



**SU DÖNGÜSÜ ALGORİTMASI İLE PID VE KAYAN KIPLİ KONTROL
PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU**

Harun GÜR

**YÜKSEK LİSANS
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2020

Harun GÜR tarafından hazırlanan “SU DÖNGÜSÜ ALGORİTMASI İLE PID VE KAYAN KIPLI KONTROL PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Murat FURAT

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Ahmet TEKE

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Çukurova Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Doç. Dr. Oğuzhan AKGÖL, İskenderun Teknik Üniversitesi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 19 / 09 / 2020

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Tolga DEPCI

Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İmza

Harun GÜR

19 / 09 / 2020

SU DÖNGÜSÜ ALGORİTMASI İLE PID VE KAYAN KIPLİ KONTROL PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

(Yüksek Lisans Tezi)

Harun GÜR

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EYLÜL 2020

ÖZET

Endüstriyel alanda kontrol sistemleri, üretimin önemli unsurlarından biridir. Üretim sürecinin her adımında yapılan kontroller ile ürünün istenilen özelliklerde elde edilmesi sağlanır. Bunu sağlamak için gerekli şartlardan biri, seçilen kontrol sistem parametrelerinin uygun olmasıdır. Bu bağlamda, endüstriyel alanda PID kontrolcüsü, parametre sayısı ve uygulanan parametrelerin sisteme olan etkisinin gözlemlenebilmesinden dolayı en çok tercih edilen kontrolcülerdendir. Matematiksel modelleme ve açık-kapalı çevrim sistem cevaplarına dayalı yöntemler kullanılarak yapılan ayarlama yöntemleri literatürde mevcuttur. Bununla beraber, son yıllarda meta-sezgisel yöntemlerin de popüler olarak kullanıldığı görülmektedir. Ayrıca, PID için alternatif kontrol türü olan kayan kipli kontrol yöntemi de literatürde gerçek sistemler için önerilen bir kontrolcü türüdür. Her iki kontrol türü, gerçek sistemlerde iyi ayarlandığı takdirde yeterli düzeyde istenen çıkışı verebilmektedir. Ancak, her kontrol edilen sistemin yapısına uygun bir ayarlama yöntemi bulunmamaktadır. Son yıllarda bu sorunu aşmak için önerilen ayarlama yöntemi meta-sezgisel arama yöntemidir. Meta-sezgisel yöntemler, doğadaki çeşitli olaylardan esinlenilerek hazırlanan optimizasyon yöntemleridir. Bu yöntemlerin en önemli özelliği sürü tabanlı arama algoritmaları olup kontrol sisteminin matematiksel modellemesine ihtiyaç duymamasıdır. Bu yönü ile karmaşık kontrol sistemlerinin optimizasyonunda iyi sonuçlar verebilmektedir. Bu çalışmada meta sezgisel yöntemlerden bir olan Su Döngüsü Algoritması PID ve kayan kipli kontrol parametrelerinin ayarlanması için seçilmiştir. Seçilen sadece bir uygunluk fonksiyonuna dayalı bu algoritmalar ile bu fonksiyonu minimum yapacak parametreler aranır. Literatürde hataya bağlı performans fonksiyonlarından bir tane ya da birkaçının beraber kullanılması ile farklı arama uzayları içinde optimum parametreler aranır. Kontrol parametrelerinin her birinin farklı özellikler göstermesinden dolayı bu çalışmada özelleştirilmiş uygunluk fonksiyonları önerilmiştir. Böylece optimum parametrelerin bulunmasında hızlı sonuç alınmıştır. Elde edilen sonuçlar hem grafiksel hem de istatistiksel olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler : Kayan Kipli Kontrol, Su Döngüsü Algoritması, Meta Sezgisel Algoritma, Optimizasyon, PID, Uygunluk Fonksiyonu
Sayfa Adedi : 69
Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Murat FURAT

OPTIMIZATION OF PID AND SLIDING MODE CONTROL PARAMETERS WITH WATER CYCLE ALGORITHM

(M. Sc. Thesis)

Harun GÜR

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

SEPTEMBER 2020

ABSTRACT

Control systems in the industrial field are one of the important elements of production. With the controls performed at every step of the production process, it is ensured that the product is obtained with the desired properties. One of the necessary conditions to achieve this is that the selected control system parameters are appropriate. In this context, the PID controller is one of the most preferred controllers in the industrial field due to the fact that the number of parameters and the effect of the applied parameters on the system can be observed. Tuning methods using mathematical modeling and the methods based on open and closed loop system responses are available in the literature. However, it is seen that meta-heuristic methods are also used popularly in recent years. In addition, the sliding mode control method, which is an alternative controller for PID, is a type of controller suggested for real systems in the literature. Using both of the controllers, sufficient level of desired output can be obtained if well-tuned in real systems. However, there is no tuning method suitable for the structure of every controlled system. In recent years, the suggested tuning methods to overcome this problem are the meta-heuristic search algorithms. Meta-heuristic algorithms are optimization methods inspired by various events in nature. The most important feature of these algorithms is population-based search algorithms and the mathematical model of the controlled system is not needed. With this aspect, it can give good results in the optimization of complex control systems. In this study, Water Cycle Algorithm, which is one of the new meta-heuristic methods, was chosen to find optimum parameters PID and sliding mode controller. With these algorithms based on a single selected fitness function, the parameters that will make the function minimum are searched. In the literature, by using one or more of the error-based performance functions together, optimum parameters are searched in different search spaces. Since each of the control parameters shows different properties, customized fitness functions are proposed in this study. Thus, results were obtained fast in finding the optimum parameters. The obtained results are presented both graphically and statistically.

Key Words : Slide Mode Control, Water Cycle Algorithm, Meta Heuristic Optimization, Optimization, PID, Fitness Function.

Page Number : 69

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Murat FURAT

TEŐEKKÖR

Tez alıőmamda planlanmasında, araőtırılmasında, yűrűtűlmesinde ve oluőturulmasında ilgi ve desteęini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrűbelerinden yararlandıęım, yűnlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller iőıęında őekillendiren danıőmanım Dr. Őęr. Ŭyesi Murat FURAT'a ve yűksek lisans Őęretim sűresince manevi desteęini eksik etmeyen Eőim Melike GŬR'e sonsuz teőekkűrlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Optimizasyon Yöntemleri.....	1
1.2 Su Döngüsü Algoritması ve Kontrolcü Optimizasyonu	3
1.3 Doğada Su Döngüsü	6
1.4 Su Döngüsü Algoritması.....	7
2. MATERYAL VE METOT	8
2.1 DC Motor Modeli	8
2.2 Bant Sınırlı Gürültü Üreteci.....	8
2.3 PID Kontrol Sistemi.....	9
2.4 Kayan Kipli Kontrol (Sliding Mode Control, SMC)	10
2.5 KKK Sisteminin Matematiksel Modellemesi	11
2.6 KKK Sistemi Blok Diyagramı.....	15
2.7 SDA Matematiksel Modellemesi.....	16
2.8 Su Döngüsü Algoritma Yazılımı Kuralları.....	19

2.9 Su Döngüsü Algoritma Yazılımı Algoritma Adımları	20
3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	23
4. SONUÇ	62
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	67
DİZİN	69



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1 Deneysel çalışma için SDA ön değerler.....	21
Çizelge 3.1 PID için simülasyon sonuçları	23
Çizelge 3.2 PID için en iyi parametre değerleri	26
Çizelge 3.3. KKK için simülasyon sonuçları.....	43
Çizelge 3.4. KKK için en iyi parametre değerleri	43

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1 Optimizasyon yöntemleri.....	2
Şekil 1.2 Su Akış Diyagramı	6
Şekil 1.3 Su Akış şematığı	7
Şekil 2.1 Simülasyon için DC motor modeli	8
Şekil 2.2 Su Döngüsü Algoritması ile PID ayarlama için blok diyagram	9
Şekil 3.3 SDA ile Kayan Kipli Kontrol parametrelerinin ayarlanması için blok diyagram	16
Şekil 2.4. Konum Değişirme.....	21
Şekil 2.5 Su Döngüsü Algoritması akış diyagramı	22
Şekil 3.1 20 iterasyon 10 yağmur damlası sonucu elde edilen PID parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi	25
Şekil 3.2 PID parametreleri için 20 iterasyon 10 yağmur damlası ile elde edilen uygunluk fonksiyonları değişimi.....	26
Şekil 3.3 20 iterasyon 50 yağmur damlası sonucu elde edilen PID parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi	27
Şekil 3.4 PID parametreleri için 20 iterasyon 50 yağmur damlası ile elde edilen uygunluk fonksiyonları değişimi.....	28
Şekil 3.5 20 iterasyon 100 yağmur damlası sonucu elde edilen PID parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi	29
Şekil 3.6 PID parametreleri için 20 iterasyon 100 yağmur damlası ile elde edilen uygunluk fonksiyonları değişimi.....	30
Şekil 3.7 50 iterasyon 10 yağmur damlası sonucu elde edilen PID parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi	31
Şekil 3.8 PID parametreleri için 50 iterasyon 10 yağmur damlası ile elde edilen uygunluk fonksiyonları değişimi.....	32
Şekil 3.9 50 yağmur damlası 50 iterasyon sonucu elde edilen PID parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi	33
Şekil 3.10 PID parametreleri için 50 yağmur damlası 50 iterasyon ile elde edilen uygunluk fonksiyonları değişimi.....	34

Şekil	Sayfa
Şekil 3.11 50 yağmur damlası 100 iterasyon sonucu elde edilen PID parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi	35
Şekil 3.12 PID parametreleri için 50 yağmur damlası 100 iterasyon ile elde edilen uygunluk fonksiyonları değişimi.....	36
Şekil 3.13 100 yağmur damlası 10 iterasyon sonucu elde edilen PID parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi	37
Şekil 3.14 PID parametreleri için 100 yağmur damlası 10 iterasyon ile elde edilen uygunluk fonksiyonları değişimi.....	38
Şekil 3.15 100 yağmur damlası 50 iterasyon sonucu elde edilen PID parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi	39
Şekil 3.16 PID parametreleri için 100 yağmur damlası 50 iterasyon ile elde edilen uygunluk fonksiyonları değişimi.....	40
Şekil 3.17 100 yağmur damlası 100 iterasyon sonucu elde edilen PID parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi	41
Şekil 3.18 PID parametreleri için 100 yağmur damlası 100 iterasyon ile elde edilen uygunluk fonksiyonları değişimi.....	42
Şekil 3.19 30 iterasyon 30 yağmur damlası sonucu elde edilen KKK parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi	44
Şekil 3.20 KKK parametreleri için 30 iterasyon 30 yağmur damlası ile elde edilen uygunluk fonksiyonları değişimi.....	45
Şekil 3.21 30 iterasyon 50 yağmur damlası sonucu elde edilen KKK parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi	46
Şekil 3.22 KKK parametreleri için 30 iterasyon 50 yağmur damlası ile elde edilen uygunluk fonksiyonları değişimi.....	47
Şekil 3.23 30 iterasyon 100 yağmur damlası sonucu elde edilen KKK parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi	48
Şekil 3.24 KKK parametreleri için 30 iterasyon 100 yağmur damlası ile elde edilen uygunluk fonksiyonları değişimi.....	49
Şekil 3.25 50 iterasyon 30 yağmur damlası sonucu elde edilen KKK parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi	50
Şekil 3.26 KKK parametreleri için 50 iterasyon 30 yağmur damlası ile elde edilen uygunluk fonksiyonları değişimi.....	51

Şekil**Sayfa**

Şekil 3.27 50 iterasyon 50 yağmur damlası sonucu elde edilen KKK parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi	52
Şekil 3.28 KKK parametreleri için 50 iterasyon 50 yağmur damlası ile elde edilen uygunluk fonksiyonları değişimi.....	53
Şekil 3.29 50 iterasyon 100 yağmur damlası sonucu elde edilen KKK parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi	54
Şekil 3.30 KKK parametreleri için 50 iterasyon 100 yağmur damlası ile elde edilen uygunluk fonksiyonları değişimi.....	55
Şekil 3.31 100 iterasyon 30 yağmur damlası sonucu elde edilen KKK parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi	56
Şekil 3.32 KKK parametreleri için 100 iterasyon 30 yağmur damlası ile elde edilen uygunluk fonksiyonları değişimi.....	57
Şekil 3.33 100 iterasyon 50 yağmur damlası sonucu elde edilen KKK parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi	58
Şekil 3.34 KKK parametreleri için 100 iterasyon 50 yağmur damlası ile elde edilen uygunluk fonksiyonları değişimi.....	59
Şekil 3.35 100 iterasyon 100 yağmur damlası sonucu elde edilen KKK parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi	60
Şekil 3.36 100 iterasyon 100 yağmur damlası sonucu elde edilen KKK parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi	61

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

μ

Açıklamalar

Denize yakın arama bölgesi aralığını gösteren bir katsayıdır.

ms

Mili Saniye

σ

Standart sapma

k_p

PID Oransal Kontrol Parametresi

k_i

PID İntegral Kontrol Parametresi

k_d

PID Türev Kontrol Parametresi

λ

KKK Eşdeğer Kontrol Parametresi

β

KKK Adaptif Kontrol Parametresi

k_{sw}

KKK Anahtarlama Kontrol Parametresi

f_p

PID Oransal Kontrol için uygunluk fonksiyonu

f_i

PID İntegral Kontrol için uygunluk fonksiyonu

f_d

PID Türev Kontrol için uygunluk fonksiyonu

f_λ

KKK algoritmasında eşdeğer kontrol sinyali için uygunluk fonksiyonu

f_{ksw}

KKK algoritmasında anahtarlama kontrol sinyali için uygunluk fonksiyonu

Kısaltmalar**C****Açıklamalar**

(İng. COST) Maliyet Fonksiyonu

D

Yoğunluk

DC

Doğru Akım

ISE

(İng. Inter al Squared Error) Hatanın karesinin integrali

IEEE

(İng. International Electric and Electronic Engineering) Uluslararası Elektrik ve Elektronik Mühendisliği

ITAE

(İng. Inter al Time Absolute Error) Mutlak hatanın zamanla çarpımının integrali

KKK

Kayan Kipli Kontrol

LB

(İng. Lower Bound) Alt Sınır

NPOP

Popülasyon Sayısı

PID

(İng. Proportional Integral Derivative) Oransal-İntegral-Türevsel

RAND

(İng. Random) Rasgele

SDA

Su Döngüsü Algoritması

SMC

(İng. Sliding Mode Control) Kayan Kipli Kontrol

SR

(Stream) Nehir

UB

(İng. Upper Bound) Üst Sınır

VAR

Varyans

YD

Yağmur Damlası

1. GİRİŞ

Kontrol sistemlerinde kullanılan optimizasyon yöntemleri, istenilen çıkış verilerinin enerji açısından daha verimli daha stabil ve daha hızlı cevap alınabilmesini sağlamaktadır. Kontrol sistemlerinde yapılan optimizasyon için genellikle yapay zeka, matematiksel modelleme yöntemleri, doğadan esinlenerek oluşturulan meta-sezgisel yöntemler (sürü optimizasyon algoritmaları, biyo-esinlenme algoritmaları, fizik ve kimyasal tabanlı algoritmalar vb.) yöntemler kullanılmaktadır (Şekil 1.1) [1].

Bu yaygın kullanılan yöntemler incelendiğinde; yapay zekâ tabanlı yöntemler uzmanlık gerektiren yöntemlerdir. Matematiksel modelleme yöntemleri ise ele alınan sistemin tüm parametrelerini sistem karakteristiğine etkisinin bilinmesi gerektiğinden oldukça karmaşıktır. Her iki yöntemin de olumlu yönü istenilen amaca yönelik iyi sonuçlar alınabilmesidir [1]. Ancak, pratik uygulamalarda uzmanlık gerektirdiğinden çok tercih edilmemektedir.

Meta sezgisel yöntemlerin en önemli iki özelliği matematiksel tabanlı olmaması ve uzmanlık gerektirmemesidir olarak söylenebilir. Pratikte kolaylıkla uygulanabilen bu yöntemler, doğada gerçekleşen olayların matematiksel olarak ifade edilmesine dayalı olup en iyi çözümü bulma amacıyla oldukça iyi sonuçlar verebilmektedir [2].

1.1. Optimizasyon Yöntemleri

Meta-sezgisel yöntemler arasında yaygın olarak aşağıdaki sürü optimizasyonu tabanlı yöntemler literatürde oldukça fazla çalışılmaktadır. Bunlar arasında:

- Parçacık sürüsü Optimizasyonu [3],
- Yapay Arı Kolonisi Algoritması [4],
- Karınca Kolonisi Algoritması [5],
- Arı Sürüsü Algoritması [6],
- Havai Fişek Algoritması [7]

sayılabilir.



Şekil 1.1. Optimizasyon yöntemleri

Bunların dışında, biyolojik olaylardan esinlenerek geliştirilen algoritmalar da mevcuttur [1]:

- Atmosfer Bulut Modeli
- Japon Ağaç Kurbağası Çağrısı
- Balık Sürüsü Algoritması
- Gen Oluşumu
- Termit Kolonisi Optimizasyonu

Ayrıca, fizik ve kimya tabanlı olayların matematiksel ifadelerinden yola çıkılarak elde edilen algoritmalarda kullanılmaktadır [1]:

- Gen Oluşumu Optimizasyonu
- Kara Delik Optimizasyonu
- Merkezkaç Optimizasyonu
- Spiral Optimizasyon
- Su Döngüsü Algoritması

1.2. Su Döngüsü Algoritması ve Kontrolcü Optimizasyonu

Yapay zeka tabanlı [8-10], matematiksel ve çıkış grafiğine bağlı yöntemler işlem yükü ve hesaplama süresi bakımından zaman alan yöntemlerdir. Bu açıdan değerlendirildiğinde, son zamanlarda meta-sezgisel algoritmaların çıkışı umut verici olmuştur. Meta-sezgisel algoritma çeşitleri, uygulanacağı sistemler için uyumluluk açısından değerlendirilerek uygulandığında çok daha yüksek oranda iyi sonuçlar alınmaktadır. Bu çalışmada PID ve KKK için optimum parametrelerin aranması amacıyla olarak Su Döngüsü Algoritması kullanılmıştır. Geleneksel olarak, birden fazla parametrenin olduğu problemlerde, tek bir uygunluk fonksiyonu kullanılarak arama yapılmaktadır [8]. Ancak, PID kontrolcünün her bir parametresinin uygulanan sistemin çıkışına etkisi farklı olduğundan farklı uygunluk fonksiyonları tanımlanarak optimum değerlerin aranması daha doğru sonuçlar verecektir. Uygunluk fonksiyonları olarak, literatürde sıklıkla tercih edilen hataya bağlı birikim yapan performans fonksiyonları kullanılmıştır [9].

SDA, su döngüsü sürecinin ve nehirlerin ve akarsuların doğada denize doğru yokuş aşağı doğru nasıl aktığının gözlemine dayanmaktadır [11]. İlk olarak mühendislik optimizasyon problemlerini çözmek için. SDA'nın GA ve PSO'ya kıyasla daha geniş bir çözüm yelpazesi bulabildiğini gösterdiler. GA ve PSO ile karşılaştırıldığında, SDA, birçok karmaşık mühendislik optimizasyon problemine iyi çözüm nitelikleri sağlamada önemli başarı göstermiştir. Literatürde, rezervuar sistemlerinin optimum çalışmasını bulmak için SDA'yı kullanılmıştır [12]. Elde edilen optimizasyon sonuçları, SDA'nın rezervuar işletim problemlerinin çözümünde yüksek verimliliğini ve güvenilirliğini göstermektedir.

Bir başka çalışmada optimum reaktif güç dağıtım sorunlarını tespit etmek için SDA'yı kullanılmıştır [13]. SDA'nın standart IEEE 30 veri yolu test sistemlerine uygulandığını ve simülasyon sonuçlarının SDA'nın gerçek güç kaybını azaltmadaki üstün performansını açıkça gösterdiğini iddia etmişlerdir.

Kaba küme teorisindeki nitelik azaltma problemleri için SDA seçilmiştir [14]. Bulgularına dayanarak, SDA'nın optimal öznitelik seçimini tespit etmek için diğer yöntemlerden eşit derecede veya hatta daha iyi performans gösterdiği gösterilmiştir.

SDA'nın nicelleştirilmiş SDA (QSDA) olarak adlandırılan geliştirilmiş bir versiyonunu önermiş ve anten dizisi örüntü sentezini çözmek için uygulanmıştır. QSDA'nın dahili niceleme mekanizması, optimizasyondan sonra basit yuvarlama yukarı / aşağı yuvarlama rutinleri yerine faz kaydırıcının ayrı değerleriyle eşleşen dijital değerleri elde etmek için kullanılır. Bu nedenle, çok amaçlı portföy optimizasyonu problemini çözmek için çok amaçlı SDA'yı önermişlerdir [15,16].

