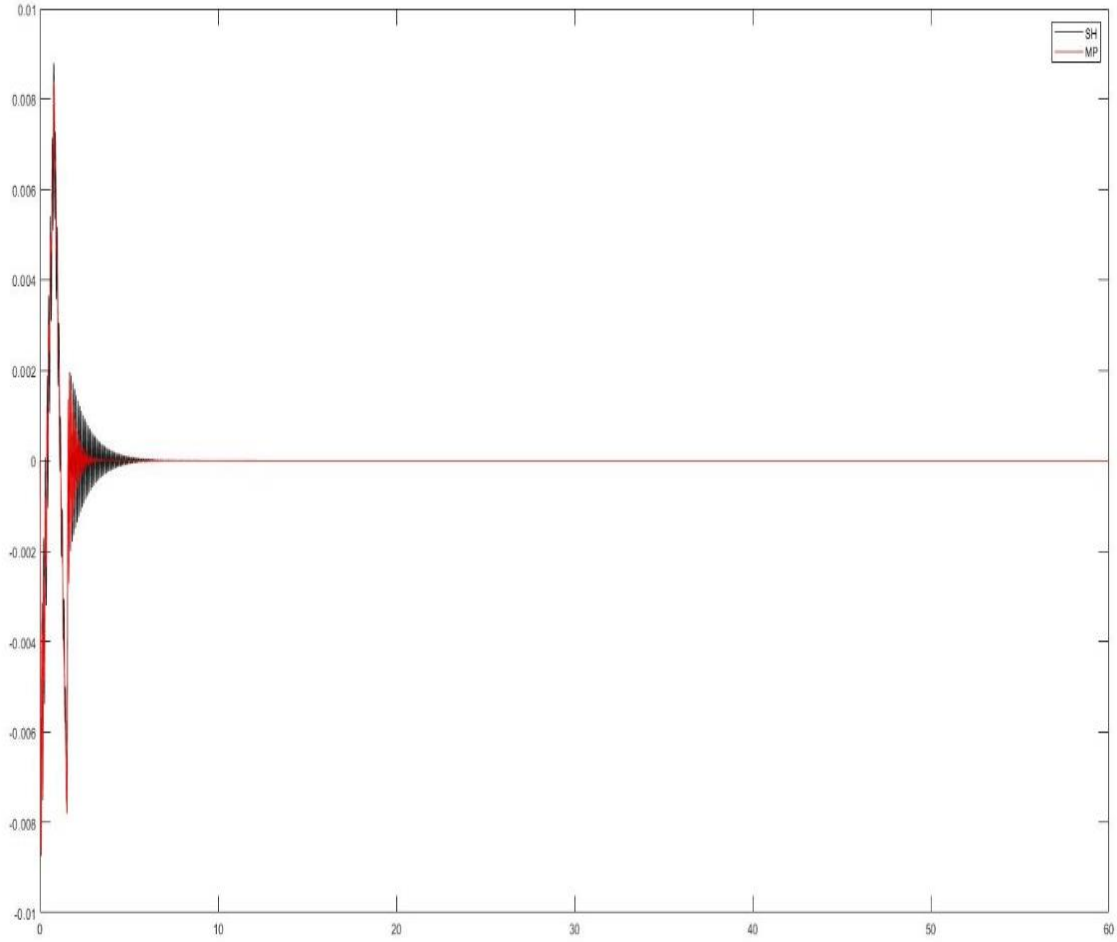
Şekil 5.4: Kontrollü (WOA-PID) ve kontrolsüz modellerde oluşan yer değiştirme grafiği.

Şekil 5.5'te SCA algoritması kullanılarak belirlenen parametreleri kullanan kontrolcünün olduğu ve kontrolcünün bulunmadığı durumlar için oluşturulan grafikler gösterilmiştir.



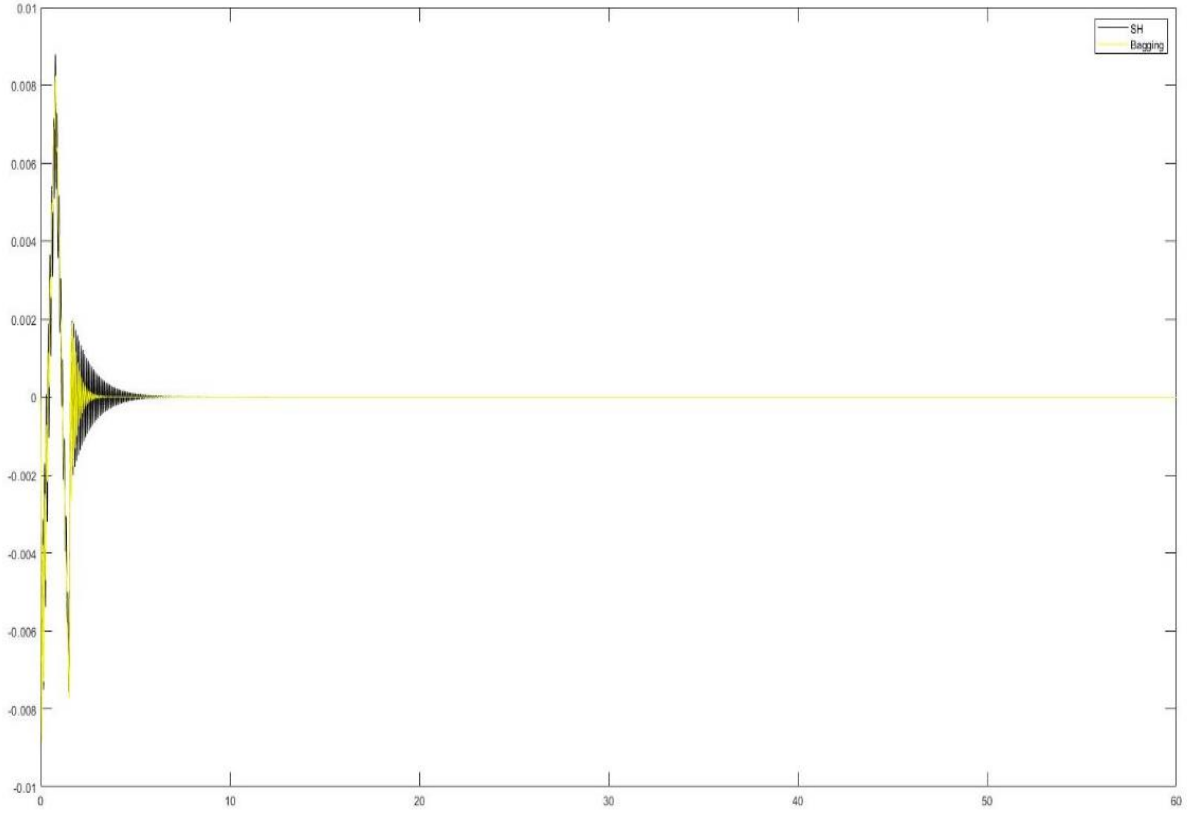
Şekil 5.5: Kontrollü (SCA-PID) ve kontrolsüz modellerde oluşan yer değiştirme grafiği.

Şekil 5.6’da MultiLayer Perceptron kullanılarak elde edilen parametrelerin kontrolcüye uygulandığında ve standart kontrolcü kullanıldığında yapıda meydana gelen yer değiştirmenin grafikleri verilmiştir.



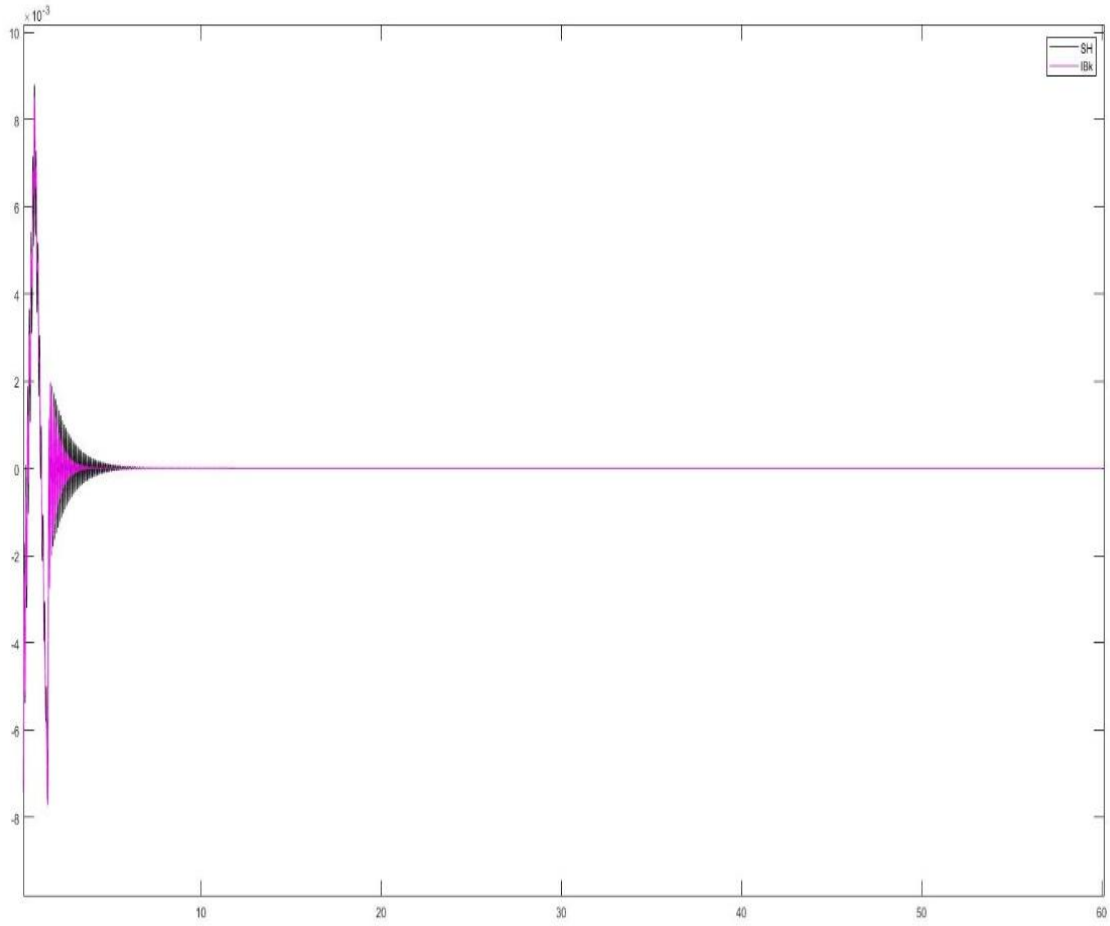
Şekil 5.6: Multilayer Perceptron kullanılarak elde edilen parametrelerin uygulandığı kontrolcünün ve standart kontrolcünün uygulandığı yapıda meydana gelen yer değiştirme grafiği.

Şekil 5.7'te Bagging kullanılarak elde edilen parametrelerin kontrolcüye uygulandığında ve standart kontrolcü kullanıldığında yapıda meydana gelen yer değiştirmenin grafikleri verilmiştir.