Ayrıca, çok amaçlı fonksiyonlara sahip portföy optimizasyonu problemi, geleneksel yaklaşımlar kullanılarak verimli bir şekilde çözülemeyeceği ortaya konulmuş, SDA kullanarak portföy optimizasyon problemine yönelik çok amaçlı bir üst-sezgisel yaklaşımı önerilmiştir [17].

Güç sistemlerindeki yük frekansının PID ile ayarlanması amacıyla yapılan çalışmada en iyi PID parametrelerinin bulunması amacıyla SDA kullanılmış, farklı yüklerde sistemin dinamik performansı araştırılmıştır. Uygunluk fonksiyonu olarak sadece ITAE performans fonksiyonu kullanılmıştır [18].

Otonom mikro şebekenin verimli yönetilmesi amacıyla sadece PI kontrolcü parametrelerinin optimizasyonu ISE performans fonksiyonu ile yapılmıştır. SDA ile elde edilen simülasyon sonuçları GA tabanlı PI kontrolcü sonuçları ile karşılaştırıldığında daha iyi olduğu ortaya konmuştur [19].

Şebekeye bağlı dalga enerjisi dönüşüm sistemlerinde geçici rejimin kararlılığının sağlanması amacıyla güç dönüştürücü devrelerinde kullanılan PI kontrolcünün parametrelerinin ayarlanmasında SDA önerilmiştir. SDA ile elde edilen simülasyon sonuçları GA tabanlı PI kontrolcü sonuçları ile karşılaştırılıp bu tür doğrusal olmayan sistemler için uygun bir meta-sezgisel algoritma olduğu ortaya konulmuştur [20].

Otomatik voltaj regülatörünün terminal voltajının ayarlanmasında kullanılan PID kontrolcünün optimizasyonu için SDA önerilmiş, elde edilen sonuçlarda parametrik belirsizliklere, referans değeri değişikliklerine ve dış bozuculara karşı etkili PID parametreleri bulunduğu belirtilmiştir [21].

Anahtarlamaalı relüktans motorunun minimum tork dalgalanmasıyla ve amper başına torkun en iyileşmesi amacıyla yapılan bir çalışmada optimizasyon yöntemi olarak SDA kullanılmıştır. Genetik algoritma ile yapılan karşılaştırma sonucunda önerilen optimizasyon algoritmasının geçici rejimde daha iyi sonuçlar verdiği ortaya konulmuştur [22].

Hibrit güç sistemlerinde frekans kararlılığı için merkezi PID kontrolcünün parametrelerinin optimizasyonunda kullanılan SDA ile yapılan çalışmada farklı yük profillerinde elde edilen sonuçlar parçacık sürüsü optimizasyonu ve genetik algoritma ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, SDA ile yapılan optimizasyon sonucu PID kontrolcünün geçici rejimde daha iyi olduğunu göstermiştir [23].

Yakıt hücrelerinin performansını etkileyen en önemli faktörlerden biri maksimum güç noktasının doğru takip edilmesidir. SDA tabanlı yapılan maksimum güç noktasının takibinde yüksek doğruluk ve hızlı cevap alınmıştır [24].

Sıcaklığının PI kontrolcü ile kontrol edildiği ısı akış deneyinde kontrolcü parametreleri SDA ile optimize edilmiştir. Optimizasyon algoritmasında ISE, ITAE ve IAE uygunluk fonksiyonlarının kombinasyonu tek bir uygunluk fonksiyonu kullanılmıştır [25].

Elektrik kesintilerine yol açan güç sistemlerinin parametrelerinin yanlış ayarlanması problemine karşı SDA tabanlı bir çözüm önerilmiştir [26].

Yukarıdaki çalışmalar, SDA algoritmasının birçok farklı optimizasyon probleminin çözümünde etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir. Bu nedenden dolayı, bu çalışma için SDA PID ve KKK optimizasyonunda seçilmiş, mevcut çalışmalardan farklı olarak her parametre için ayrı uygunluk fonksiyonu tanımlanarak optimum parametrelerin aranmasında önemli zaman tasarrufu sağlanmıştır.

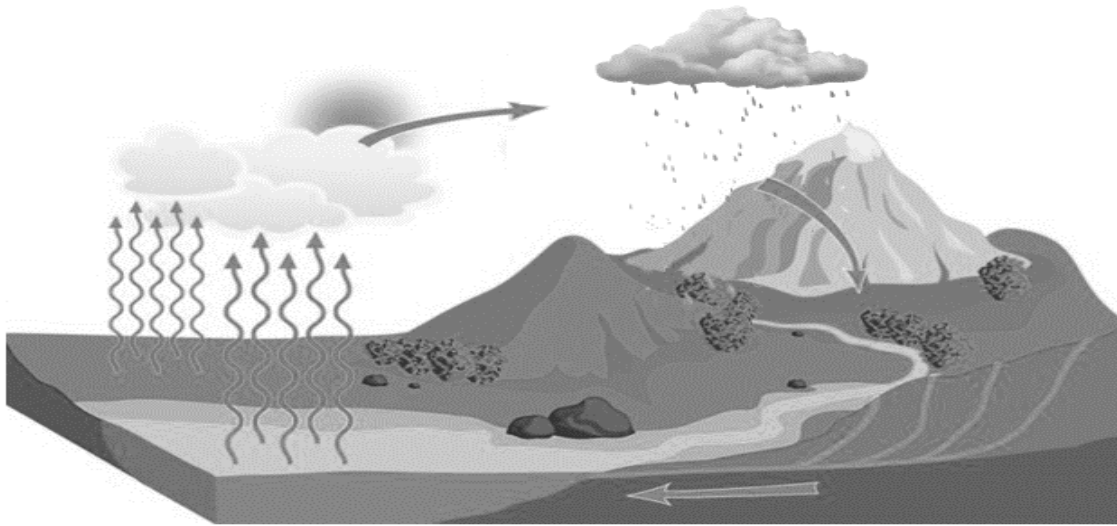
Çalışmanın geri kalanı şu şekilde organize edilmiştir:

- Materyal ve Metot bölümünde ilk olarak simülasyon çalışmalarında kullanılan sistem modeli anlatılmıştır. PID ve KKK yapılarına yer verilmiş ve bunların optimizasyonu için kurulan sistem anlatılmıştır. Ardından, SDA için matematiksel modelleme, yazılım kuralları ve algoritmanın oluşturulması ele alınmıştır.

- Araştırma Sonuçları ve Tartışma bölümünde, yapılan simülasyon çalışmalarına ilişkin grafik ve analizlere yer verilmiştir. İstatistikî bilgiler çizelgeler ile ortaya konulmuştur.
- Son bölümde, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır.

1.3. Doğada Su Döngüsü

Su, doğada ısı kaynaklı sürekli bir çevrim içerisinde. Bu çevrim, okyanus ve denizlerde buharlaşma ile başlar, yükselen buhar birleşerek bulutları oluşturur. Bulutlar ısı kaybı kaynaklı yoğunlaşarak su damlacıklarını oluşturur. Su damlacıkları yağmurlar şeklinde yeniden yeryüzüne iner. Karaya düşen su, yer çekiminin etkisi ve akışkanlığı gereği sürekli deniz seviyesine doğru hareket eğilimindedir. Bu hareketinde birleşme eğilimi içerisinde olduğu müddetçe dereleri, nehirleri oluşturur ve ana hedef okyanus ve denizlere doğru akışını güçlendirerek sürdürür. Nihayetinde okyanus ve denizlere ulaşan su, döngüsünü tamamlar ve ısı kaynağı olduğu müddetçe bu döngüsünü sürdürür.



Şekil 1.2. Su akış diyagramı

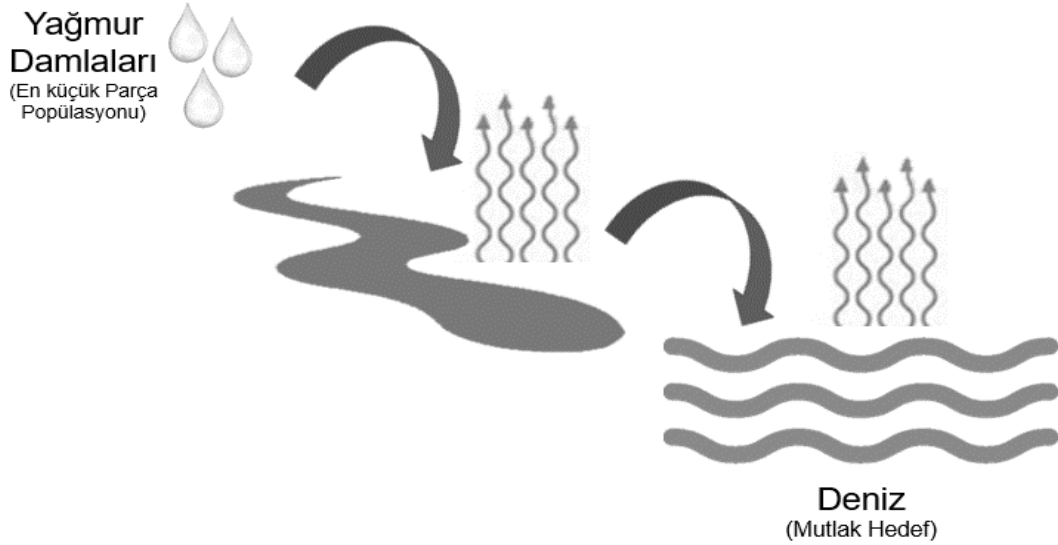
1.4. Su Döngüsü Algoritması

Su Döngüsü Algoritması, doğadan esinlenilerek tasarlanan yöntemler arasında olup doğada suyun döngüsünde kullanmış olduğu akış, dönüşüm ve erozyon kurallarının matematiksel ifadelerinden yola çıkılarak elde edilen bir algoritmadır.

Su, döngüsü sırasında;

- Buharlaştırma
- Yoğunlaşma
- Yağış
- Akış
- Emilim

gibi aşamalar içerir.



Şekil 1.3. Su akış şematığı

Döngü sırasında her aşama belirli bir mal oluşu da beraberinde getirmektedir.

COST (Mal oluş)

- Mesafe (d)
- Sıcaklık (°C)
- Yüzey şekilleri

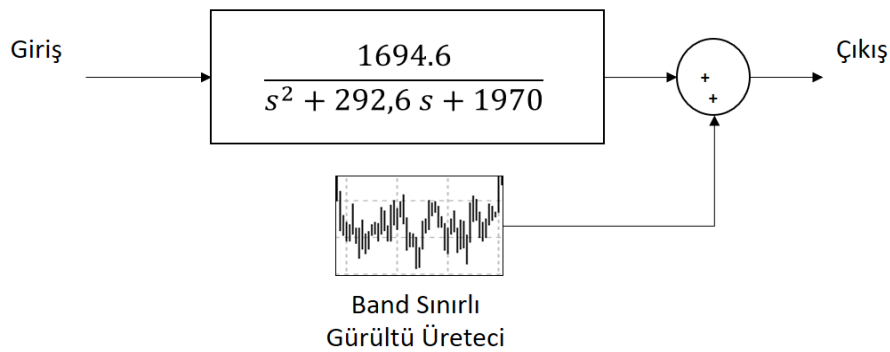
2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada PID ve KKK algoritmalarının optimizasyonu için yapılan simülasyonlarda, literatürden alınan bir sistem modeli kullanılmış ve bu model PID ve KKK ile kontrol edildiğinde istenen referans değerine sistemi ulaştıracak en iyi kontrol parametreleri aranmıştır.

2.1. DC Motor Modeli

Simülasyonlarda kullanılan sistem, bir PMDC motor ve miline bağlı birçok sensörden oluşan elektromekanik bir sistemdir. DC motorun hızının ölçümünde miline doğrudan bağlı bir takojeneratör bulunmaktadır [27,28]. Kayan Kipli Kontrol ve Su Döngüsü Algoritması ile PID parametrelerinin optimizasyonu amacıyla bir simülasyon yazılımı kullanılarak bir DC motorun ikinci derece modeline sensör gürültüsü eklenerek, üzerinde farklı iterasyon sayılarında simülasyonlar yapılmıştır.

Kullanılan model Şekil 2.1’de verilmiştir. Model parametrelerinin elde edilmesinde motor mil hızı 1200rpm olacak şekilde ayarlanıp açık çevrim cevabından ikinci derece sistem modeli bulunmuştur [27].



Şekil 2.1. Simülasyon için DC motor modeli

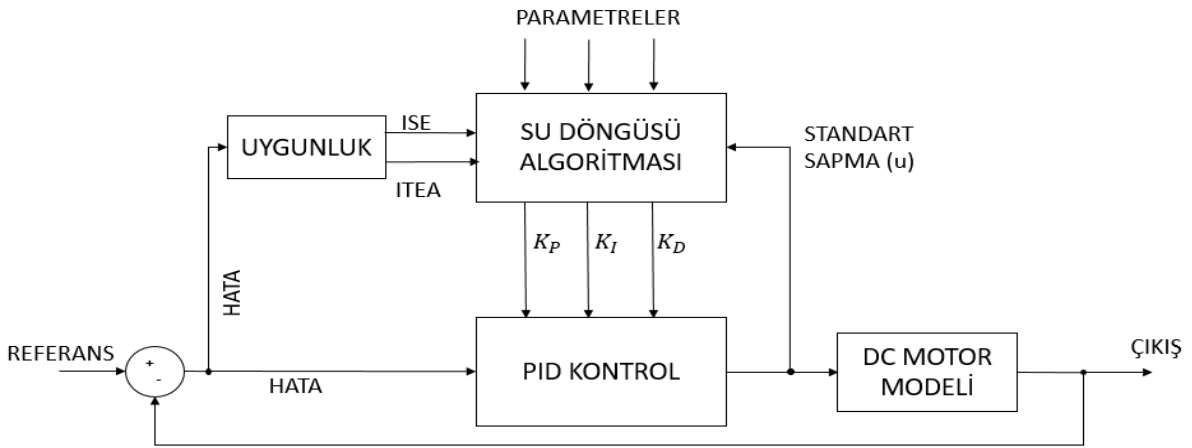
2.2. Bant Sınırlı Gürültü Üretici

Çalışmada kullanılan DC motorun hızının ölçümünde mevcut olan sensör gürültüsünü elde etmek için 5ms ($f=200\text{Hz}$) aralıkla çıkışın $\pm\%2,5$ oranında rasgele sinyal gürültü eklenerek sistem çıkışının gerçeğe yakın olması sağlanmıştır.

2.3. PID Kontrol Sistemi

PID optimizasyonu için algoritma olarak Su Döngüsü Algoritması, materyal olarak Şekil 2.1’de verilen DC motor modeli kullanılarak hazırlanan PID kontrol blok şeması Şekil 2.2’de verildiği gibi hazırlanmıştır.

Bu çalışmada PID kontrol için gerekli olan 3 parametrenin optimizasyonu için her bir parametrenin özelliği göz önünde bulundurularak aşağıdaki uygunluk fonksiyonları kullanılmıştır [29]. Literatürde, PID parametreleri için farklı yapılarda ayarlama yöntemleri önerilmiştir. Bu konuda yapılan bir çalışmada, bu ayarlama yöntemleri aralarında karşılaştırılmıştır [30]. Ayrıca otomatik ayarlama algoritmaları ile PID parametrelerinin yapıldığı gerçek uygulamalar da mevcuttur [31]. Birçok yönü ile pratikte oldukça fazla tercih edilen PID kontrolcüsü endüstriyel kontrol sistemlerinin %90’ında yer almaktadır [32].



Şekil 2.2. Su Döngüsü Algoritması ile PID ayarlama için blok diyagram

Oransal kontrol için uygunluk fonksiyonunun seçiminde yüksek hata değişimini en iyi şekilde ölçmek için ISE performans fonksiyonu seçilmiştir.

$$k_p \text{ için ISE: } fp = \int e(t)^2 dt, \quad (2.1)$$

İntegral kontrol parametresi, k_i , için uygunluk fonksiyonunun belirlenmesindeki en önemli faktör, bu parametrenin kalıcı durum hatasını giderme özelliğidir. Bu nedenle, ITAE performans fonksiyonu seçilerek kalıcı durum hatasının en iyi şekilde gözlemlenmesi amaçlanmıştır.

$$k_i \text{ için ITAE: } f_i = \int t|e(t)|dt, \quad (2.2)$$

k_d , PID kontrol için dinamik sistem cevabı üreten bir parametredir. Yüksek olması kararsızlığa yol açarken düşük olması da kontrolcünün cevap verme hızını azaltır. Bu nedenden dolayı kontrol sinyalinin aşırı salınımını takip edebilmek amacıyla kontrol sinyalinin standart sapması k_d için uygunluk fonksiyonu olarak belirlenmiştir.

$$fd = Std(u) = \sqrt{\frac{\sum u(t) - \bar{u}(t)}{n-1}} \quad (2.3)$$

2.4. Kayan Kipli Kontrol (Sliding Mode Control, SMC)

Kayan Kipli Kontrol yöntemi, Vadim I. Utkin tarafından geliştirilmiş olup uygulama basitliği ve gürbüzlüğünden dolayı uluslararası literatürde de kabul görmüştür [33]. Gürbüz bir sistem olması yani Kontrol edilen sistemdeki belirsizliklere ve dış etkilere karşı etkin ve dinamik bir kontrol sinyali üretmesi diğer yöntemlerden ayıran en önemli özelliğidir. Kayan Kipli Kontrol gürbüzlüğü ile literatürde oldukça fazla çalışılan bir kontrol algoritması olduğundan SDA da bu kontrolcünün parametrelerinin optimum ayarlanmasında kullanılmıştır.

Bu çalışmada, Su Döngüsü Algoritmasının uygulandığı diğer kontrol yöntemi olarak geleneksel KKK yöntemi seçilmiştir. Birçok türevi bulunan geleneksel KKK yöntemleri arasındaki fark, yöntemin başında belirlenen kayma yüzeyidir. Bu çalışma için literatürde başarısı ispatlanmış bir kayma yüzeyi kullanılmıştır [34].

Genel itibariyle çalışma prensibi iki çeşit kontrol kuralı ile (Eşdeğer ve anahtarlama) oluşturulmuştur. Literatürde yoğun olarak yer bulan ilk KKK yöntemlerinde anahtarlama kuralının meydana getirdiği yüksek genlikli ve frekanslı dalgalanma, bu yöntemlerin en

önemli olumsuz yönü olarak bilinmektedir. Çatırdama (*chattering*) olarak adlandırılan kontrol sinyalindeki bu dalgalanmayı oluşturan başlıca sebep, özellikle gerçek sistemlerde mevcut olan ve matematiksel olarak modellenemeyen belirsizliklerdir.

KKK yöntemi, gerek simülasyon gerekse gerçek sistemler olmak üzere bir çok çalışmada kullanılan bir yöntemdir. Uluslararası alanda ilk duyurulduktan sonra farklı türevleri yapılan çalışmalarda önerilmiştir.

Ayrık zamanlı anahtarlamalı sistemlerde olay tabanlı tetikleme stratejisi ile KKK yöntemi kullanımı bir çalışmada ortaya konulmuştur [35]. Buna benzer olarak sınırlı erişim kapasiteli belirsiz sistemler için olay tabanlı KKK yöntemi de başka bir çalışmada sunulmuştur [36].

Üç fazlı güç dönüştürücüleri için genişletilmiş durum gözlemci tabanlı KKK yöntemi 2 seviyeli şebekeye bağlı güç dönüştürücüleri için önerilmiştir [37].

Farklı KKK kontrol algoritmaları da literatürde geliştirilmiştir. Terminal KKK [38], integral KKK [39], periyodik olay tetiklemeli KKK [40], Nicelenmiş geribildirim KKK [41] ve modelden bağımsız sürekli tekil olmayan hızlı terminal KKK [42] son yıllarda çıkan KKK türevleridir.

2.5. KKK Sisteminin Matematiksel Modellemesi

Deneysel çalışma için seçilen 2. derece sistem modeli üzerinden KKK sistemi tasarımı için önce transfer fonksiyonunun zaman düzlemindeki formu elde edilir.

Açık çevrim de transfer fonksiyonu aşağıdaki eşitlikte verilen ikinci derecede sistem için:

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{C}{s^2 + As + B} \quad (2.4)$$

Burada $Y(s)$ sistemin açık çevrim cevabı, $U(s)$ sisteme uygulanan giriş, A, B, C ise pozitif sistem parametreleridir.

Laplace formunda verilen modelin zaman düzleminde eşitliğini elde etmek için ilk olarak içler dışlar çarpımı yapılır ve en yüksek dereceli türevli çıkış terimi yalnız bırakılır:

$$\begin{aligned}
(s^2 + As + B)Y(s) &= CU(s) \\
s^2Y(s) + AsY(s) + BY(s) &= CU(s) \\
y''(t) + A y'(t) + B y(t) &= C u(t) \\
y''(t) &= -A y'(t) - B y(t) + C u(t)
\end{aligned} \tag{2.5}$$

Deneysel çalışmada kullanılmak üzere seçilen kayma yüzeyi [31]:

$$\sigma(t) = \lambda e(t) + \beta e'(t) \tag{2.6}$$

Burada $e(t) = r(t) - y(t)$ hata fonksiyonu, $r(t)$ kontrol sisteminin referans değeri ve $y(t)$ ise sistem çıkışını ifade etmektedir. λ bağımsız ve β ise adaptif kontrol parametreleridir.

Buna göre kayma fonksiyonunun 1. Derece türevi alınırsa:

$$\sigma'(t) = \lambda e'(t) + \beta e''(t) \tag{2.7}$$

elde edilir.

$e(t) = r(t) - y(t)$ olduğundan

$e''(t) = r''(t) - y''(t)$ elde edilir. Eş. (17) burada yerine konulduğunda;

$$e''(t) = r''(t) - (-A y'(t) - B y(t) + C u(t))$$

$$e''(t) = r''(t) + A y'(t) + B y(t) - C u(t) \tag{2.8}$$

elde edilir.

Eş. (2.8), (2.9)'da yerine konulduğunda:

$$\sigma'(t) = \lambda e'(t) + \beta (r''(t) + A y'(t) + B y(t) - C u(t))$$

$$\sigma'(t) = \lambda e'(t) + \beta r''(t) + \beta A y'(t) + \beta B y(t) - \beta C u(t) \tag{2.9}$$

elde edilir. Kayma fonksiyonunun türevi sifira eşitlenip kontrol sinyali çekildiğinde eşdeğer kontrol, $U_{eq}(t)$, sinyali elde edilir:

$$U_{eq}(t) = \frac{1}{\beta C} [\lambda e'(t) + \beta r''(t) + \beta A y'(t) + \beta B y(t)]$$

$$U_{eq}(t) = \frac{1}{C} \left[\frac{\lambda}{\beta} e'(t) + r''(t) + A y'(t) + B y(t) \right] \quad (2.10)$$

Geleneksel Kayan Kipli Kontrol yönteminde kontrol sinyali:

$$U(t) = U_{eq}(t) + U_{sw}(t) \quad (2.11)$$

Burada $U_{sw}(t)$ anahtarlama kontrol sinyalidir. (2.10), (2.9)'de yerine konulduğunda:

$$\sigma'(t) = \lambda e'(t) + \beta r''(t) + \beta A y'(t) + \beta B y(t) - \beta C (U_{eq}(t) + U_{sw}(t)) \quad (2.12)$$

Eş. (2.12), (2.10)'da yerine konulup gerekli sadeleştirmeler yapıldığında ideal kayma kipi elde edilir:

$$\sigma'(t) = \lambda e'(t) + \beta r''(t) + \beta A y'(t) + \beta B y(t) - \beta C U_{sw}(t) - \beta C \left[\frac{\lambda}{\beta} e'(t) + r''(t) + A y'(t) + B y(t) \right]$$

$$\sigma'(t) = -\beta C U_{sw}(t) \quad (2.13)$$

Anahtarlama kontrol sinyalini seçmek için sistemin kararlılığı esas alınır. Sistemin kararlılığı Lyapunov kararlılık teoremi ile garanti edilir. Bunun için sistem parametrelerinden elde edilen bir pozitif Lyapunov fonksiyonu:

$$V(t) = \frac{1}{2} \sigma^2(t) > 0 \quad (2.14)$$

Eş. (2.14)'ün birinci derece türevi:

$$V'(t) = \sigma(t) \sigma'(t) \quad (2.15)$$

Eş. (2.13)'teki $\sigma'(t)$ yerine konulursa:

$$\dot{V}(t) = \sigma^2(t) (-\beta C U_{sw}(t))$$

$$\dot{V}(t) = -\beta C \sigma(t) U_{sw}(t) \quad (2.16)$$

olarak bulunur $V(t) > 0$ ve $\dot{V}(t) < 0$ olduğunda sistem kararlı olur. Bunu sağlayacak $U_{sw}(t)$, literatürde işaret fonksiyonu seçilir:

$$U_{sw}(t) = k_{sw} \operatorname{sgn}(\sigma(t)) \quad (2.17)$$

Burada k_{sw} pozitif anahtarlama kazancıdır. Buna göre;

$$U_{sw}(t) = k_{sw} \frac{|\sigma(t)|}{\sigma(t)} \quad (2.18)$$

olduğundan (2.18), (2.17)'de yerine konulduğunda;

$$\begin{aligned} V'(t) &= -\beta C \frac{|\sigma(t)|}{\sigma(t)} k_{sw} \frac{|\sigma(t)|}{\sigma(t)} \\ V'(t) &= -\beta C k_{sw} |\sigma(t)| < 0 \end{aligned} \quad (2.19)$$

Elde edilerek kontrol sisteminin kararlılığını garanti edilmiş olur.

Geleneksel Kayan Kipli Kontrolde görünen çtırdamanın temel kaynağı, anahtarlama kontrol sinyalinde kullanılan işaret fonksiyonudur. Çtırdamayı önlemek amacıyla işaret fonksiyonu yerine daha yumuşak fonksiyon olan $\tan h$ fonksiyonu tercih edilir [31]:

$$U_{sw}(t) = k_{sw} \tan h(\sigma(t)) \quad (2.20)$$

Böylece toplam kontrol sinyali aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\begin{aligned}
U(t) &= U_{eq}(t) + U_{sw}(t) \\
&= \frac{1}{c} \left[\frac{\lambda}{\beta} e'(t) + \sigma(t) + Ay'(t) + By'(t) \right] + k_{sw} \tan h(\sigma(t))
\end{aligned} \tag{2.21}$$

Burada λ ve k_{sw} optimize edilecek olan bağımsız kontrol parametreleridir.

2.6. KKK Sistemi Blok Diyagramı

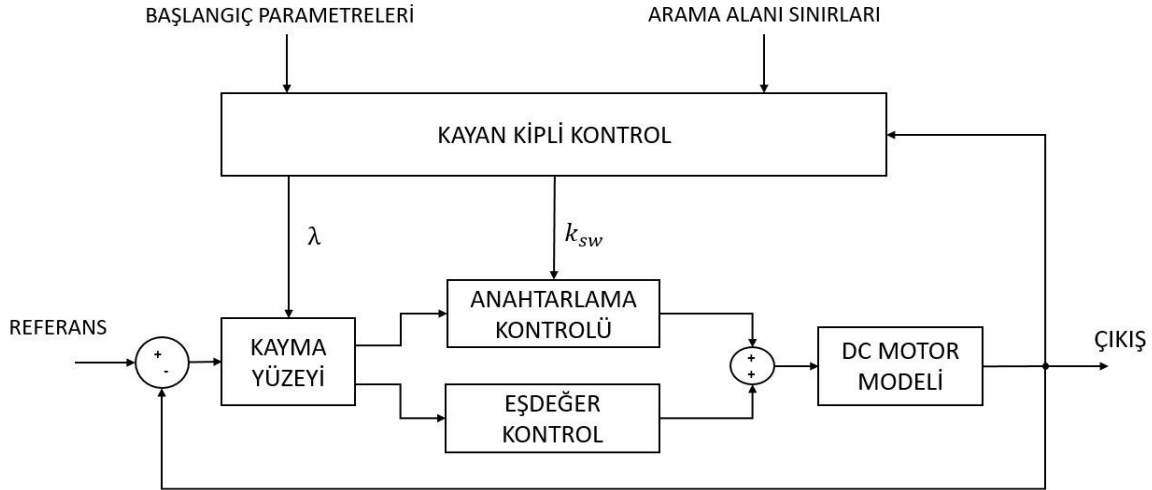
Kayma yüzeyinde λ ayarlanabilir parametre ve anahtarlama kontrol sinyalinde k_{sw} ayarlanabilir parametre olmak üzere iki parametrenin optimizasyonu yapılmıştır. Referans ile çıkış arasındaki fark, yani hata ile kayma yüzeyi fonksiyonu elde edilir. Buradan eşdeğer kontrol sinyali ile anahtarlama kontrol sinyalleri oluşturularak toplam kontrol sinyali sisteme uygulanır. En iyi sonucu almak için k_i bağımsız parametrenin genliklerinin doğru ayarlanması gereklidir.

Eşdeğer kontrol sinyalindeki parametre, λ , sistemin hata değerini ve türevini sıfır noktasında tutan parametredir. Bu nedenle bu parametrenin uygunluk fonksiyonu olarak ISE performans fonksiyonu seçilmiştir.

k_{sw} ise, başlangıçta etkili olup sistemin çıkışını hızlı bir şekilde referans değerine ulaştıran gerekli kontrol sinyalini üretir. Sistemin bozuculara karşı etkin kontrol sinyalini ürettiğinden aşırı genlikli k_{sw} tercih edilmediği gibi düşük genlikli bir k_{sw} sistemin hızında önemli derecede yavaşlamaya neden olur. Bu nedenle, bu parametrenin uygunluğunu ölçmek için ITAE performans fonksiyonu seçilmiştir:

$$\begin{aligned}
&\checkmark \lambda \text{ için;} \\
\text{ISE: } f_{\lambda} &= \int e(t)^2 dt
\end{aligned} \tag{2.22}$$

$$\begin{aligned}
&\checkmark k_{sw} \text{ için} \\
\text{ITAE: } f_{k_{sw}} &= \int t |e(t)| dt
\end{aligned} \tag{2.23}$$



Şekil 2.3. SDA ile Kayan Kipli Kontrol parametrelerinin ayarlanması için blok diyagram

2.7. SDA Matematiksel Modellemesi

SDA içerisinde bulunan durumlar matematiksel olarak çeşitli şekilde 12 formül ile ifade edilmiştir.

SDA içinde en küçük değişken değere "Yağmur Damlası" denir. Popülasyon tabanlı meta-sezgisel yöntemlerde optimizasyon için değişken değerlerine ait bir dizi oluşturulmalıdır. Bir N_var boyutlu optimizasyon probleminde, bir yağmur damlası N_var dizisidir ve şu şekildedir:

$$\text{Yağmur Damlası} = N_{var} = [x_1, x_2, \dots, x_N] \quad (2.24)$$

Algoritmanın başlayabilmesi için $X = N_{pop} \times N_{var}$ boyutunda bir yağmur damlası popülasyonu oluşturulur. Bu nedenle, rastgele üretilen X matrisi şu şekilde verilir:

$$X = \begin{bmatrix} YD_1 \\ YD_2 \\ YD_3 \\ \vdots \\ YD_{Npop} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & x_3^1 & \dots & x_{Nvar}^1 \\ x_1^2 & x_2^2 & x_3^2 & \dots & x_{Nvar}^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_1^{Npop} & x_2^{Npop} & x_3^{Npop} & \dots & x_{Nvar}^{Npop} \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

Karar değişkeni değerlerinin $(X_1, X_2, \dots, X_{var})$ her biri başlangıç noktası numarası veya sürekli ve ayrık problemler için dizi olarak gösterilebilir. Bir damlanın maliyeti (en düşük değer), ekonomik şekilde verilen maliyet fonksiyonunun bireyleri deniz ve nehirler olarak seçilir. Mutlak hedef deniz olduğundan denizin tek değeri bir olarak kabul edilir. Dolayısıyla, eşitlikte verilen N_{sr} nehir sayısı (kendi belirlediğimiz ön değer) ve denizin toplam değeridir. Kalan değerler yağmur damlaları nehirlerle veya doğrudan denize akabilecek değerlerden oluşur [32].

Mal oluşa rağmen suyun birleşmesi suyu büyütür. Buharlaşması ve Erozyon ise suyun küçülmesine sebep olur [11].

$$C_i = \text{Maliyet}_i = f(x_1^i, x_2^i, x_3^i, \dots, x_{N_{pop}}^i) \quad (2.26)$$

Burada $i=1,2,3,\dots,N_{pop}$

$$N_{sr} = \text{Nehir Sayısı} + \underbrace{1}_{\text{Deniz}} \quad (2.27)$$

$$N_{yd} = N_{pop} - N_{sr} \quad (2.28)$$

Akışkanın yoğunluğuna bağlı olarak damlaların nehirlerle ve denize akışını oluşturulan eşitlik NS_n , belirli nehirlerle veya denize akan akarsuların sayısıdır.

$$NS_n = \text{yuvarla} \left\{ \frac{\text{Maliyet}_n}{\sum_{i=1}^{N_{sr}} \text{Maliyet}_i} \times N_{yd} \right\} \quad (2.29)$$

Burada $n=1,2,\dots,N_{sr}$

Bir akışın sağlanabilmesi için yağmur birleşerek daha büyük değerleri oluşturması gerekir (nehir, deniz). Akarsuların kalan kısmı da denize doğrudan akabilir. Nehirler ve akarsular en düşük nokta olan Denize doğru akarlar. Nehre doğru olan akış koşulu:

$$X \in (0, C \times d), \quad C > 1 \quad (2.30)$$

Burada C , 1 ile 2 arasında ve 2'ye yakındır. Dolayısıyla $C=2$ şeklinde yakınsanır. Akış ve nehir arasındaki uzaklık (42) değeri, $(0$ ve $C \times d)$ 'nin arasındaki bir değer gelecektir. $C > 1$ olduğu için akarsuların nehirlere doğru akışını gerçekleştirir.

$$X_{akış}^{i+1} = X_{akış}^i + rand \times C \times (X_{nehir}^i - X_{akış}^i) \quad (2.31)$$

$$X_{nehir}^{i+1} = X_{nehir}^i + rand \times C \times (X_{deniz}^i - X_{nehir}^i) \quad (2.32)$$

Eş. (2.33)'deki d_{max} değeri sifira yakındır. Eğer, bir nehir ve deniz arasındaki mesafe yani d_{max} 'tan az ise, nehrin denize ulaşacağı anlaşılır ve denize ulaşırsa, buharlaşma işlemi gerçekleşir, biriken ve yoğunlaşmayı başaran buhar yağmur (yağmur damlası) olarak tekrar yağacaktır. d_{max} değeri en yüksek değerden başlayıp azalarak denize yakın en düşük deniz yoğunluğunu bu sayede, en az maliyetli yolu bulmuş olur.

$$d_{max}^{i+1} = d_{max}^i - \frac{d_{max}^i}{\max \text{ iterasyon}} \quad (2.33)$$

Buharlaşma uygun sıcaklıkta yoğunlaşarak yağmura olarak yağacaktır. Yeni yağmur damlaları birleşerek akarsuları meydana getirir. Yeni akarsuların konumlarını oluşturmak için aşağıdaki eşitlik kullanılır:

$$X_{akış}^{yeni} = LB + rand \times (UB - LB) \quad (2.34)$$

LB ve UB değerleri sırasıyla alt ve üst sınırlardır. En uygun yağmur damlaları doğrudan oluşan akış cazibeleri ile denize doğru akar. Diğer yağmur damlaları ise nehirlere veya doğrudan denize akabilecek akarsuları oluşturduğu varsayılmaktadır.

Doğrudan denize akan akarsular için algoritmanın daha hızlı yakınsama yapması için Eş. (2.34) kullanılır. Bu eşitlik, kısıtlı problemler için uygulanabilir bölgedeki denize yakın olan değerlerin (optimum çözüm ile) yakınsayarak “doğrudan denize akan akarsu” oluşumunu teşvik etmeyi amaçlamaktadır.

$$X_{akış}^{yeni} = X_{deniz} + \sqrt{\mu} \times randn(1, N_{var}) \quad (2.35)$$

Burada μ , denize yakın arama bölgesi aralığını gösteren bir katsayıdır. Randn normal olarak dağıtılan rasgele sayıdır. μ değeri daha büyük seçilebilir, dolayısıyla uygulanan alan büyür ve “doğrudan denize akan dere” bulunma ihtimalini artırır. Aksi durumda “doğrudan denize akan dere” bulunma ihtimali düşer. μ 'ya 0,1 değeri ön tanımlama olarak atanmıştır. Aynı zamanda matematiksel olarak μ terimi standart sapmayı ve buna bağlı olarak varyans kavramını da ifade etmektedir. Standart sapma ve varyans kullanılarak nihai hedef deniz etrafında dağıtılır.

2.8. Su Döngüsü Algoritma Yazılımı Kuralları

Su Döngüsü Algoritmasının değerlendirdiği akarsu, dereler ve nehirler değerleri algoritmanın belirlemiş kural ve sınırlarını ihlal edebilir. SDA 4 kural ile kısıtlanmış ve daha doğru değerlere yakınsanmıştır:

- Kural 1: Herhangi bir uygulanabilir çözüm, herhangi bir uygulanabilir çözüm yerine tercih edilir.
- Kural 2: Kısıtlamaların hafifçe ihlalini içeren (ilk yinelemede 0,01'den son yinelemede 0,001'e kadar) mümkün olmayan çözümler uygulanabilir çözümler olarak kabul edilir.
- Kural 3: İki uygulanabilir çözüm arasında, daha iyi objektif fonksiyon değerine sahip olan tercih edilir.
- Kural 4: İki olanaksız çözüm arasında, daha az kısıtlama ihlaline sahip olanı tercih edilir.

Birinci ve dördüncü kuralları kullanarak, doğrudan denize akan akarsuyun olabileceği bölgeler bulunur.

Üçüncü kuralı doğrudan denize akan akarsuyun olabileceği bölgelere yöneliktir.

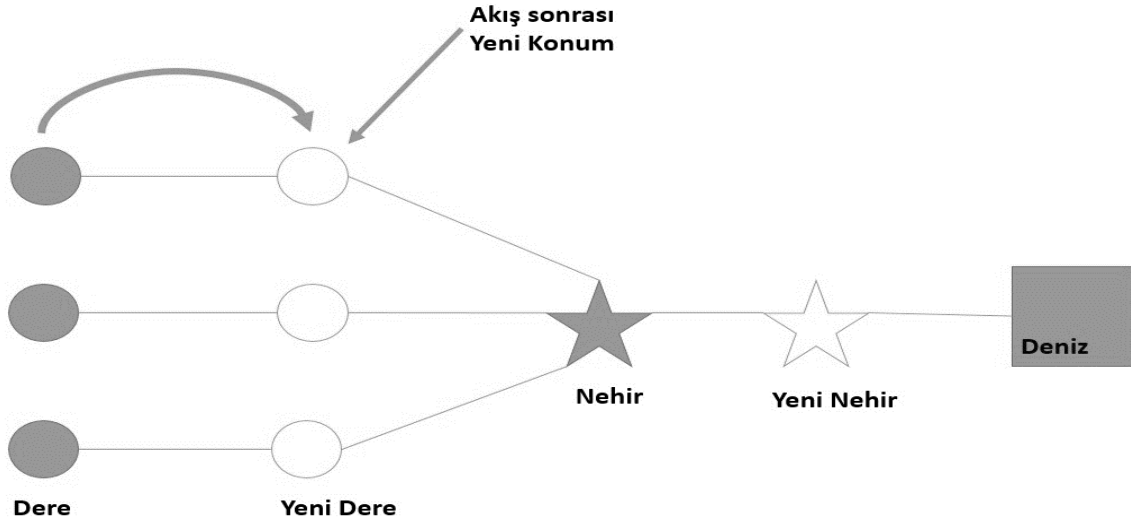
Optimizasyon çözümlerinde, minimum kabul edilebilir uygulama sınırına ya da bu sınırın yakınına yakınsanır. Kural 2 ile akarsu ve nehirler sınırlara yakınsanır. Bununda da daha yüksek bir ihtimal ile denize ulaşabilir.

Yakınsama kuralı, son zamanlarda Meta-sezgisel algoritmalarda Yineleme sayısının fazlalığı, işlemin süresi açısından en iyi sonuç alınan kurallardandır.

2.9. Su Döngüsü Algoritma Yazılımı Algoritma Adımları

Matematiksel modellemede oluşturulan eşitliklere göre SDA'nın adımları aşağıdaki gibi 12 adımda özetlenebilir:

- ✓ Adım 1: SDA'nın gerekli bazı değişkenlerin başlangıç parametrelerini seçilir: N_{sr} , d_{max} , N_{pop} , $max_iteration$ (Çizelge 2.1)
- ✓ Adım 2: Rastgele başlangıç popülasyonu (Çizelge 2.2) oluşturun ve eşitlikleri kullanarak ilk akışlar (yağmur damlaları), dereler, nehirler ve deniz oluşturulur (2.25), (2.27) ve (2.28).
- ✓ Adım 3: Eşitlik kullanarak her bir yağmur damlasının değerini (maliyetini) hesaplanır (2.26).
- ✓ Adım 4: Eşitlikler kullanarak nehirler ve deniz için akış yoğunluğunu belirlenir. (2.29).
- ✓ Adım 5: Akım eşitliği oluşturulur (2.31).
- ✓ Adım 6: Nehirler Eşitlik kullanarak en yokuş aşağı yer olan Deniz (Mutlak Hedef)'e akar (2.33).
- ✓ Adım 7: Nehir konumlarını en iyi çözümü veren bir akımla değiştirin.
- ✓ Adım 8: Adım 7'ye benzer şekilde, eğer bir nehir denizden daha iyi bir çözüm bulursa, nehrin konumu denizle değiştirilir (Şekil 2.4).
- ✓ Adım 9: (2.32) kullanarak buharlaşma durumunu kontrol edilir
- ✓ Adım 10: Buharlaşma koşulu sağlanmışsa, yağmurlama işlemi eşitlikler kullanılarak yapılır (2.34) ve (2.35).
- ✓ Adım 11: Eşitlik kullanarak kullanıcı tanımlı parametre olan d_max değerini azaltılır (2.33).
- ✓ Adım 12: Yakınsama kriterlerini kontrol edilir. Durdurma kriteri karşılanırsa, algoritma durur, aksi takdirde 5. adıma dönlür.