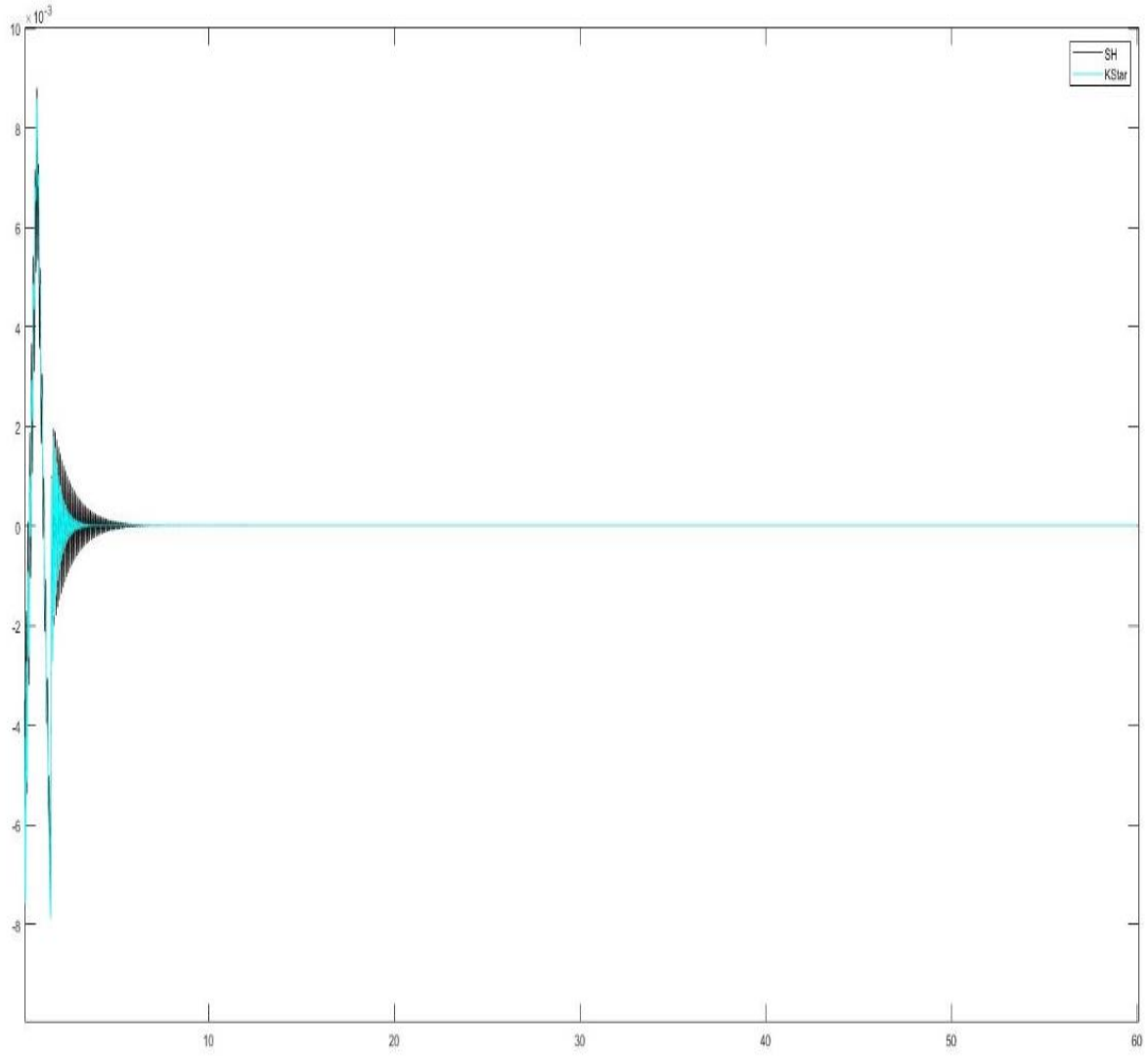
Şekil 5.7: Bagging kullanılarak elde edilen parametrelerin uygulandığı kontrolcünün ve standart kontrolcünün uygulandığı yapıda meydana gelen yer değiştirme grafiği.

Şekil 5.8'de IBk kullanılarak elde edilen parametrelerin kontrolcüye uygulandığında ve standart kontrolcü kullanıldığında yapıda meydana gelen yer değiştirmenin grafikleri verilmiştir.



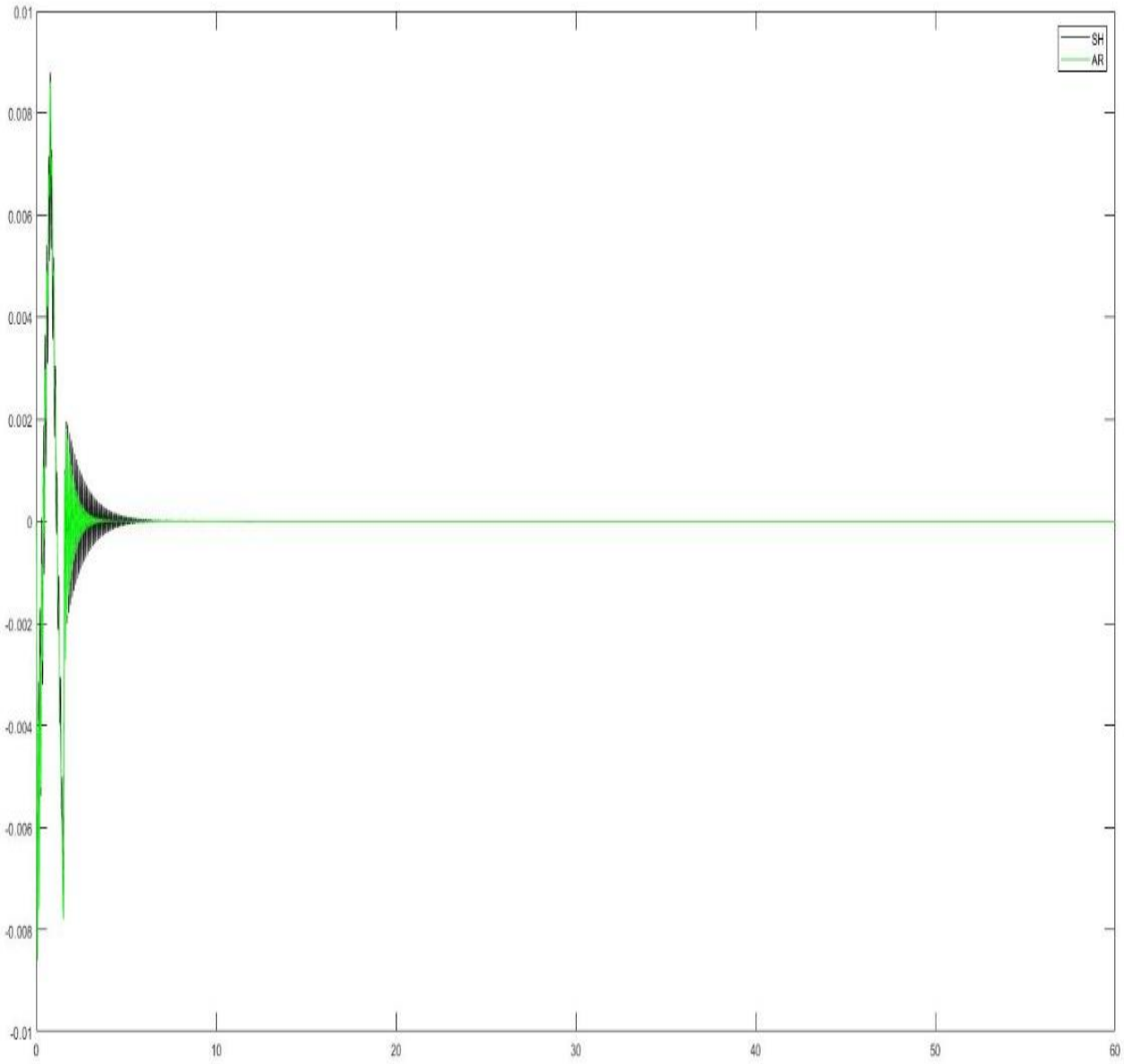
Şekil 5.8: IBK kullanılarak elde edilen parametrelerin uygulandığı kontrolcünün ve standart kontrolcünün uygulandığı yapıda meydana gelen yer değiştirme grafiği.