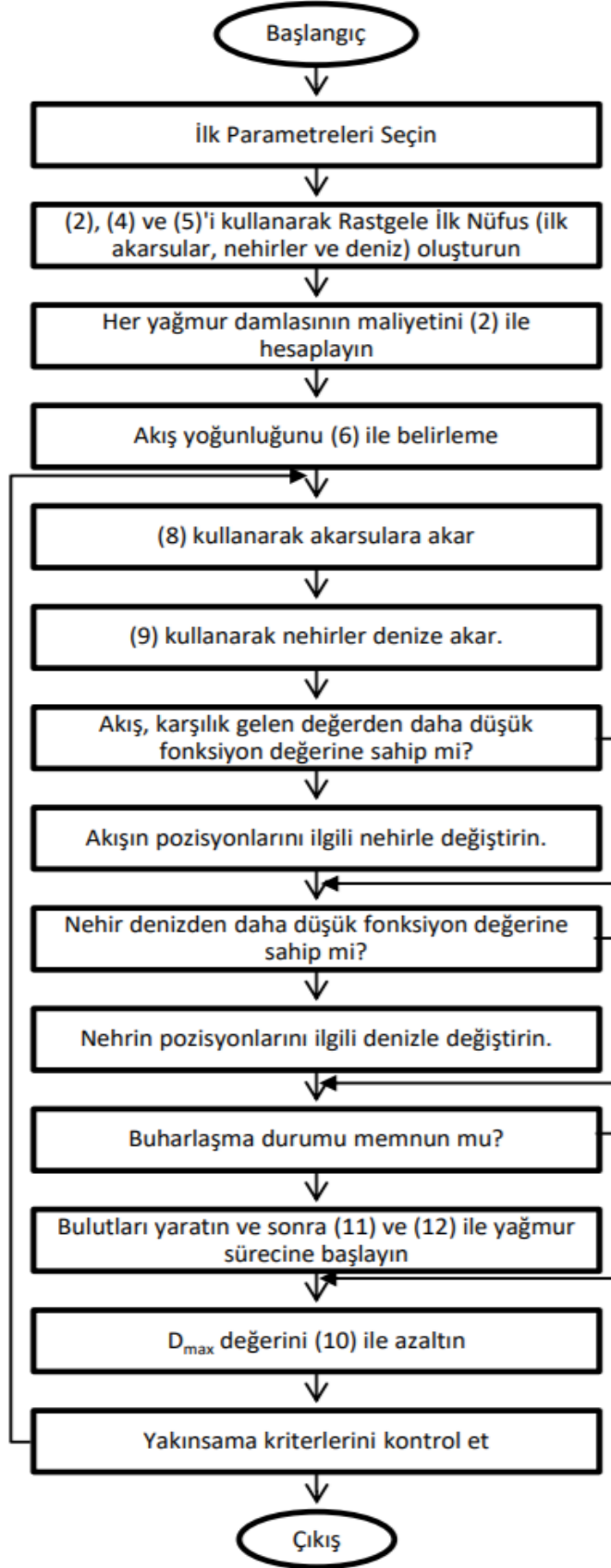


şekil 2.4. Konum değiştirme

Yukarıda verilen adımların akış diyagramı şekil 2.6'de yer almaktadır.

Çizelge 2.1 Deneysel çalışma için SDA ön değerler

Değişken	Ön değer
Nvars	1
Nsr	10
dmax	20



Şekil 2.5. Su Döngüsü Algoritması akış diyagramı

3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Deneysel çalışma için ilk başta sisteme uygulanacak PID kontrol parametre aralıkları k_p için 2-30, k_i için 3-30, k_d için 0.01-0.3 olarak seçilmiştir. DC motorun mil hızı takojeneratör ile ölçüldüğü düşünülerek modeli oluşturulduğundan referans hız olarak gerilim değeri 8V olarak ayarlanmıştır. SDA iterasyon sayıları 20, 50 ve 100 belirlenmiş, su damlacıkları sayılar da 10, 50 ve 100 olarak seçilmiştir. Bunların kombinasyonlarında yapılan simülasyonların süreleri de ölçülerek hazırlanan tablo aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.1’de yapılan simülasyonlarda elde edilen performans sonuçları gösterilmiştir. Doğal olarak, iterasyon ve yağmur damlası sayılarındaki artışla beraber simülasyon için harcanan süre de artmıştır. Ancak her durumda alınan farklı kombinasyonlardaki sonuçlar tatmin edici düzeyde olup 20 dakikadan kısa sürede elde edilmiştir.

Çizelge 3.1 PID için simülasyon sonuçları

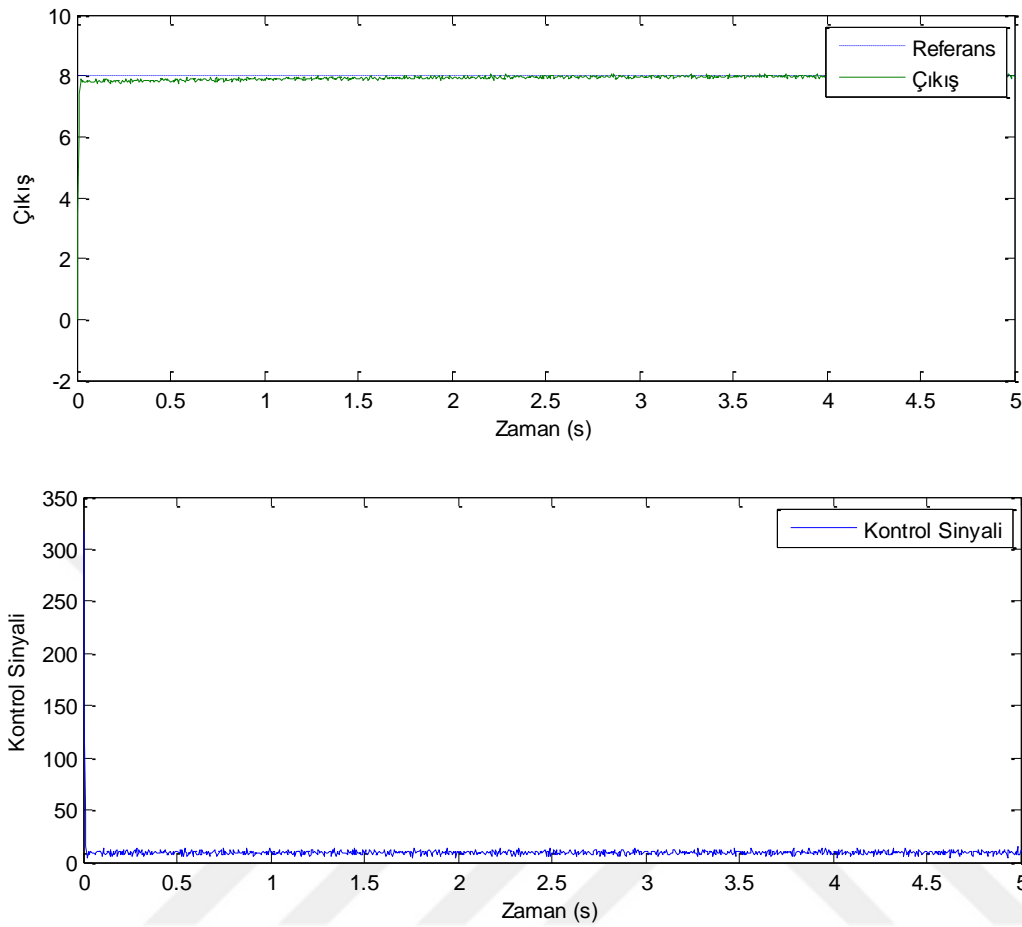
İterasyon Sayısı	Yağmur Damlası Sayısı	ISE	ITAE	Simülasyon Süresi (s)
20	10	0,28117	0,50305	28
	50	0,39734	0,37233	95
	100	0,43908	0,41924	236
50	10	0,36192	0,39532	75
	50	0,33925	0,50432	240
	100	0,32511	0,41472	629
100	10	0,32516	0,41482	136
	50	0,35426	0,42694	554
	100	0,35143	0,39158	1134

Çizelge 3.2’de simülasyonlar sonunda elde edilen PID parametreleri verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi, SDA için belirlenen arama uzayı içinde farklı genliklerde kontrol parametreleri ortaya çıkmıştır. Ancak, PID içinde aynı anda çalışan bu parametreler ile aşısız ve hızlı yanıt veren sistem çıkışları tespit edilmiştir. Buna göre her bir iterasyon-yağmur damlası için elde edilen çıkış eğrisi, kontrol sinyali ve üç PID parametresi için uygunluk fonksiyonlarının değişim grafiği aşağıda tek tek verilmiştir.

Çizelge 3.2 PID için en iyi parametre değerleri

İterasyon Sayısı	Yağmur Damlası Sayısı	K_p	K_i	K_d
20	10	39,51680	25,34492	0,04476
	50	34,84610	29,89252	0,12759
	100	34,84610	27,67012	0,18563
50	10	33,55860	28,55031	0,07591
	50	39,35830	23,78374	0,02323
	100	34,84610	30,00000	0,01827
100	10	34,84610	29,98607	0,01832
	50	34,84610	26,79238	0,06024
	100	34,84610	29,36180	0,06271

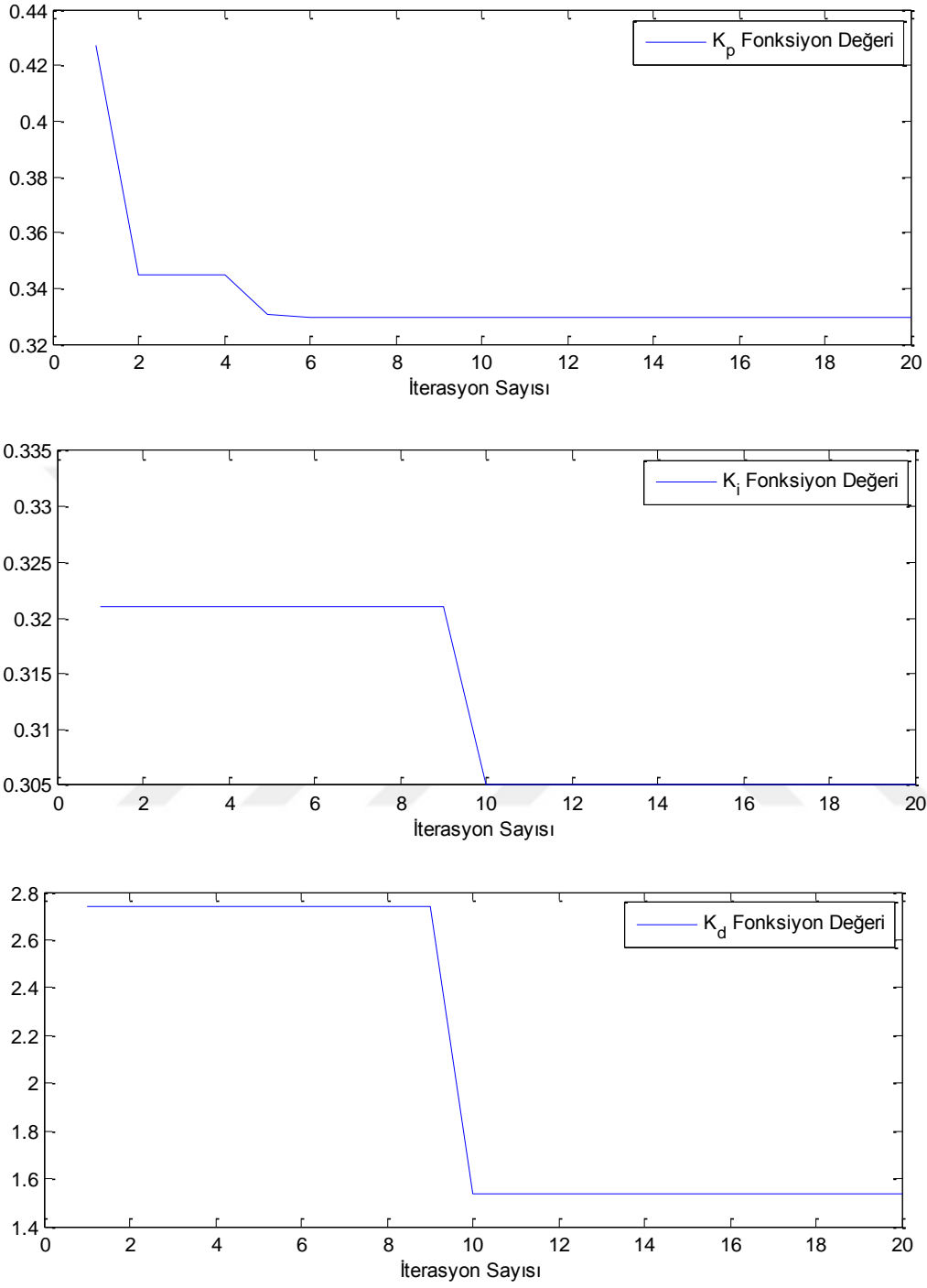
Şekil 3.1’de Optimum PID parametreleri için 20 iterasyon ve 10 yağmur damlası ile SDA sonunda elde edilen en iyi çıkış ve kontrol sinyali grafikleri yer almaktadır. En az sayıda yapılan bu simülasyonda, sistem çıkışında aşım ya da kalıcı durum hatası gözlenmemektedir. Kontrol sinyalindeki aşırı genlikli çıkışlar gözlenirse de sistemin kararsızlığa götüreceği bir seviyede çıkış sinyali oluşmamıştır.



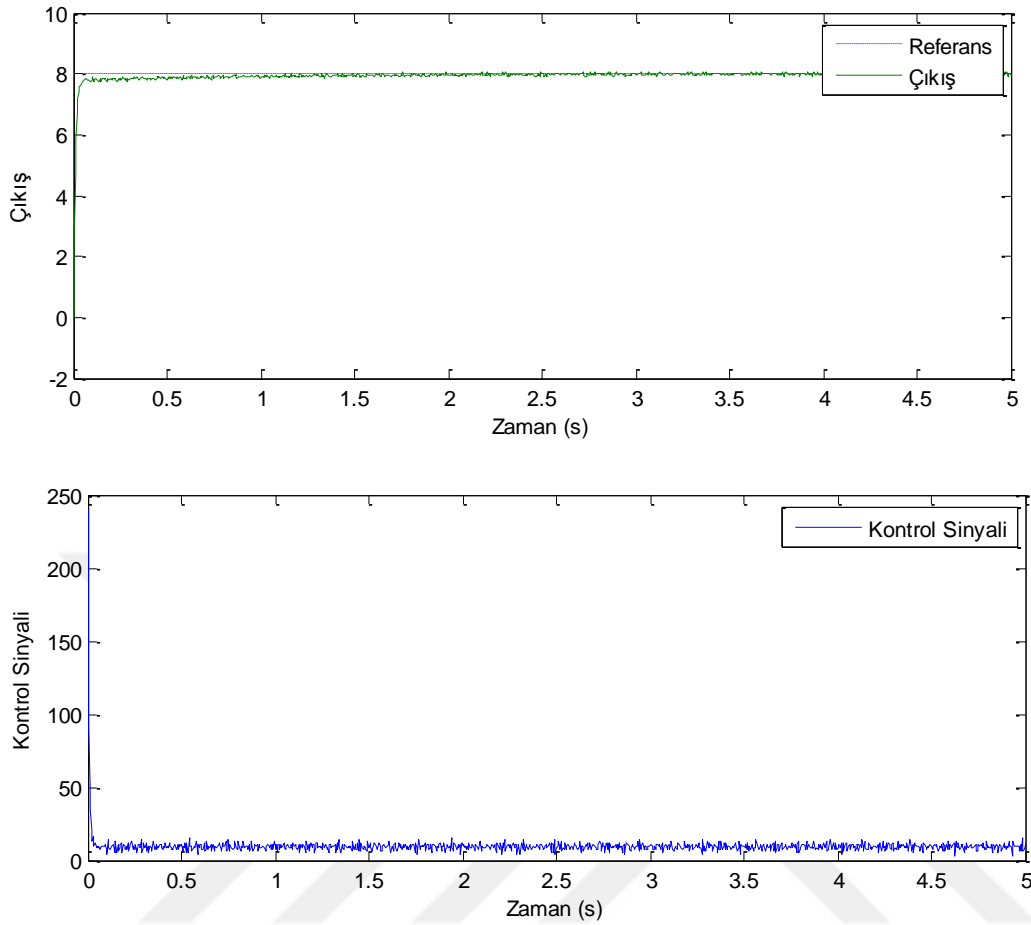
Şekil 3.1. 20 iterasyon 10 yağmur damlası sonucu elde edilen PID parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi

Şekil 3.2’de PID için 20 iterasyon ve 10 yağmur damlası ile çalıştırılarak elde edilen uygunluk fonksiyonunun değişim grafiği yer almaktadır. Her üç uygunluk fonksiyonu da kısa sürede en iyi değerine ulaşmıştır. Bu haliyle SDA ile yapılacak optimizasyonlarda fazla sayıda hesaplama gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Tüm parametreler değerlendirildiğinde, en fazla 10. iterasyonda en iyi parametre kombinasyonuna ulaşıldığı anlaşılmaktadır.

Şekil 3.3’de ise 20 iterasyon ve 50 Yağmur damlası ile yapılan simülasyon sonucu elde edilen parametreler ile PID kontrol sinyali ve sistem çıkışı verilmiştir. Önceki deneysel çalışma ile karşılaştırıldığında gözle görülür bir düzeyde iyileşme olmadığından az sayıda SDA simülasyonu ile optimum parametre kombinasyonuna ulaşılabileceği tespit edilmiştir.