Şekil 5.9'da Kstar kullanılarak elde edilen parametrelerin kontrolcüye uygulandığında ve standart kontrolcü kullanıldığında yapıda meydana gelen yer değiştirmenin grafikleri verilmiştir.



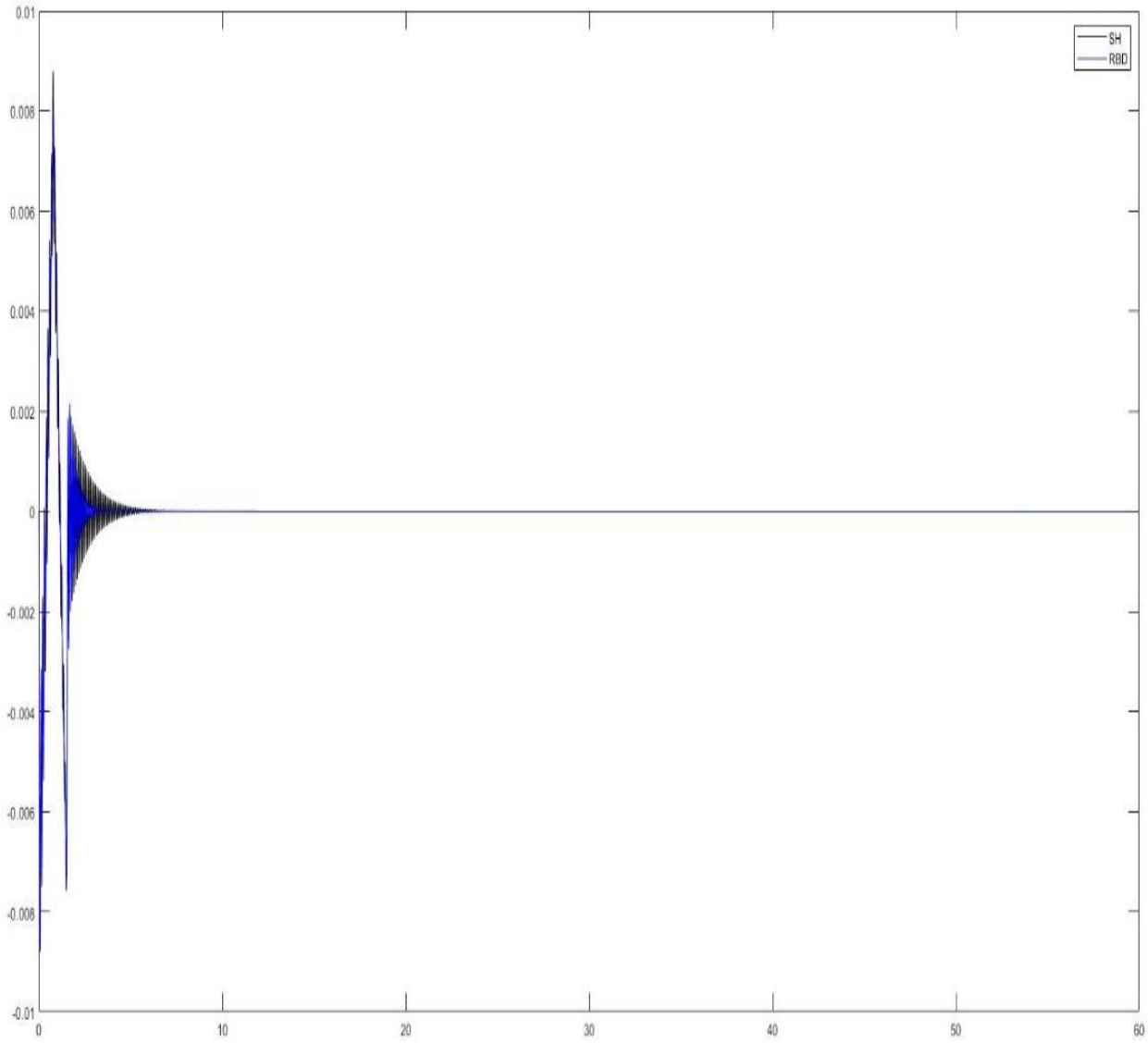
Şekil 5.9: KStar kullanılarak elde edilen parametrelerin uygulandığı kontrolcünün ve standart kontrolcünün uygulandığı yapıda meydana gelen yer değiştirme grafiği.

Şekil 5.10'ta Additive Regression kullanılarak elde edilen parametrelerin kontrolcüye uygulandığında ve standart kontrolcü kullanıldığında yapıda meydana gelen yer değiştirmenin grafikleri verilmiştir.



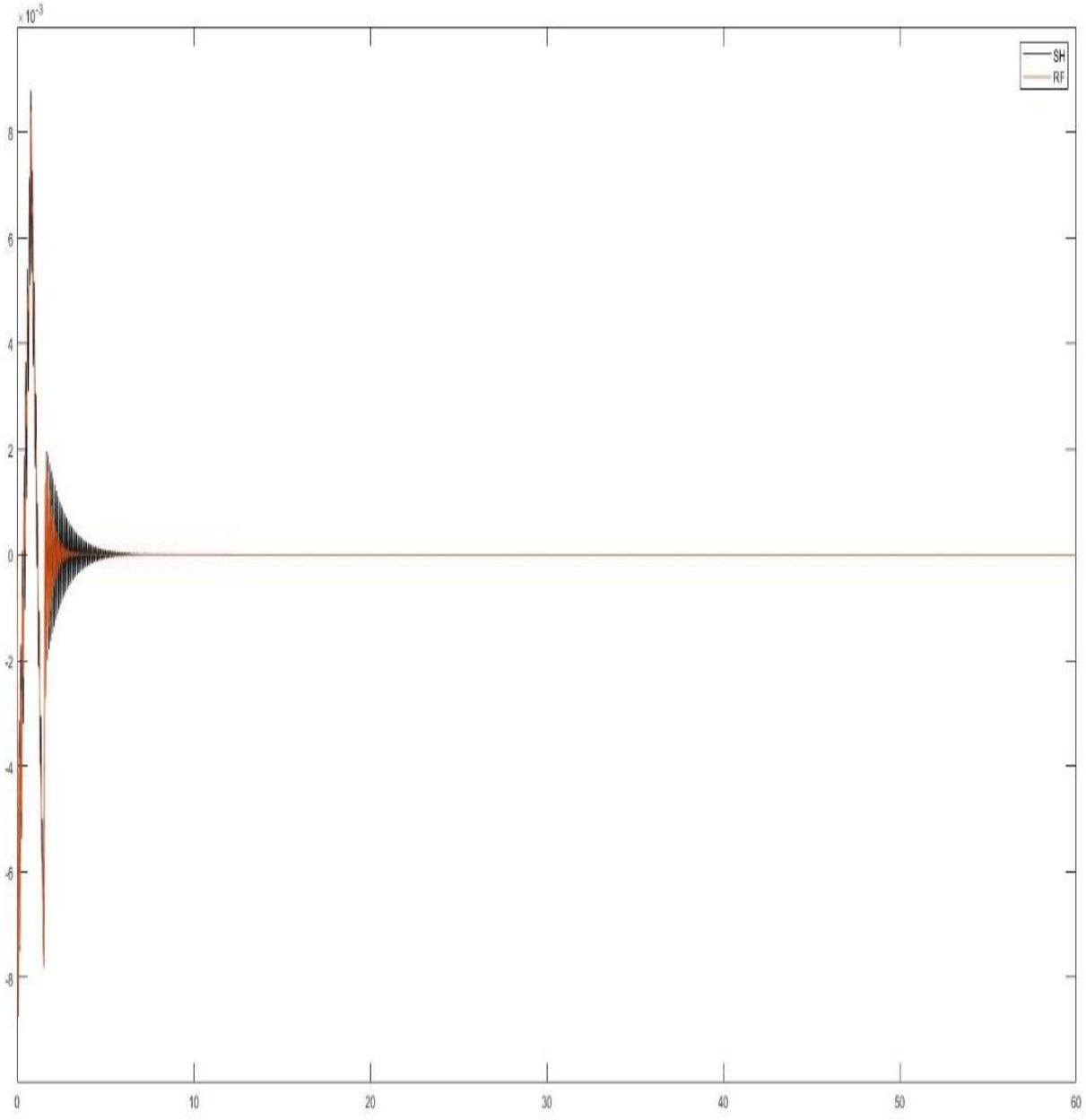
Şekil 5.10: Additive Regression kullanılarak elde edilen parametrelerin uygulandığı kontrolcünün ve standart kontrolcünün uygulandığı yapıda meydana gelen yer değiştirme grafiği.

Şekil 5.11'de Regression By Discretization kullanılarak elde edilen parametrelerin kontrolcüye uygulandığında ve standart kontrolcü kullanıldığında yapıda meydana gelen yer değiştirmenin grafikleri verilmiştir.