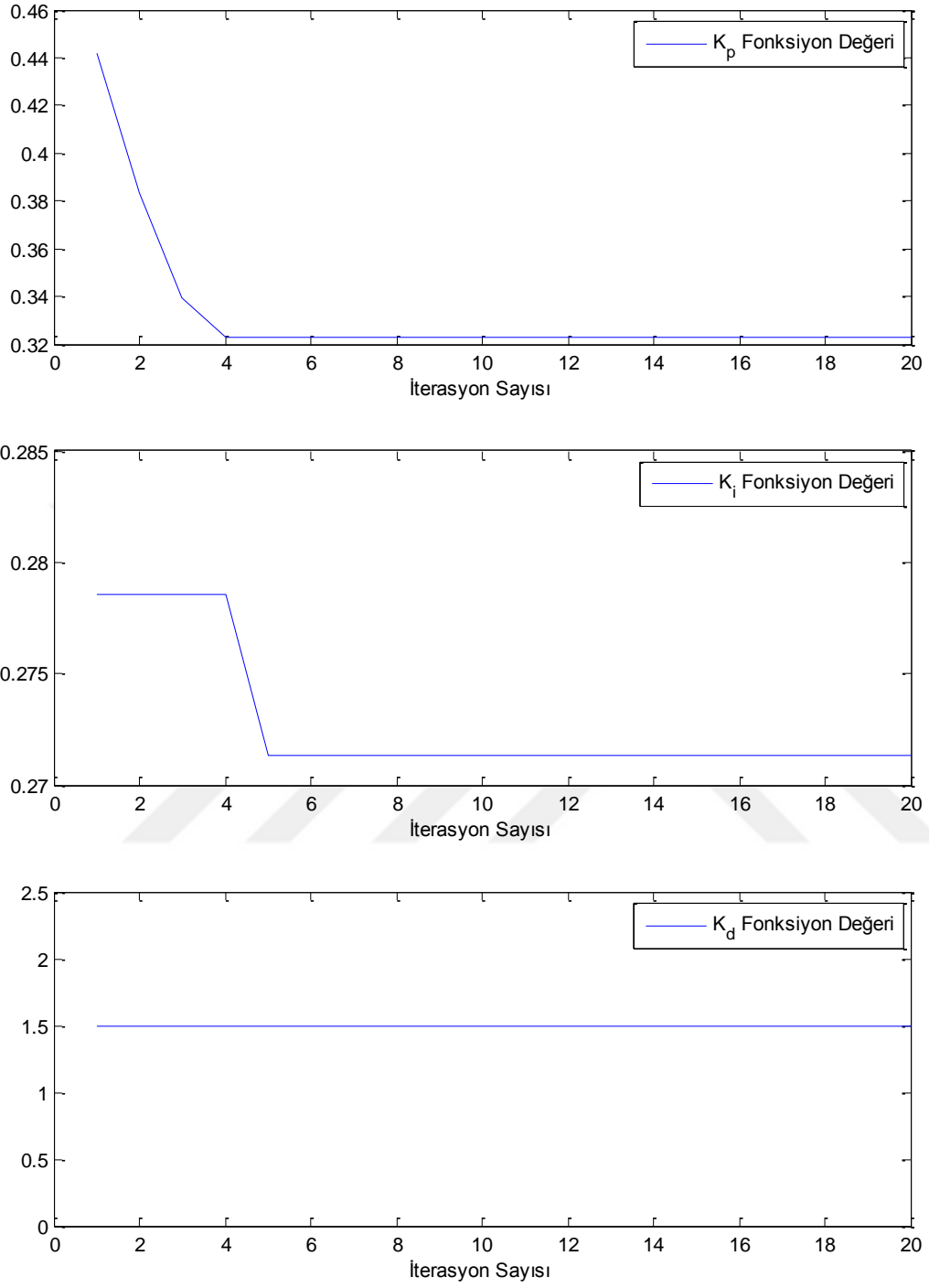
Şekil 3.2. PID parametreleri için 20 iterasyon 10 yağmur damlası ile elde edilen uygunluk fonksiyonları değişimi



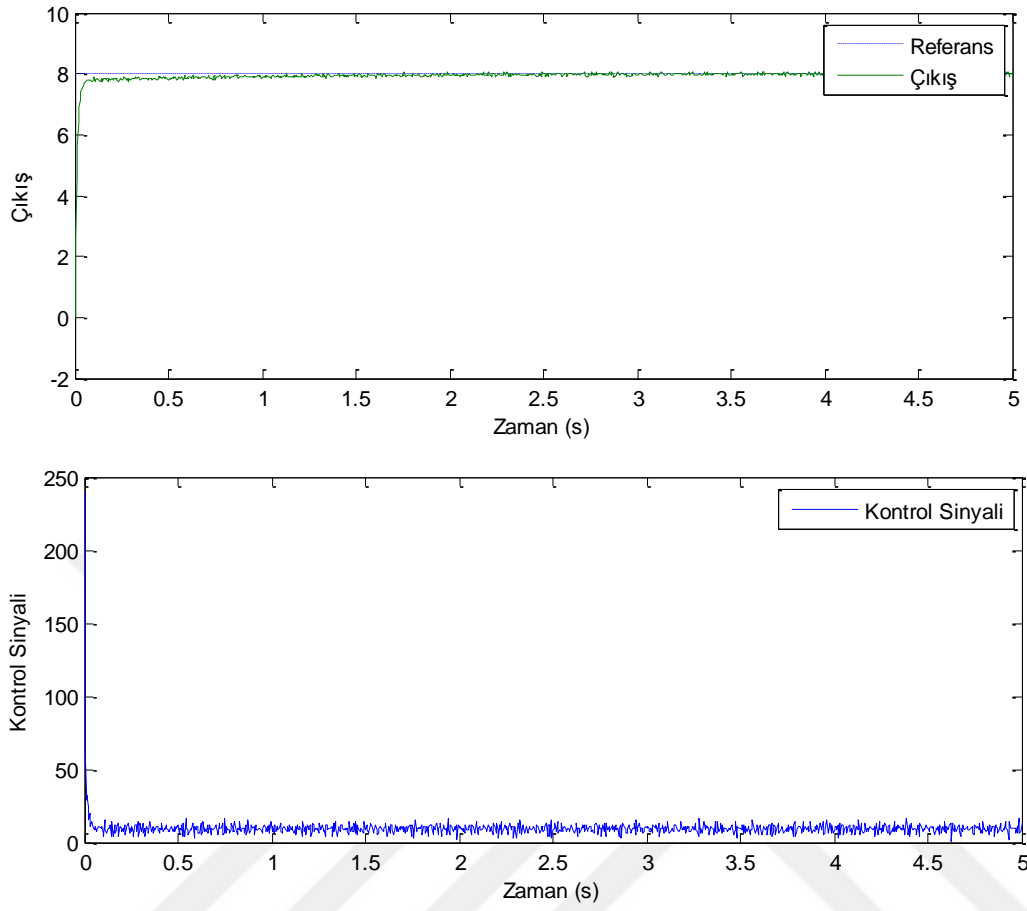
Şekil 3.3. 20 iterasyon 50 yağmur damlası sonucu elde edilen PID parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi

Şekil 3.4 incelendiğinde, oransal ve integral parametrelerinin uygunluk fonksiyonlarında kısa sürede iyileşme gözlenirken su döngüsü algoritmasının - türev parametresinde ilk iterasyonda en iyi değeri bulduğu ve diğer parametreler ile en iyi sonucu simülasyon sonuna kadar sürdürdüğü anlaşılmaktadır.

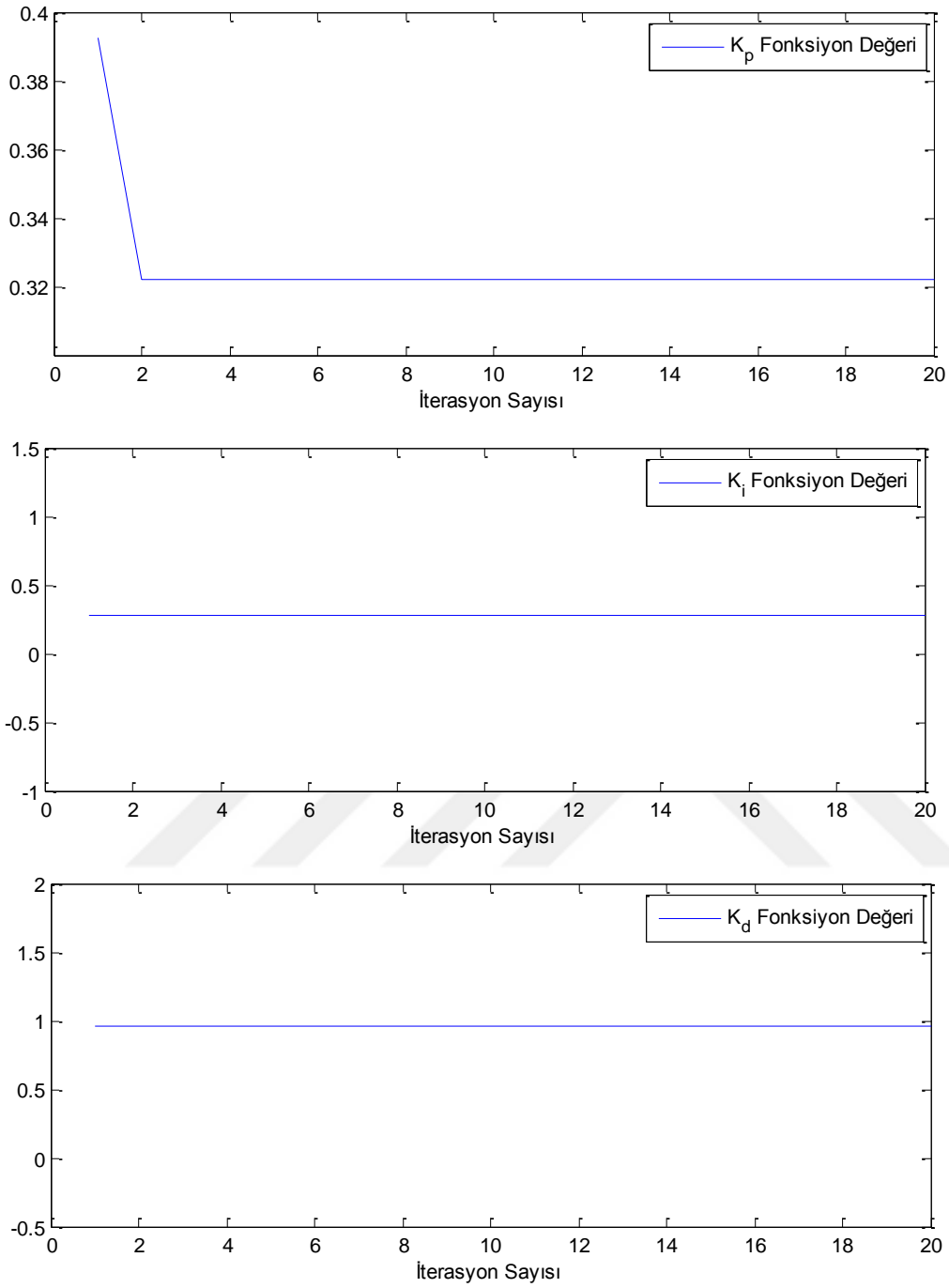
Şekil 3.5 ve 3.6'da 20 iterasyon ve 100 yağmur damlası ile elde edilen sonuçlar verilmiştir. Yağmur damlası sayısının artması, ilk iterasyonlarda en iyi parametreyi bulma olasılığını arttırmıştırdan dolayı kısa sürede en iyi sonuca erişilmiştir. Bulunan parametreler ile yapılan simülasyonda sistem çıkışı gayet istenen nitelikte gerçekleşmiştir.



Şekil 3.4. PID parametreleri için 20 iterasyon 50 yağmur damlası ile elde edilen uygunluk fonksiyonları değişimi



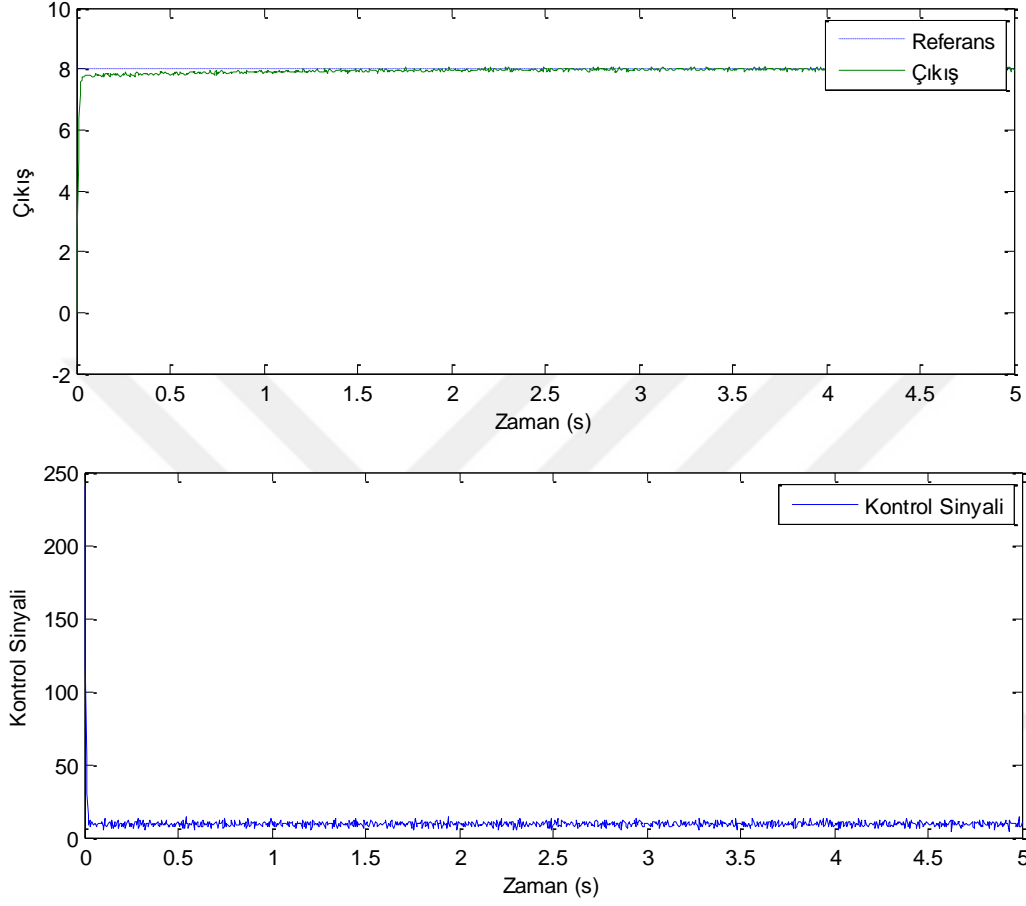
Şekil 3.5. 20 iterasyon 100 yağmur damlası sonucu elde edilen PID parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi



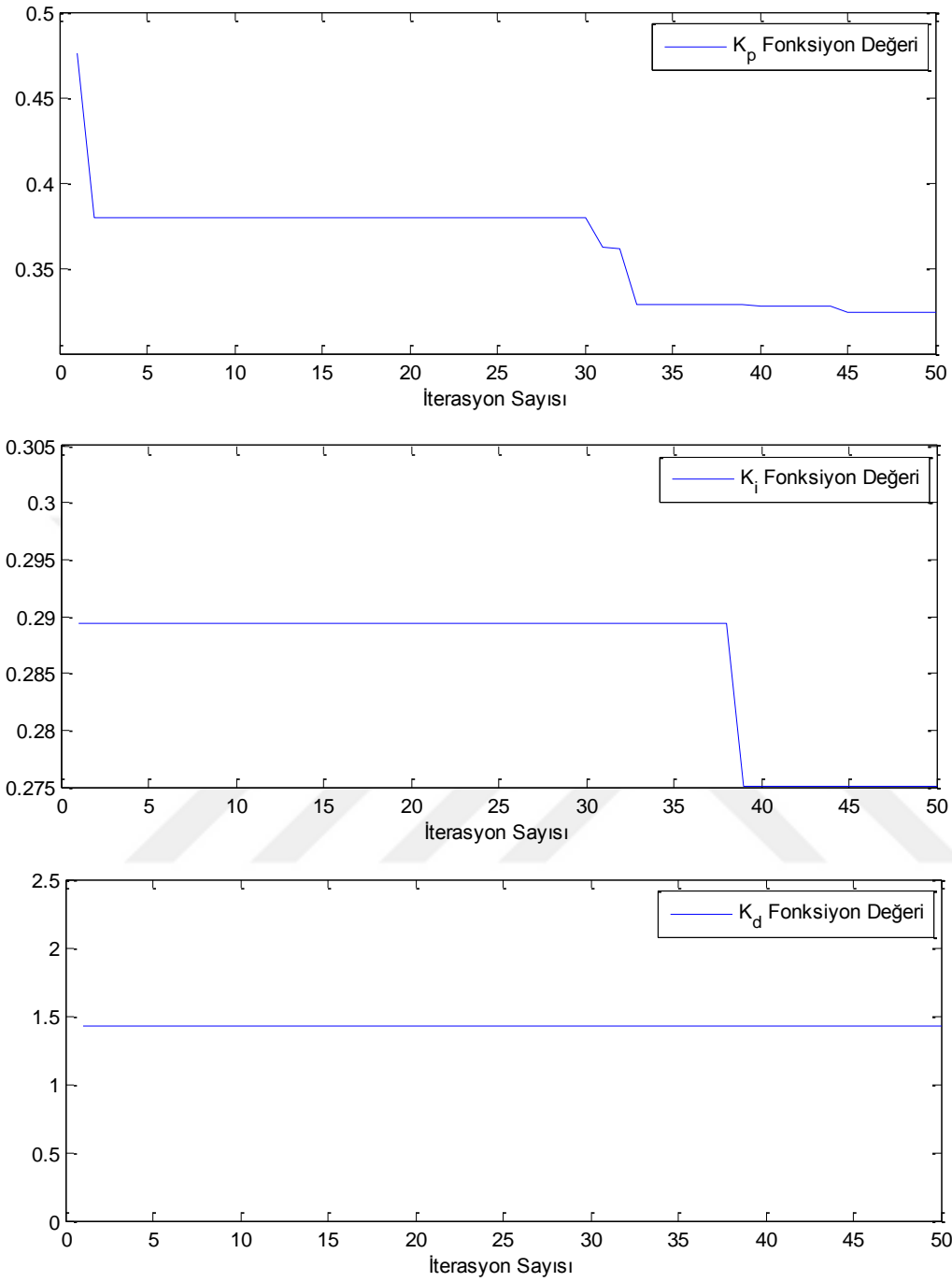
Şekil 3.6. PID parametreleri için 20 iterasyon 100 yağmur damlası ile elde edilen uygunluk fonksiyonları değişimi

Şekil 3.7 ve 3.8’de 50 iterasyon 10 yağmur damlası ile yapılan simülasyon sonucu alınan çıkış ve uygunluk fonksiyonları vardır. Elde edilen çıkış ve kontrol sinyali ve karakteristiği daha önceki deneylerle çok yakın benzerlik göstermiştir. Ancak popülasyon tabanlı arama algoritmalarının sonucu olarak bu simülasyonda oransal parametrenin uygunluk fonksiyonda iyileşme iterasyon sonuna kadar sürmüştür bununla beraber integral parametresinde ise iterasyonun ikinci yarısında iyileşme gözlemlenmiştir. Türev

parametresindeki aralığın sistemdeki gürültüden dolayı dar tutulduğundan ilk iterasyonda en iyi değere ulaşmıştır.

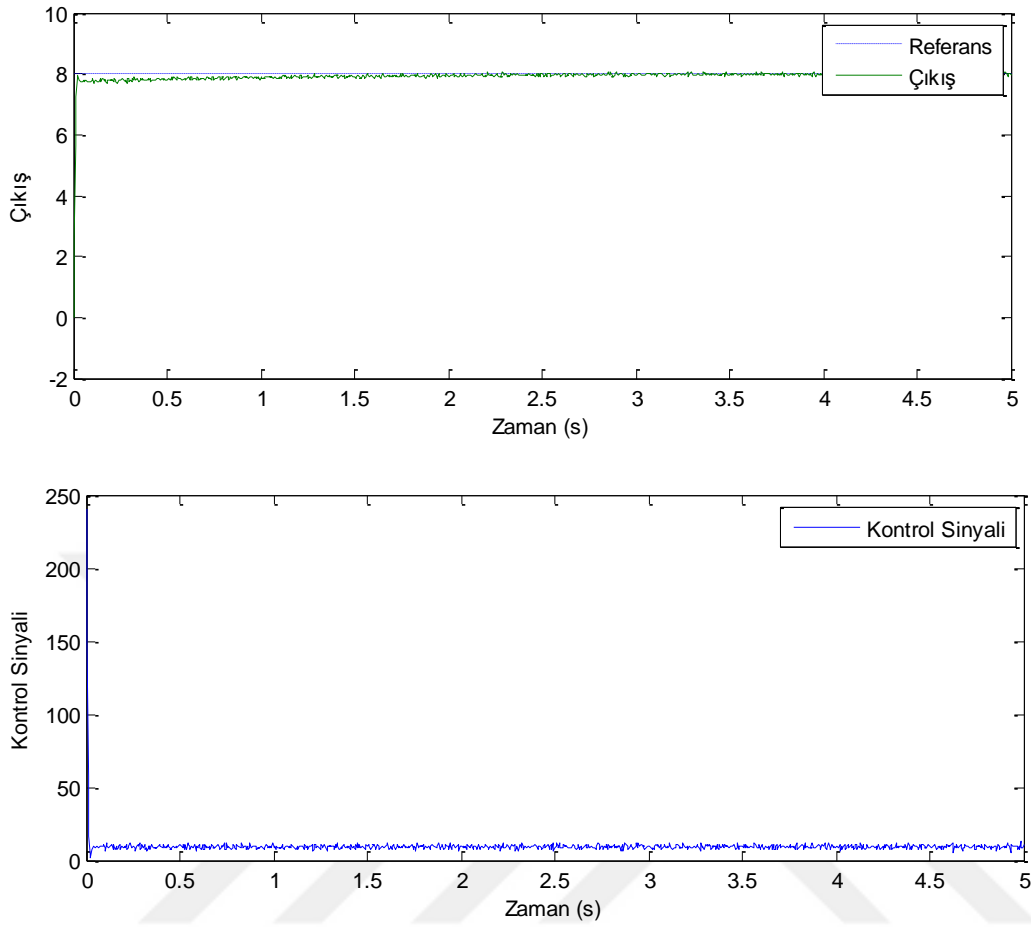


Şekil 3.7. 50 iterasyon 10 yağmur damlası sonucu elde edilen PID parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi