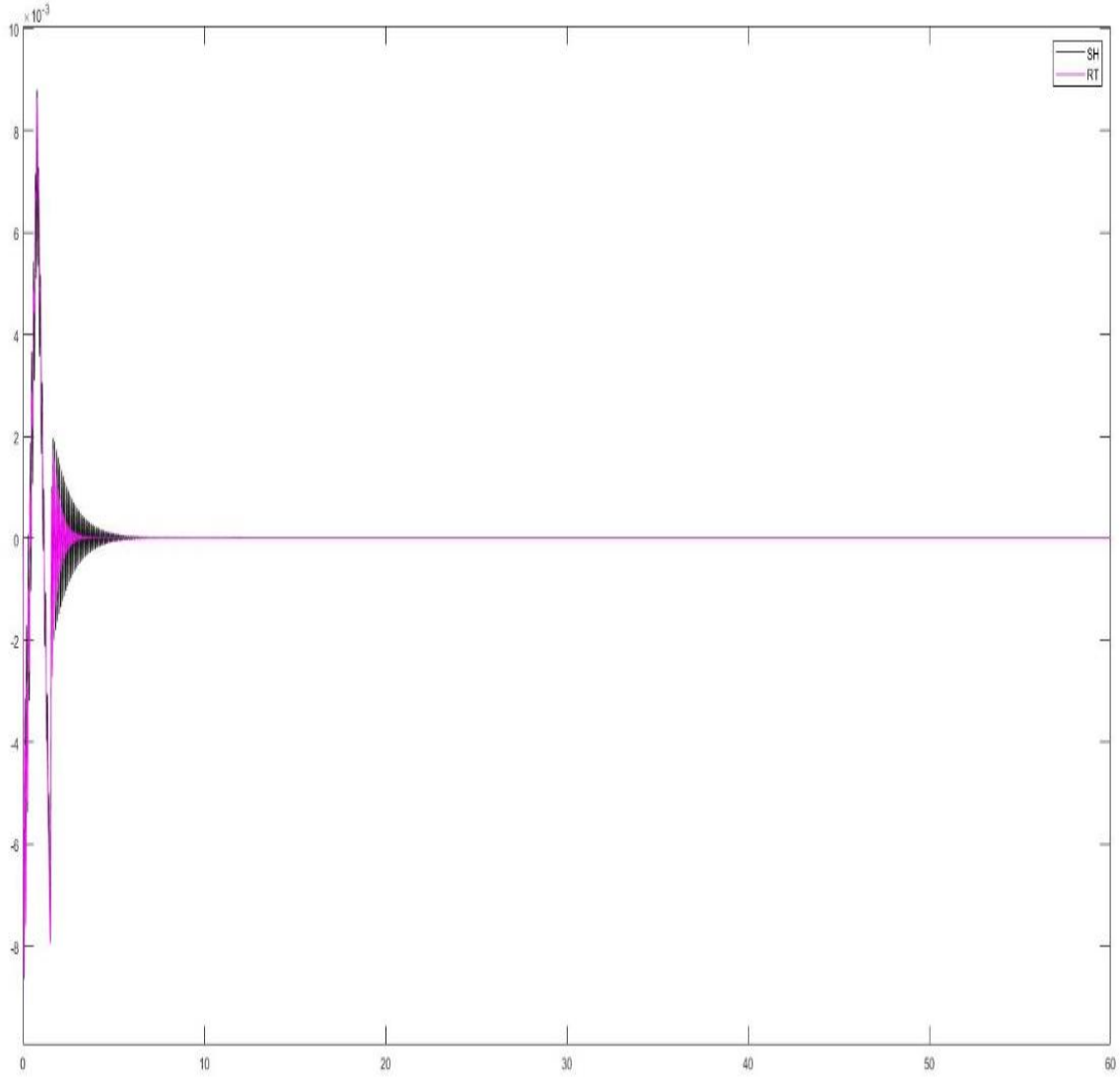
Şekil 5.11: Regression By Discretization kullanılarak elde edilen parametrelerin uygulandığı kontrolcünün ve standart kontrolcünün uygulandığı yapıda meydana gelen yer değiştirme grafiği.

Şekil 5.12'de Random Forest kullanılarak elde edilen parametrelerin kontrolcüye uygulandığında ve standart kontrolcü kullanıldığında yapıda meydana gelen yer değiştirmenin grafikleri verilmiştir.



Şekil 5.12: Random Forest kullanılarak elde edilen parametrelerin uygulandığı kontrolcünün ve standart kontrolcünün uygulandığı yapıda meydana gelen yer değiştirme grafiği.

Şekil 5.13'te Random Tree kullanılarak elde edilen parametrelerin kontrolcüye uygulandığında ve standart kontrolcü kullanıldığında yapıda meydana gelen yer değiştirmenin grafikleri verilmiştir.



Şekil 5.13: Random Tree kullanılarak elde edilen parametrelerin uygulandığı kontrolcünün ve standart kontrolcünün uygulandığı yapıda meydana gelen yer değiştirme grafiği.

Parametrelerin bulunmasında çalışılan farklı metotlar bulunmaktadır. Bu çalışmada meta sezgisel yöntemlerden 5 tanesi ve 8 farklı yapay zekâ yöntemleri kullanılarak kontrolcü parametreleri elde edilmiştir. Elde edilen parametrelerin değerlendirilmesi yapıldığında yöntemlerin elde ettikleri Kp, Ki ve Kd parametrelerinin aynı arama uzayında çalışması nedeniyle buldukları parametrelerin birbirlerine yakın olacak şekilde elde edildiği fark edilmiştir. Ulaşılan en büyük kanı; yapı modelinde uygulanan yöntemlerin bu çeşit modellerin kontrolü için büyük oranda yeterli olduğu anlaşılmıştır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Büyük uğraşlar verilmesine rağmen önlenemeyen nüfus artışı, insanların mecbur olarak aktif fay hatları üzerinde yaşamasına sebep olmuştur. Önceden kestirilememesi ve büyük kuvvetler meydana getirmesi sebebiyle deprem yapılarda öngörülemeyen yıkımlara neden olmuştur. Bu yıkımlar sonucunda binlerce insan hayatını kaybetmiştir. Teknolojide meydana gelen logaritmik artışla birlikte yapı mühendisliği branşında gerçekleştirilen çalışmalar hızlanmıştır. Aktif kontrol sistemleri üretilerek yapı zemin etkileşimi bulunan yapılarda kullanılmıştır. Yapıda meydana gelen deformeleri en aza indirmek için bu sistemler üretilmiştir. Aktif kontrol sistemlerinin vazgeçilmez öğelerinden birisi de aktif tendonlardır. Depremin yapıya uyguladığı etkinin en aza indirilmesinde aktif tendonların önemi büyüktür. Diğer önemli bir öğesi ise kontrolcülerdir. Kullanılan kontrolcü parametrelerinin etkili şekilde belirlenmesi sistemlerin faydalı olmasında büyük görev üstlenmektedir.

Tablo 6.1: Yöntemlerin karşılaştırılması.

	Maksimum Negatif Genlik Sönümleme (%)	Maksimum Pozitif Genlik Sönümleme (%)	Kontrolör Tepki Süresi (Saniye)
Parçacık Sürüsü Optimizasyonu	%99,9016	%99,9169	1,831 sn
Yapay Arı Kolonisi Optimizasyonu	%99,9053	%99,9232	1,823 sn
Gri Kurt Optimizasyon Algoritması-Parçacık Sürüsü Optimizasyonu Algoritması	%99,9012	%99,9182	1,837 sn
Balina Optimizasyon Algoritması	%99,9108	%99,9125	1,803 sn
Sinüs-Kosinüs Algoritması Optimizasyonu	%99,9027	%99,9200	1,828 sn

Tablo 6.2 (devam): Yöntemlerin karşılaştırılması.