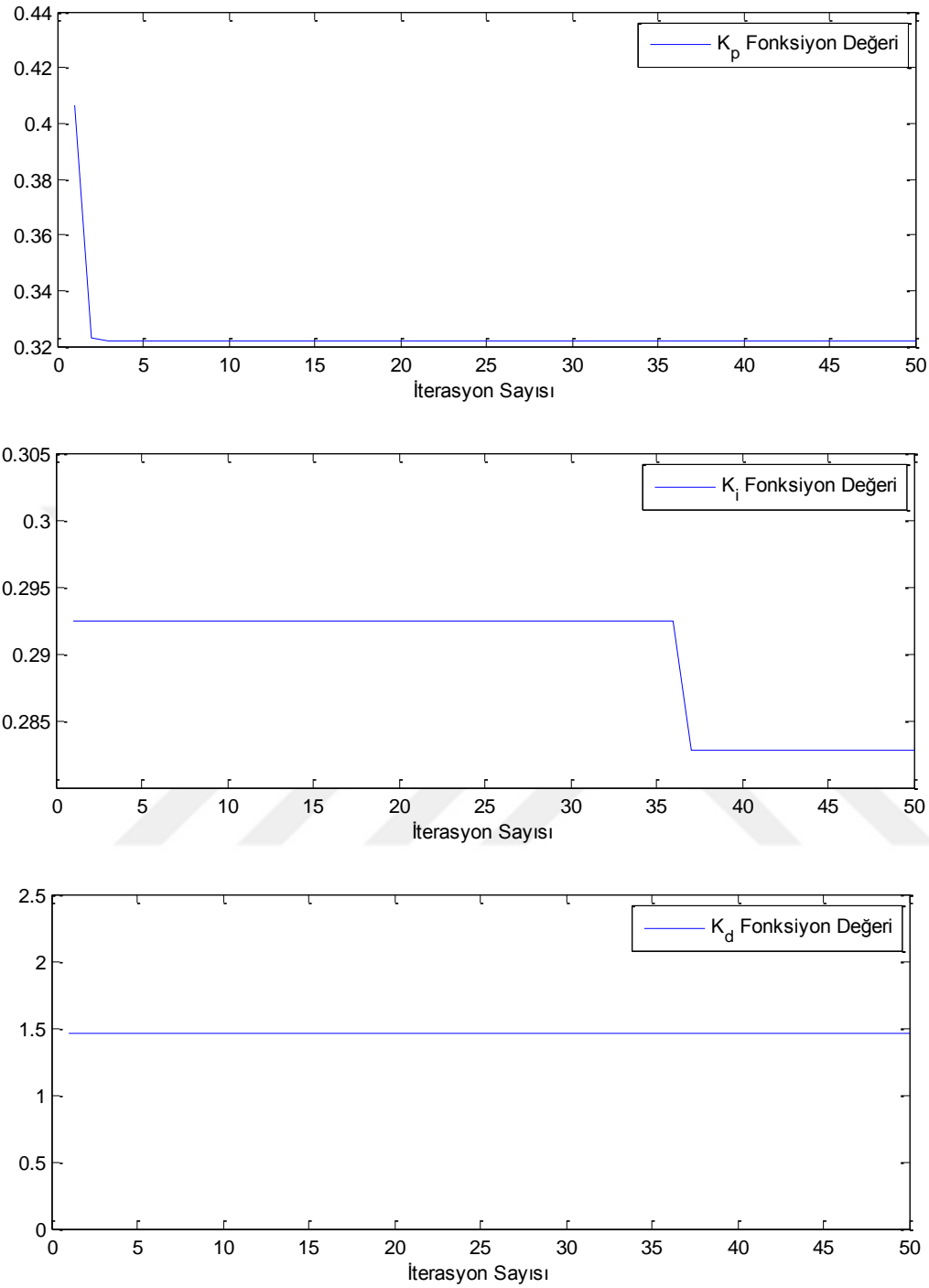
Şekil 3.8. PID parametreleri için 50 iterasyon 10 yağmur damlası ile elde edilen uygunluk fonksiyonları değişimi

Şekil 3.9'da ve Şekil 3.10'da 50 yağmur damlası ile 50 iterasyonda çalıştırılarak elde edilen en iyi çıkış grafikleri ve uygunluk fonksiyonları değişimi yer almaktadır. Önceki deneysel çalışmaya göre gözle görülür derecede çıkışta bir fark oluşmamıştır. Ancak, kontrol sinyalindeki osilasyonda önemli derecede azalma olmuş, bu durum çıkış karakteristiğinde bozulmaya yol açmamıştır.



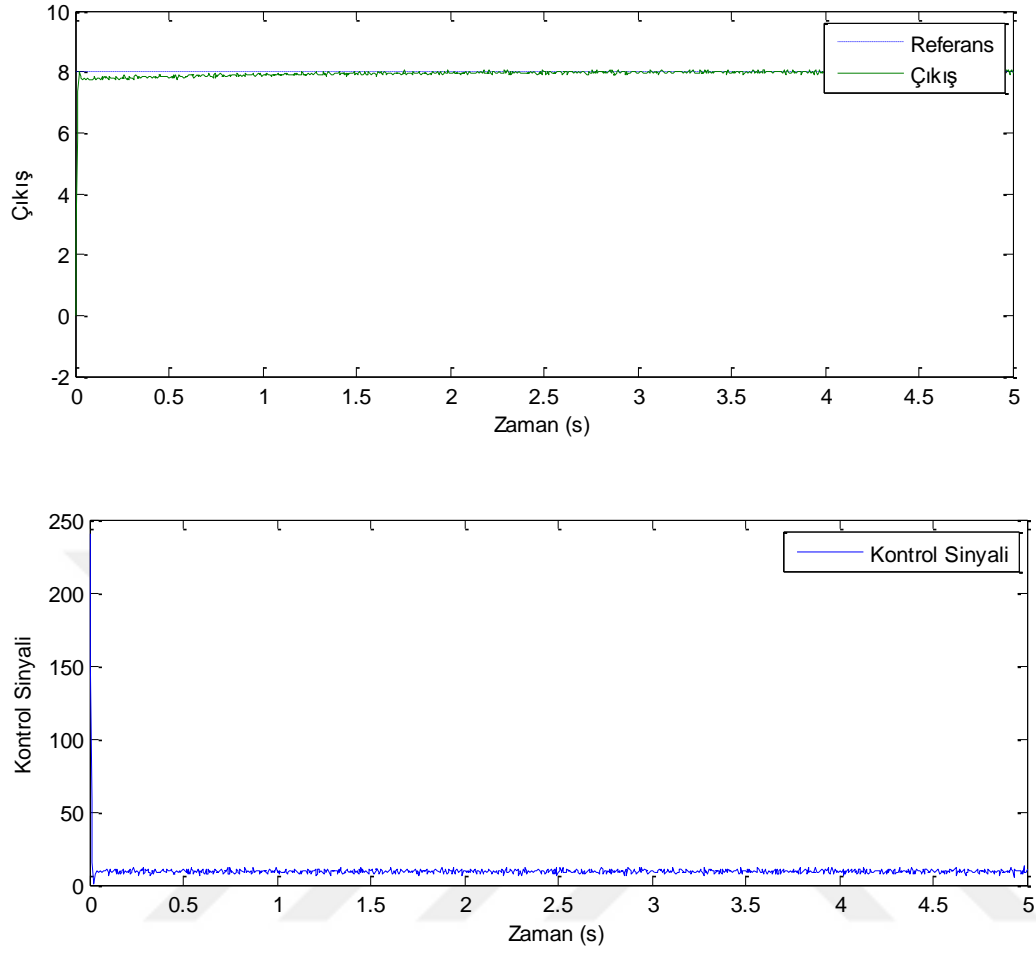
Şekil 3.9. 50 yağmur damlası 50 iterasyon sonucu elde edilen PID parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi

Şekil 3.10'da PID parametreleri için belirlenen uygunluk fonksiyonlarının değişimi iterasyon sayısına bağlı olarak gösterilmiştir. Buna göre incelendiğinde, oransal ve integral parametrenin kısa sürede en iyi değerini bulduğu ancak bu değerlerde türev parametresinin de iyi bir değere sahip olduğu anlaşılmaktadır. İlerleyen iterasyonlarda türev parametresinde de az da olsa bir iyileşme sağlandığı görülmektedir.

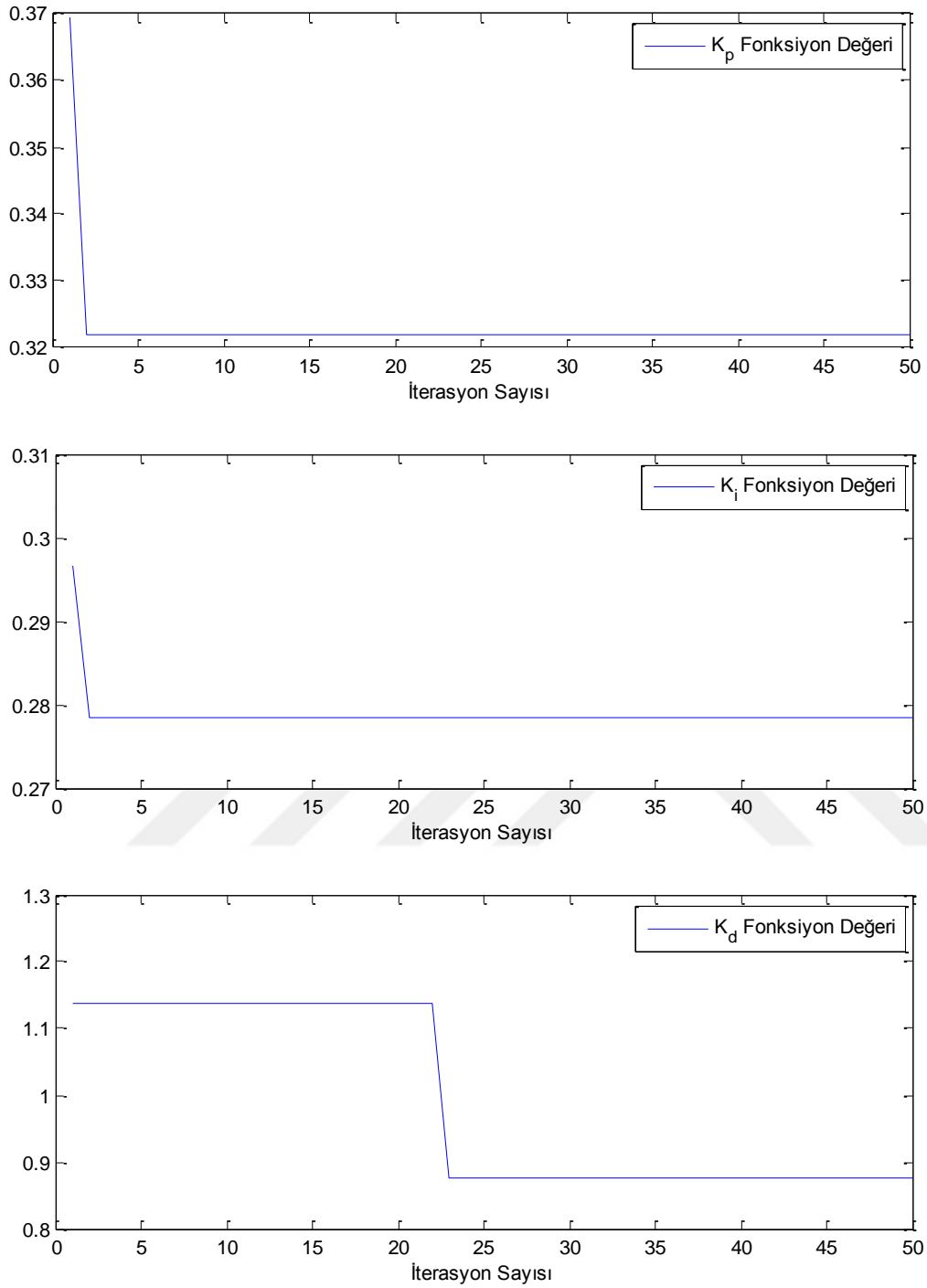


Şekil 3.10. PID parametreleri için 50 yağmur damlası 50 iterasyon ile elde edilen uygunluk fonksiyonları değişimi

50 yağmur damlası ve 100 iterasyonda SDA çalıştırılarak elde edilen en iyi çıkış grafikleri ve uygunluk fonksiyonları değişimi Şekil 3.11’de ve Şekil 3.12’de yer almaktadır. İlk 5 iterasyonda oransal ve integral parametresi en iyi değere ulaşırken türev parametresi daha sonra iyileşme göstermiştir.

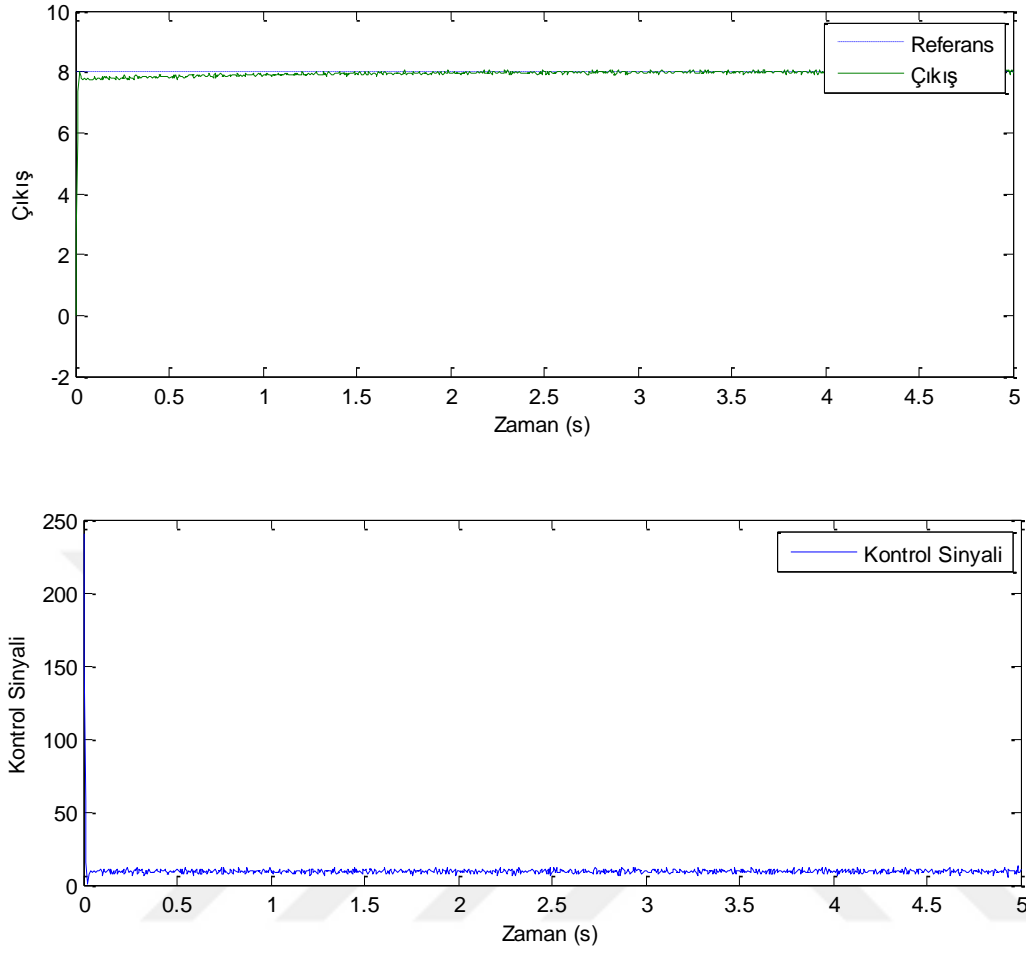


Şekil 3.11. 50 yağmur damlası 100 iterasyon sonucu elde edilen PID parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi

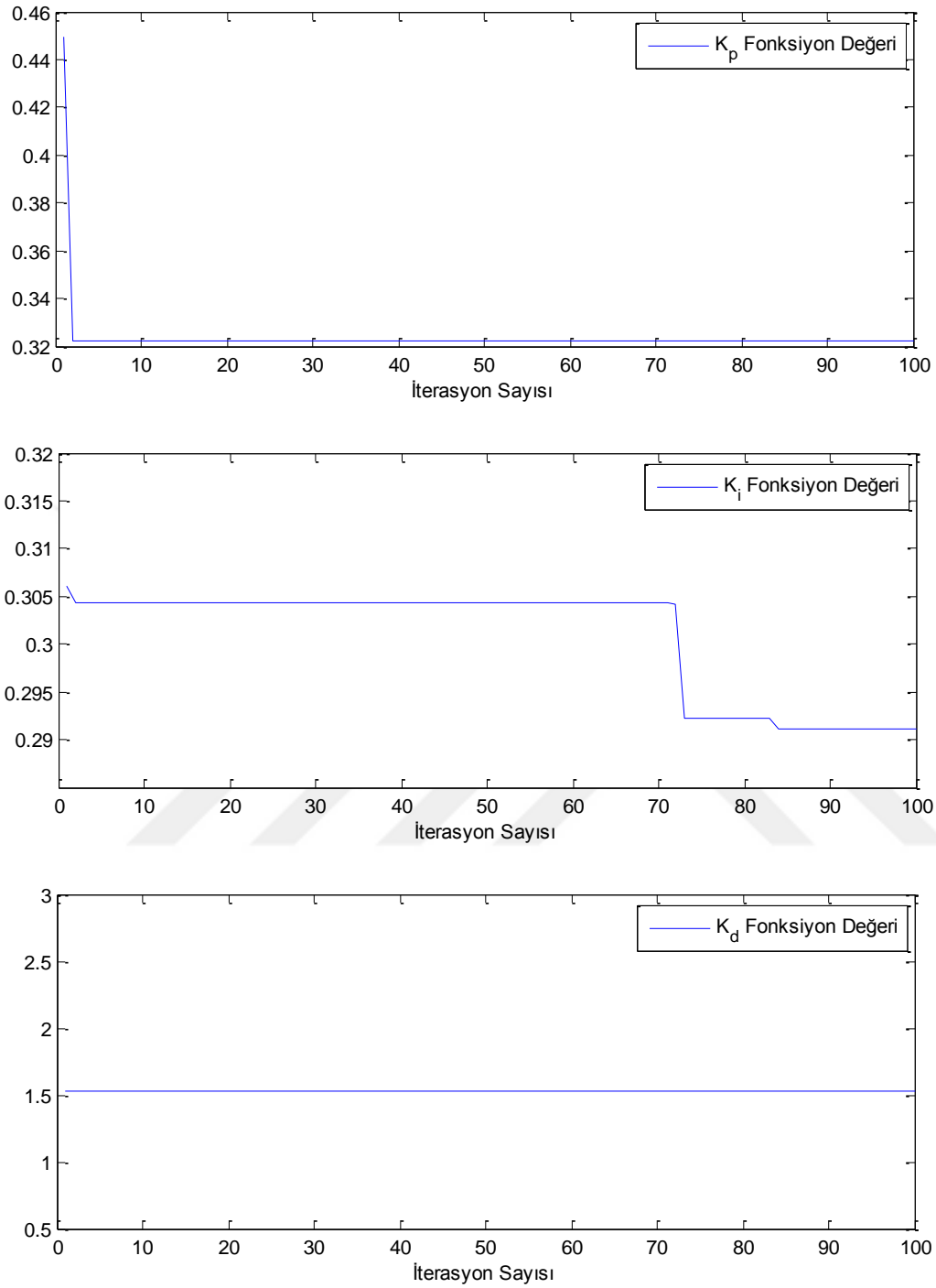


Şekil 3.12. PID parametreleri için 50 yağmur damlası 100 iterasyon ile elde edilen uygunluk fonksiyonları değişimi

100 yağmur damlası ve 10 iterasyonda SDA çalıştırılarak elde edilen en iyi çıkış grafikleri ve uygunluk fonksiyonları değişimi Şekil 3.13'te ve Şekil 3.14'de yer almaktadır. Popülasyon tabanlı algoritmaların doğası gereği bu simülasyonda farklı bir iyileşme grafiği ile en iyi değerlere ulaşılmıştır.