	Maksimum Negatif Genlik Sönümleme (%)	Maksimum Pozitif Genlik Sönümleme (%)	Kontrolör Tepki Süresi (Saniye)
Multilayer Perceptron	%99,9090	%99,9129	1,711 sn
Bagging	%99,9084	%99,9143	1,712 sn
IBk	%99,9106	%99,9115	1,707 sn
KStar	%99,9103	%99,9108	1,707 sn
Additive Regression	%99,9107	%99,9107	1,706 sn
Regression By Discretization	%99,9086	%99,9172	1,714 sn
Random Forest	%99,9090	%99,9129	1,710 sn
Random Tree	%99,9101	%99,9104	1,707 sn
PID Kontrolör Kullanılmadığında	%98,8687	%98,5677	2,718 sn

Tablo 6.2 değerlendirildiğinde çalışılan yöntemlerde benzer sonuçlar elde edildiği bilgisine erişilmiştir. Bu bilginin ortaya çıkmasının en önemli sebebi objektif bir karşılaştırma yapılabilmesi hedefiyle tüm yöntemlerin aynı arama uzayında çalıştırılmış olmasıdır. Buna ek olarak bu durum modelin etkili faaliyet gösterdiğini anlatmaktadır. Meta sezgisel ve yapay zekâ yöntemleri hepsi bir arada değerlendirildiğinde bu model için en etkili yöntemin Random Tree olduğu anlaşılmıştır. Yapı modelinde Random Tree'den alınan parametrelerin kullanıldığı kontrolcü ile kontrolcü kullanılmadığı durumdaki grafikler yorumlandığında Random Tree kontrolcü ile çalışılan durumda maksimum genlik sönümleme katsayısının (pozitif) kontrolcü kullanılmadığı senaryodaki katsayıya göre 16,43 kat daha az, maksimum genlik sönümleme katsayısının (negatif) ise 14,34 kat daha az değere sahip olduğu anlaşılmıştır.

İleride çok serbest dereceli aktif tendonlu bir yapı modelinin oluşturularak farklı kontrol metotları ile kontrol edilmesi ve pratik olarak bir sarsma tablası yardımıyla oluşturulacak sanal deprem kuvvetlerinin bastırılması amacıyla uygulanması hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

[1]. Niğdeli S. M., Boduroğlu M. H., 2013, Active tendon control of torsionally irregular structures under near-fault ground motion excitation, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 28(9), 718-736.

[2]. Hacıoğlu Y., Özer O.O., Yağız N., 2016, Suppression of Structural Vibrations using PDPI+PI Type Fuzzy Logic Controlled Active Dynamic Absorber, *The Brazilian Society of Mechanical Science and Engineering*, 38, 2105-2115.

[3]. Kayabekir A. E., Bekdaş G., Niğdeli S. M., Geem Z. W., 2020, Optimum design of PID controlled active tuned mass damper via modified harmony search, *Applied Sciences*, 10(8), 2976.

[4]. Kayabekir, A. E., Niğdeli, S. M., Bekdaş, G., 2020b April, Robustness of Structures with Active Tuned Mass Dampers Optimized via Modified Harmony Search for Time Delay, *In International Conference on Harmony Search Algorithm*, 17 November 2020, Springer, Singapore, 53-60.

[5]. Batı, M., Beyen, K., 2020, 8 Katlı Yapının Dinamik Yükler Altında Titreşim Kontrolü, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3 (1), 65-76.

[6]. Şahin, A.K., Akyazı, E., Çakır, O., DC Motorun Hız Kontrolü İçin Meta Sezgisel Algoritma Tabanlı PID Denetleyici Tasarımı, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(2), 533-549.

[7]. Metsebo, J., Ndemanou, B. P., Chamgoue, A. C., Kol, G. R., 2021, Vibration reduction on a cantilever Timoshenko beam control subjected to combined effects of wind and earthquake loads using damped outriggers, *International Advanced Researches and Engineering Journal*,

5 (2), 247-259.

[8]. Ulusoy, S., 2019, *Yapı- Zemin Etkileşimi İçeren Bina Modellerinin Optimum Aktif Kontrolü*, Doktora, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa.

[9]. Sezer, K. S., 2021, *Düşük dereceli kontrolör tasarım yöntemlerinin incelenmesi ve geliştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa.

[10]. Kennedy, J., Eberhart, R., 1995, Particle Swarm Optimization, *Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks*, 1995, Perth, WA, Australia, 1942-1948.

[11]. *Sürü Davranışı*, https://tr.wikipedia.org/wiki/S%C3%BCr%C3%BC_davran%C4%B1%C5%9F%C4%B1, [Ziyaret Tarihi: 14 Haziran 2022].

[12]. Eberhart, R., Kennedy, J.,1995, A new optimizer using particle swarm theory, *MHS'95. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science*, 4-6 October 1995 Nagoya- Japan, IEEE, 39-43.

[13]. Van den Bergh, F., Engelbrecht, A. P., 2002, A new locally convergent particle swarm optimiser, *In IEEE International conference on systems, man and cybernetics*, 06-09 October 2002 Yasmine Hammamet, Tunisia, IEEE, ISBN:0-7803-7437-1, vol 3.

[14]. Poli, R., 2008, Analysis of the publications on the applications of particle swarm optimisation, *Journal of Artificial Evolution and Applications*.

[15]. Li X., Deb K., 2010, Comparing lbest PSO niching algorithms using different position update rules, *IEEE congress on evolutionary computation*, 18-23 July 2010 Barcelona, Spain, IEEE, 1-8.

[16]. Poli, R., Kennedy, J., Blackwell, T., 2007, Particle swarm optimization, *Swarm intelligence*, 1(1), 33-57.

[17]. Karaboğa D., 2005, *An Idia Basedton Honey Bee Swarm For Numerical Optimization*, Technical report-tr06, Erciyes university, engineering faculty, computer engineering department, vol 200, pp 1-10.

[18]. *İşçi arı*, https://tr.wikipedia.org/wiki/%C4%B0%C5%9F%C3%A7i_ar%C4%B1, [Ziyaret Tarihi: 14 Haziran 2022]

[19]. Karaboga D., Akay B.,2009, A comparative study of artificial bee colony algorithm, *Applied mathematics and computation*, 214 (1), 108-132.