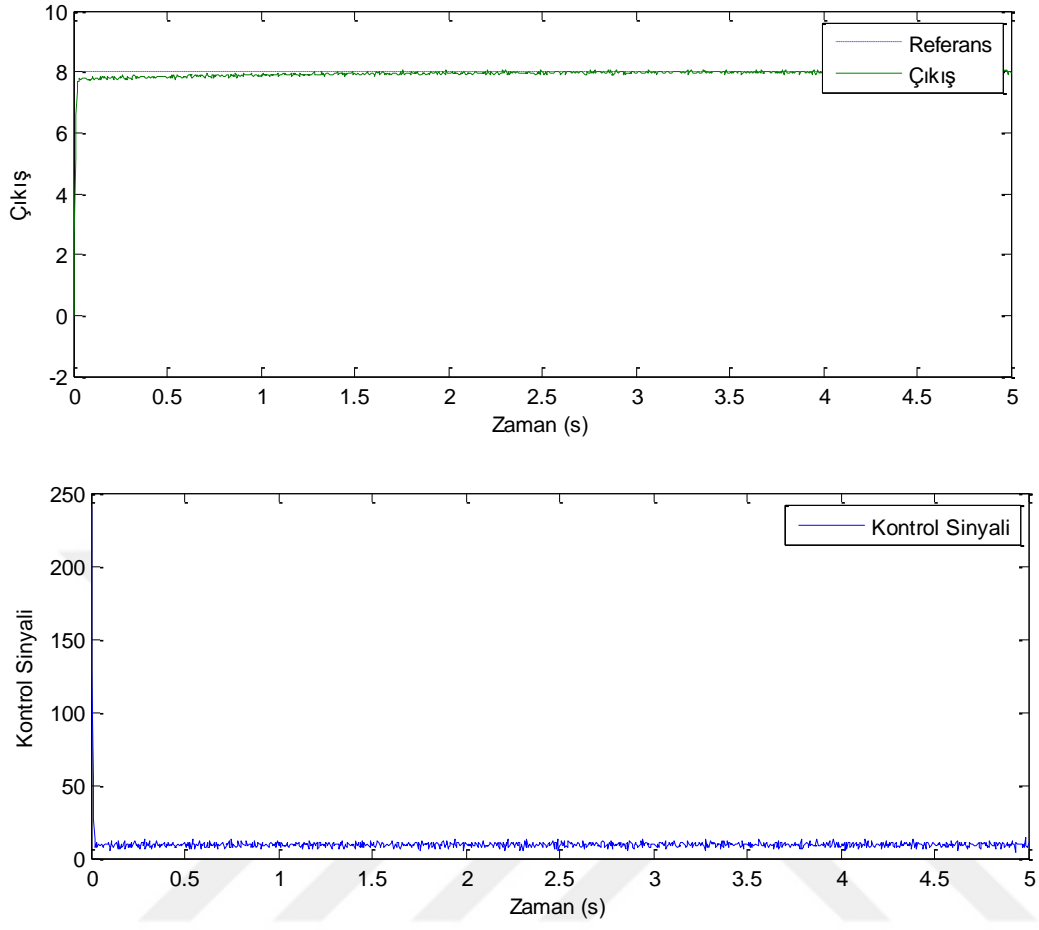


Şekil 3.13. 100 yağmur damlası 10 iterasyon sonucu elde edilen PID parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi

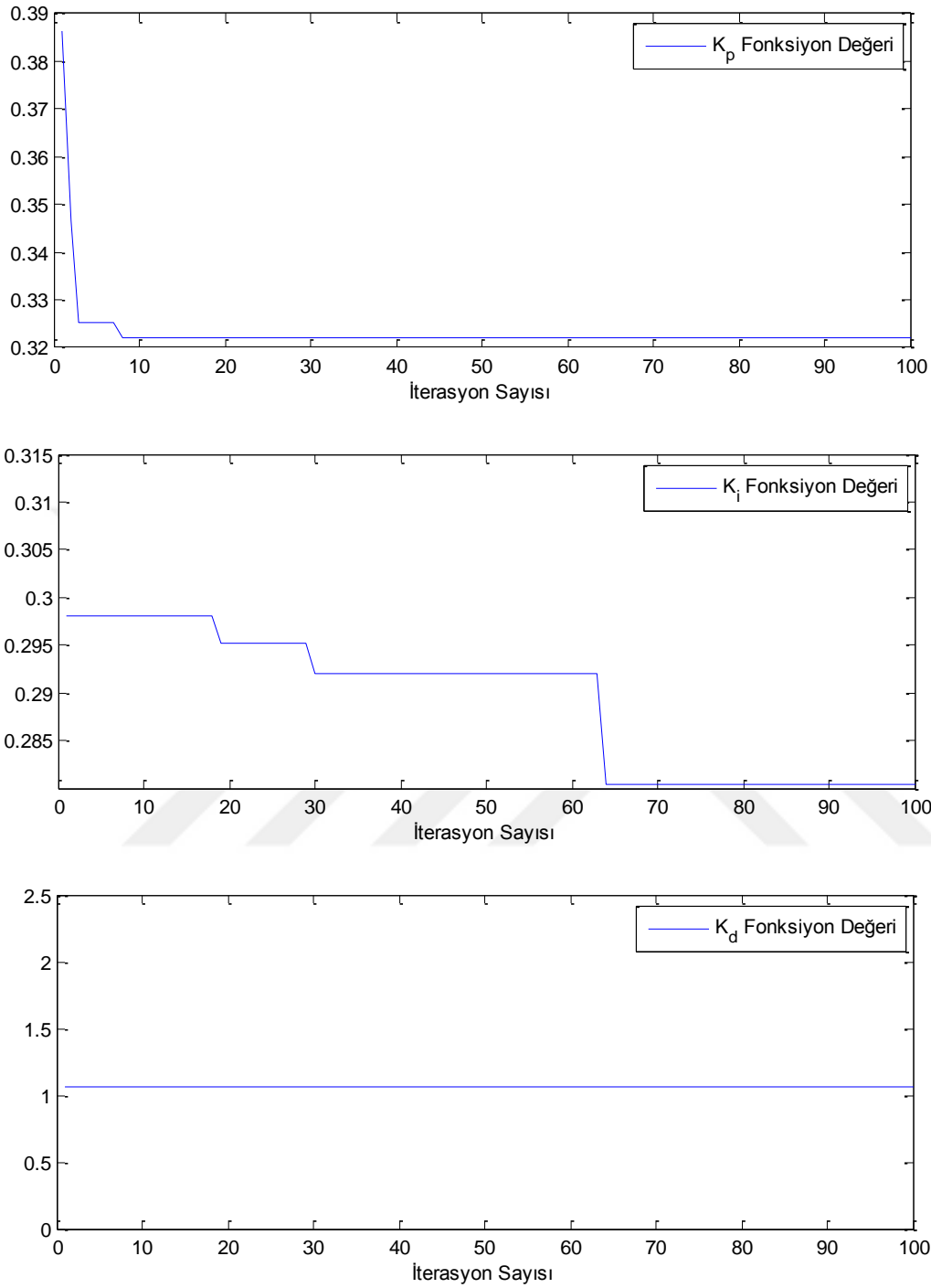


Şekil 3.14. PID parametreleri için 100 yağmur damlası 10 iterasyon ile elde edilen uygunluk fonksiyonları değişimi

Son iki deneysel çalışma olan 100 yağmur damlası ile 50 ve 100 iterasyonlarla yapılan simülasyon sonuçları Şekil 3.15-18'de verilmiştir. Görüldüğü gibi elde edilen sonuçlar da önemli bir iyileşme olmamış farklı karakteristikte iyileşme grafikleri gözlemlenmiştir.

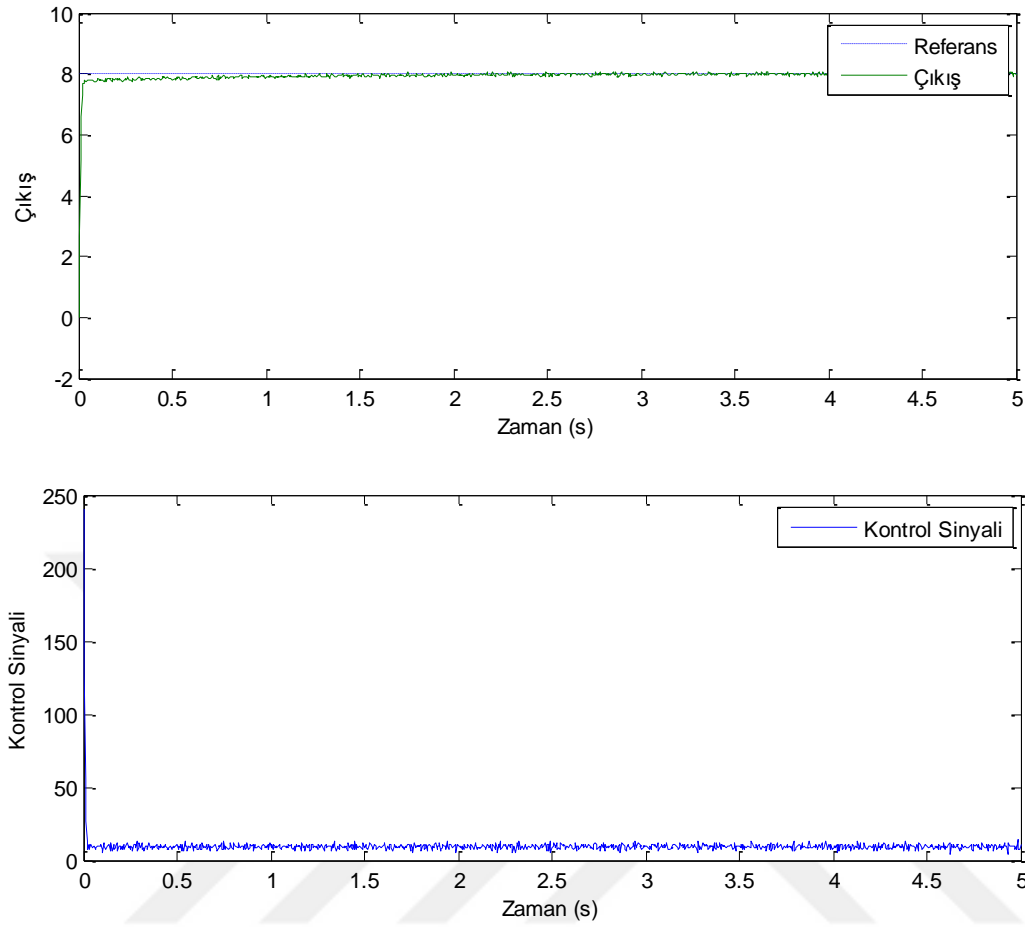


Şekil 3.15. 100 yağmur damlası 50 iterasyon sonucu elde edilen PID parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi



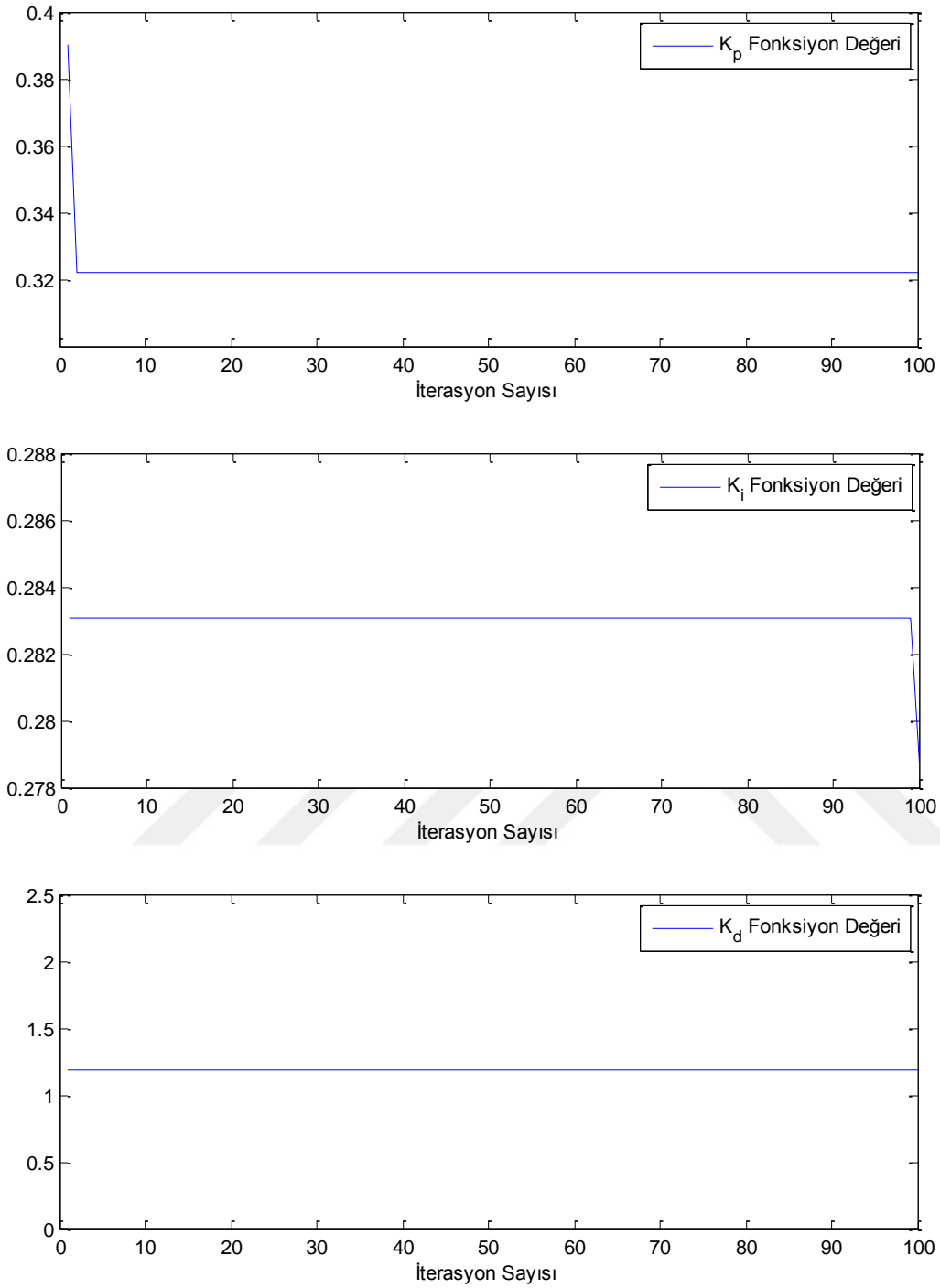
Şekil 3.16. PID parametreleri için 100 yağmur damlası 50 iterasyon ile elde edilen uygunluk fonksiyonları değişimi

Şekil 3.17'de ise 100 yağmur damlası ve 100 iterasyon ile yapılan simülasyon sonucu sistemin çıkış grafiği ile kontrol sinyali görülmektedir. Elde edilen sonuca bakıldığında, kontrol sinyalinin iyileşmesinin sistem çıkışını etkilemeyecek düzeyde olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 3.17. 100 yağmur damlası 100 iterasyon sonucu elde edilen PID parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi

Şekil 3.18’de 100 yağmur damlası 100 iterasyon sonucu elde edilen uygunluk fonksiyonu değişimleri verilmiştir. Doğal olarak popülasyon sayısındaki artış ilk iterasyonlardaki iyileşmede gecikmelere sebep olmakla beraber ilerleyen iterasyonlarda az miktarda iyileşme devam etmiştir.



Şekil 3.18. PID parametreleri için 100 yağmur damlası 100 iterasyon ile elde edilen uygunluk fonksiyonları değişimi

Bu sonuçlar değerlendirildiğinde, PID kontrol parametrelerinin optimizasyonu için ayrı uygunluk fonksiyonları ile kullanılan SDA, oldukça iyi sonuçlara az sayıda işlem ile ulaşmayı başarmıştır.

Bu çalışmada ele alınan diğer kontrol yöntemi olan KKK için farklı sayılarda iterasyon ve yağmur damlaları ile elde edilen en iyi parametreler ile simülasyon sonuçlarının istatistikleri Çizelge 3.3. ile Çizelge 3.4. verilmiştir.

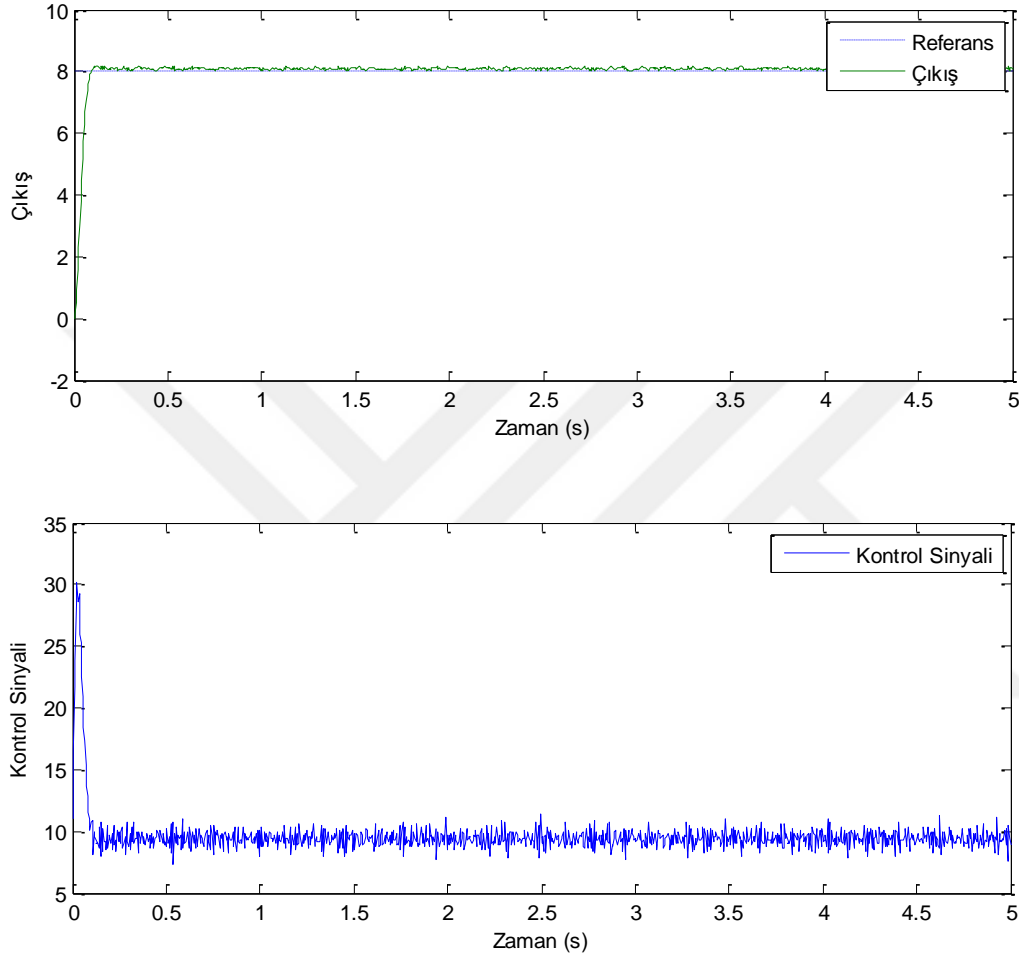
Çizelge 3.3. KKK için simülasyon sonuçları

İterasyon Sayısı	Yağmur Damlası Sayısı	ISE	ITAE	Simülasyon Süresi (s)
30	30	1,9309018966301200	0,4657295865313980	34
	50	1,9308760663591600	0,4657233457720600	86
	100	1,9308760663591600	0,4657233457720600	154
50	30	1,9308759878166400	0,4657233569421680	59
	50	4,2343696207573100	1,2445565596462660	120
	100	1,9308760663591700	0,4657233457720580	314
100	30	1,9308760663591700	0,4657233457720590	85
	50	1,9308760663591600	0,4657233457720590	277
	100	1,9308760663591700	0,4657233457720580	560

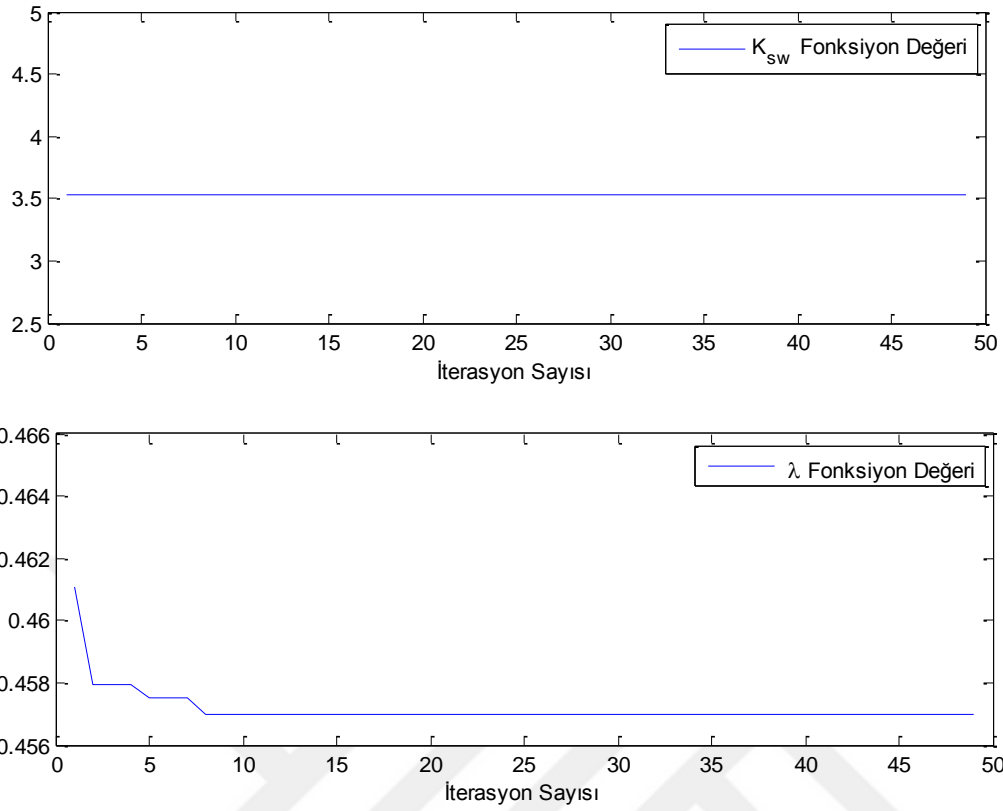
Çizelge 3.4. KKK için en iyi parametre değerleri

İterasyon Sayısı	Yağmur Damlası Sayısı	k_{sw}	λ
30	30	14,17334	0,70613
	50	28,38498	0,70899
	100	50,00000	0,20114
50	30	50,00000	0,36544
	50	4,23434	1,24456
	100	24,43838	0,29225
100	30	15,49925	0,67172
	50	28,22042	0,44612
	100	18,69913	0,42732

Şekil 3.19'da 30 iterasyon 30 yağmur damlası sonucu elde edilen KKK çıkış ve kontrol sinyali gösterilmektedir. Çıkış sinyalinden görüleceği üzere kısa sürede istenilen referans değerine ulaşmış ve kabul edilebilir düzeyde salınım ve kontrol sinyalindeki az düzeydeki çaptırdama ile istenilen değere oturmuştur.