[20]. 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.

[21]. Karaboga D., Akay B., 2010, Proportional-integral-derivative controller design by using artificial bee colony, harmony search, and the bees algorithms, *Journal of Systems and Control Engineering*, 224(7), 869-883, 2010.

[22]. Karaboga D., Basturk B., 2008, On the performance of artificialt beevcolony (ABC) algorithm, *Applied soft computing*, 8(1), 687-697.

[23]. Koç İ. , Baykan O., Babaoğlu I., 2018, Gri kurt optimizasyon algoritmasına dayanan çok seviyeli imge eşik seçimi, *Politeknik Dergisi*, 21(4), 841-847.

[24]. *Kurt*, https://tr.wikipedia.org/wiki/Kurt, [Ziyaret Tarihi: 14 Haziran 2022].

[25]. Mirjalili S., Mirjalili S., Lewis A.,2014, Grey Wolf Optimizer, *Advances in engineering software*, 69, 46-61.

[26]. Mirjalili S., Lewis A., 2016, The Whale Optimization Algorithm, *Advances in Engineering Software*, 89, 51-67.

[27] *Kambur balina*, https://tr.wikipedia.org/wiki/Kambur_balina, [Ziyaret Tarihi: 14 Haziran 2022].

[28]. Rana N., Latiff M., Abdulhamid S., Chiroma H.,2020, Whale optimization algorithm: a systematic review of contemporary applications, modifications and developments, *Neural Computing and Applications*, 32 (20), 16245-16277.

[29]. Mohammed H., Umar S., Rashid T., 2019, A Systematic and Meta-Analysis Survey of Whale Optimization Algorithm, *Computational Intelligence and Neuroscience*.

[30]. Mirjalili S., 2016, A Sine Cosinet Algorithm for Solving Optimization Problems, *Knowledge-Based Systems*, 96, 120-133.

[31]. Demir G., Tanyıldızı E., 2017, Optimizasyon Problemlerinin Çözümünde Sinüs Kosinüs Algoritması (SKA)'nın Kullanılması, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 29, 225-236.

[32]. Ekinci S., 2019, Optimal design of power system stabilizer using sine cosine algorithm, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(3), 1329-1350.

[33]. Batur Dinler, Ö., Aydın, N., 2020, An Optimal Feature Parameter Set Based on Gated Recurrent Unit Recurrent Neural Networks for Speech Segment Detection, *Applied Sciences.* 10(4), 1273.

[34].Işıkhan, E., 2020, *Multi Layer Perceptron (MLP) Nedir?*, https://isikhanelif.medium.com/multi-layer-perceptron-mlp-nedir-4758285a7f15, [Ziyaret Tarihi : 14 Haziran 2022]

[35]. Ay, Ş., 2019, *Ensemble Learning — Bagging ve Boosting*, https://medium.com/deep-learning-turkiye/ensemble-learning-bagging-ve-boosting-50643428b22b, [Ziyaret Tarihi : 14 Haziran 2022]

[36]. Özhan, E., 2014, Yapay Zekâ Yöntemleri İle Dünya Depremlerinin Modellenebilirliği, *In 2nd International Symposium On Innovative Technologies In Engineering And Science*, 18- 20 June 2014 Karabuk, Turkey, 18-20.

[37]. Çalışkan, S.K., Soğukpınar,İ., 2008, KxKnn: K-Means Ve K En Yakın Komşu Yöntemleri İle Ağlarda Nüfuz Tespiti, *2.Ağ ve Bilgi Güvenliği Ulusal Sempozyumu,* Girne, KKTC, 120-124.

[38]. Ebren Kara, Ş. & Şamlı, R., 2021, Yazılım Projelerinin Maliyet Tahmini için WEKA'da Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Karşılaştırmalı Analizi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 23, 415-426.

[39].https://weka.sourceforge.io/doc.dev/weka/classifiers/meta/AdditiveRegression.html, [Ziyaret Tarihi: 14 Haziran 2022].

[40]https://weka.sourceforge.io/doc.dev/weka/classifiers/meta/RegressionByDiscretization.html, [Ziyaret Tarihi: 14 Haziran 2022].

[41]. Korkem,E., 2013, *Mikroarray Gen Ekspresyon Veri Setlerinde Random Forest Ve Naïve Bayes Sınıflama Yöntemleri Yaklaşımı*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi.

[42]. Akman, M., Genç,Y., Ankaralı H, 2011, Random Forests Yöntemi ve Sağlık Alanında Bir Uygulama, *Turkiye Klinikleri J Biostat 2011*,3(1), 36-48.

[43]. Yılmaz, H., 2014, *Random Forests Yönteminde Kayıp Veri Probleminin İncelenmesi Ve Sağlık Alanında Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi,Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.

[44]. https://www.javatpoint.com/machine-learning-random-forest-algorithm, [Ziyaret Tarihi: 14 Haziran 2022].

[45]. Soong, T. T., Reinhorn, A. M., Yang, J. N., 1988, Active response control of building structures under seismic excitation. *In Proceedings of 9th world conference on earthquake engineering*, 2-9 August 1988 Tokyo/Kyoto, Japan, 453-458.

[46].https://veribilimcisi.com/2017/07/14/mse-rmse-mae-mape-metrikleri-nedir/,[Ziyaret Tarihi:14 Haziran 2022]

ETİK KURUL İZİN YAZISI

Uyarı: Canlı denekler üzerinde yapılan tüm araştırmalar için Etik Kurul Belgesi alınması zorunludur.

☐ **Etik Kurul izni gerekmektedir.**

☒ **Etik Kurul izni gerekmemektedir.**

Mert Yahya YILMAZ
(İmza)

KURUM İZNİ YAZILARI

Uyarı: Canlı ve cansız deneklerle yapılan tüm çalışmalar için kurum izin belgelerinin eklenmesi zorunludur. Gizlilik ve mahremiyet içeren durumlarda kurum adı kapatılmalıdır.

☐ **Kurum izni gerekmektedir.**

☒ **Kurum izni gerekmemektedir.**

Mert Yahya YILMAZ
(İmza)