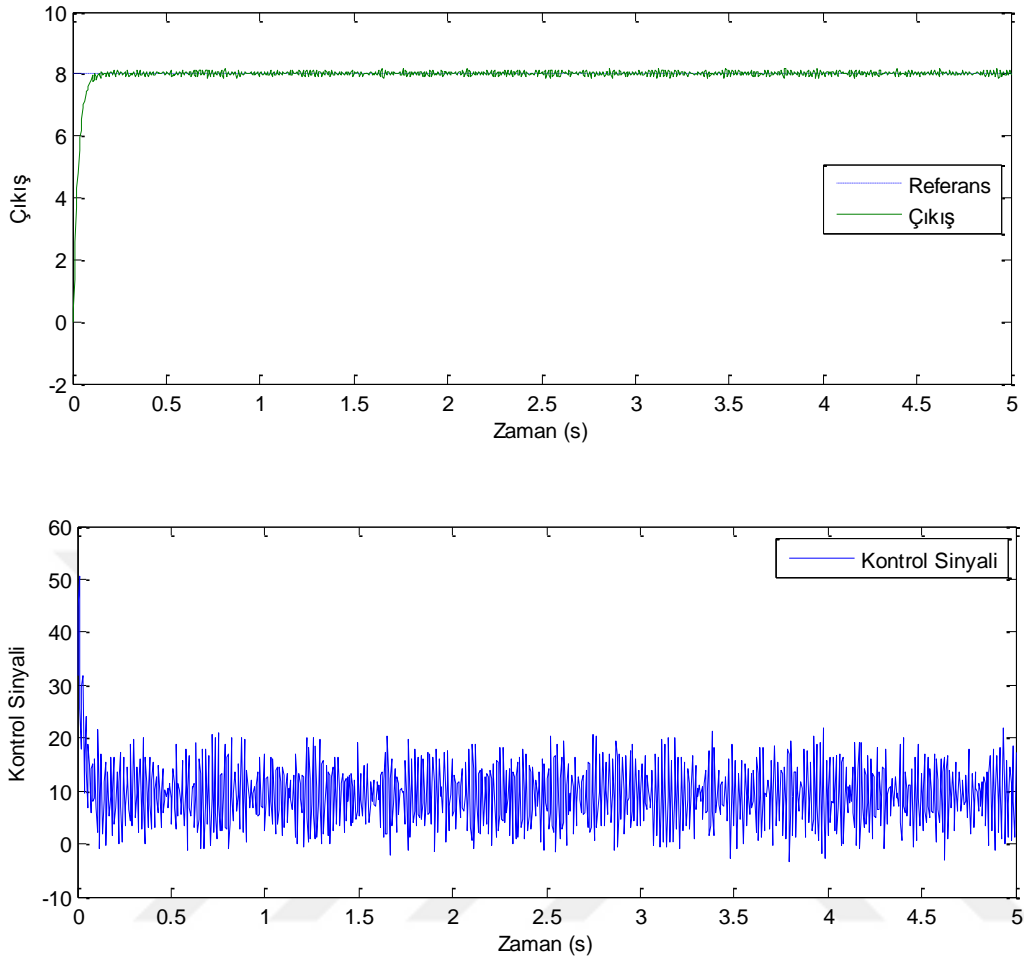


Şekil 3.19. 30 iterasyon 30 yağmur damlası sonucu elde edilen KKK parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi

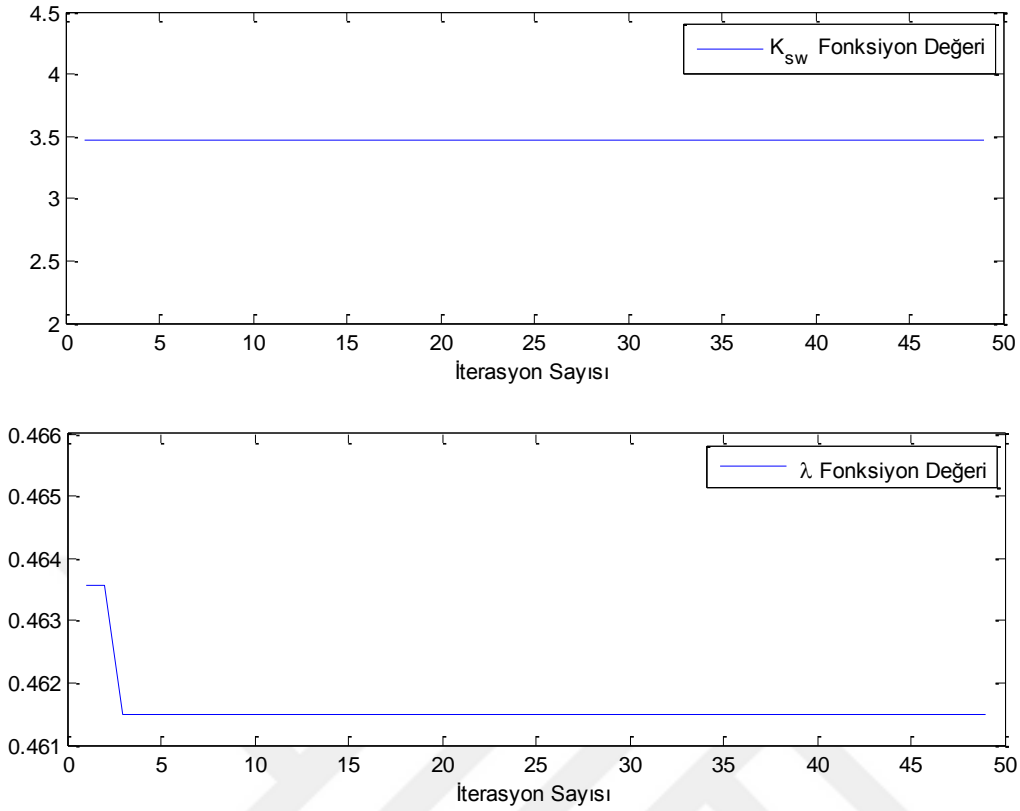


Şekil 3.20. KKK parametreleri için 30 iterasyon 30 yağmur damlası ile elde edilen uygunluk fonksiyonları değişimi

30 iterasyon 50 yağmur damlası ile elde edilen çıkış ve kontrol sinyali grafiği Şekil 3.21 ve Şekil 3.22’de verilmiştir. Sistem kısa sürede referans değere oturmuş ve az salınım yapıyor olsa da kontrol sinyalindeki çatırdamalar gözle görülür düzeydedir. Bu çatırdama ilgili iterasyon ve popülasyon değerlerine karşılık sistemin karakteristiğini göstermektedir. Uygunluk fonksiyonlarında λ az iterasyonda sonuç almasına karşılık k_{sw} tek defada istenilen değeri elde etmiştir.

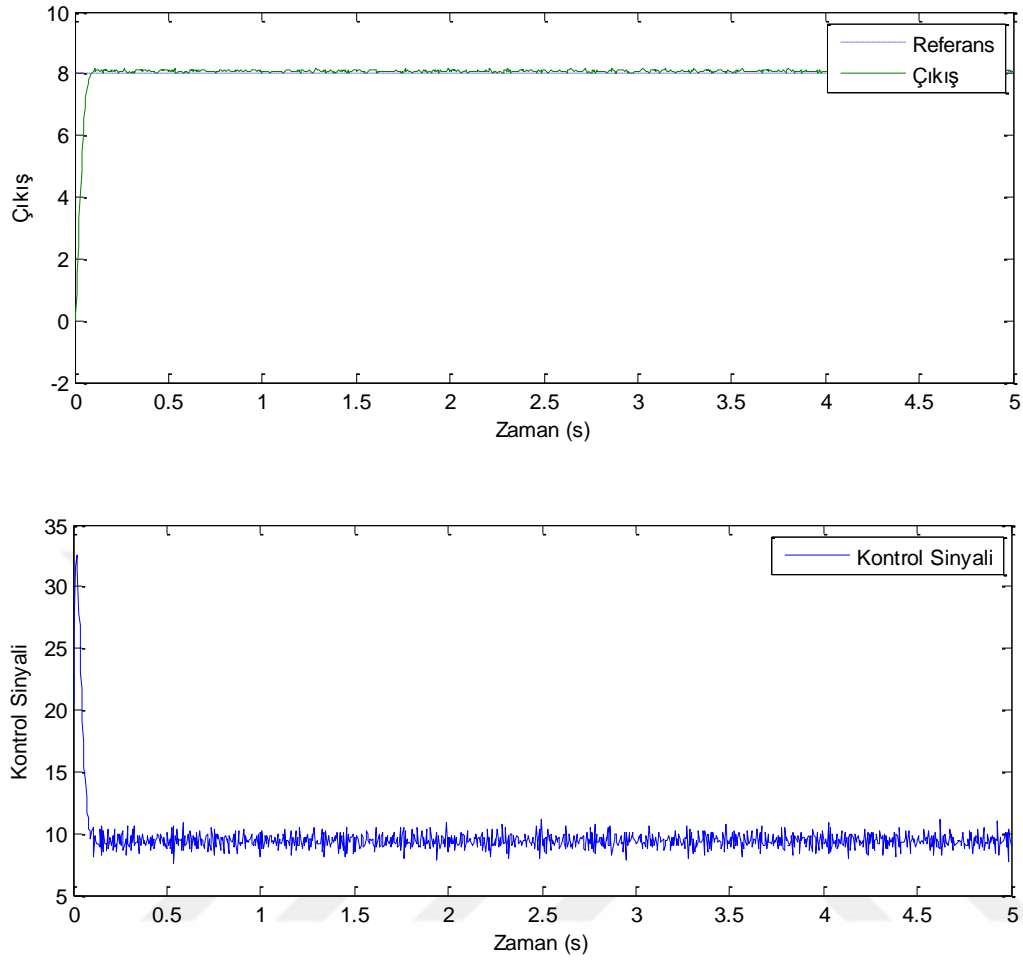


Şekil 3.21. 30 iterasyon 50 yağmur damlası sonucu elde edilen KKK parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi

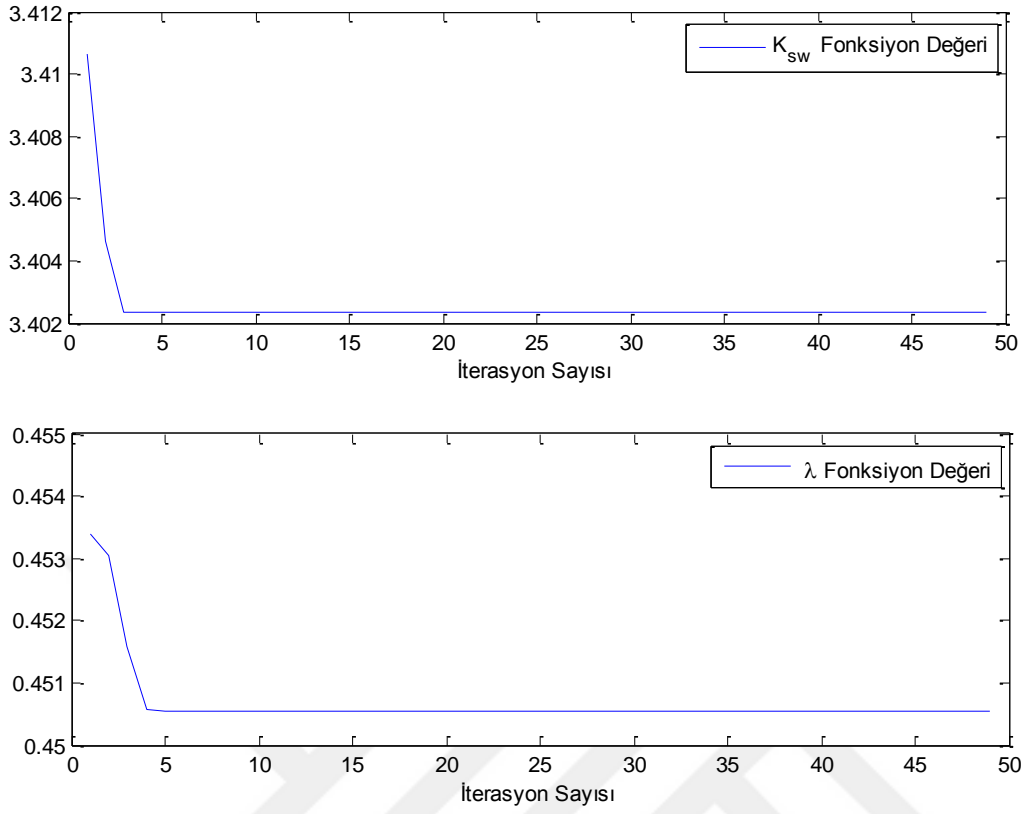


Şekil 3.22. KKK parametreleri için 30 iterasyon 50 yağmur damlası ile elde edilen uygunluk fonksiyonları değişimi

Şekil 3.23 ve Şekil 3.24’de 30 iterasyon 100 yağmur damlası sonucu elde edilen çıkış ve uygunluk fonksiyonu grafikleri verilmiştir. Çıkış grafiği Şekil 3.21’deki 30 iterasyon 50 yağmur damlasındaki çıkışla benzer olmasına rağmen kontrol sinyalinde daha az çatlama olduğu görülmektedir.

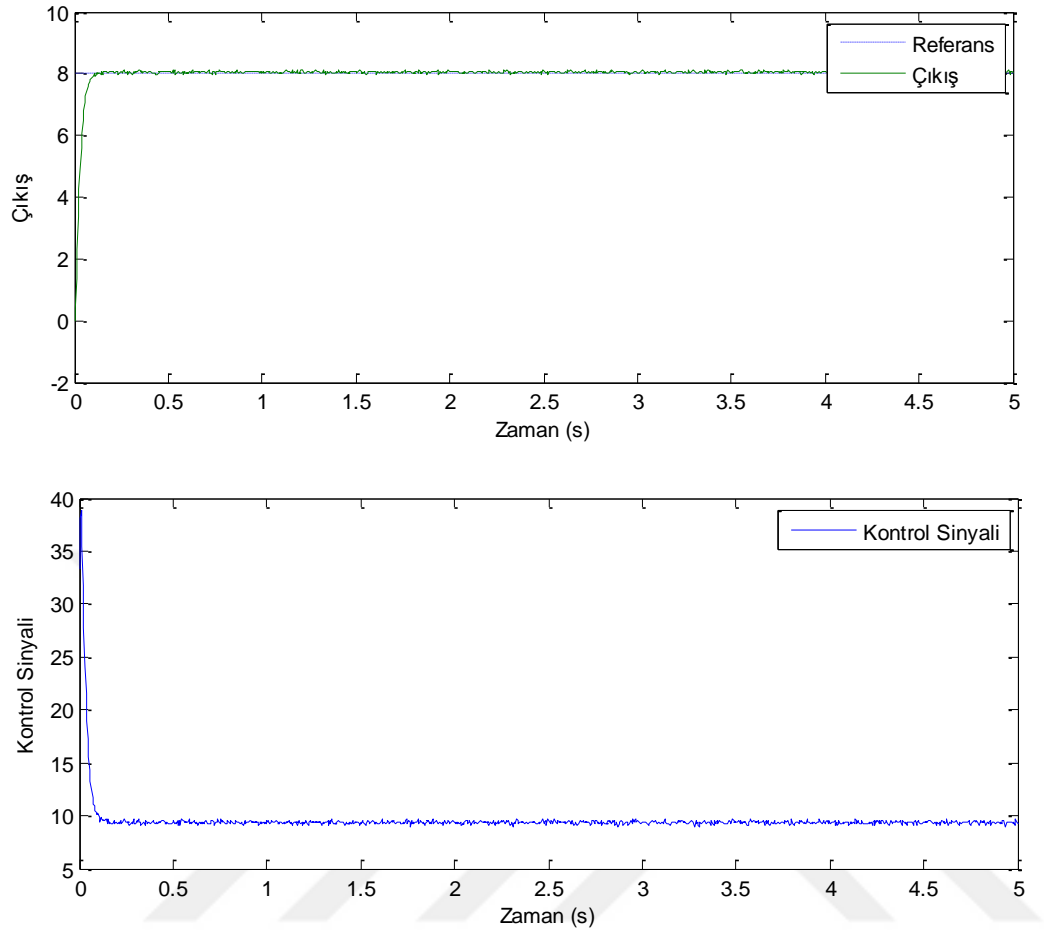


Şekil 3.23. 30 iterasyon 100 yağmur damlası sonucu elde edilen KKK parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi

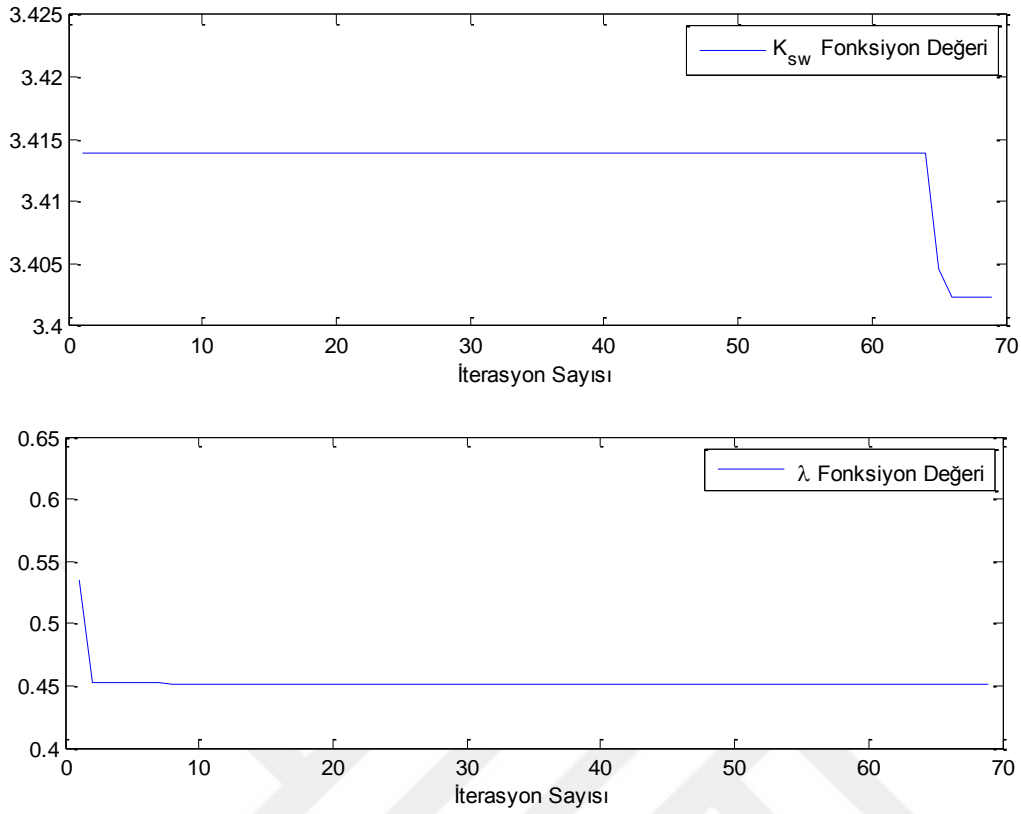


Şekil 3.24. KKK parametreleri için 30 iterasyon 100 yağmur damlası ile elde edilen uygunluk fonksiyonları değişimi

Şekil 3.25 ve Şekil 3.26 da 50 iterasyon 30 yağmur damlası ile elde edilen sonuçlar verilmiştir. Önceki iterasyonlara göre salınım ve çatırdama azalmış olduğu gözükmektedir.

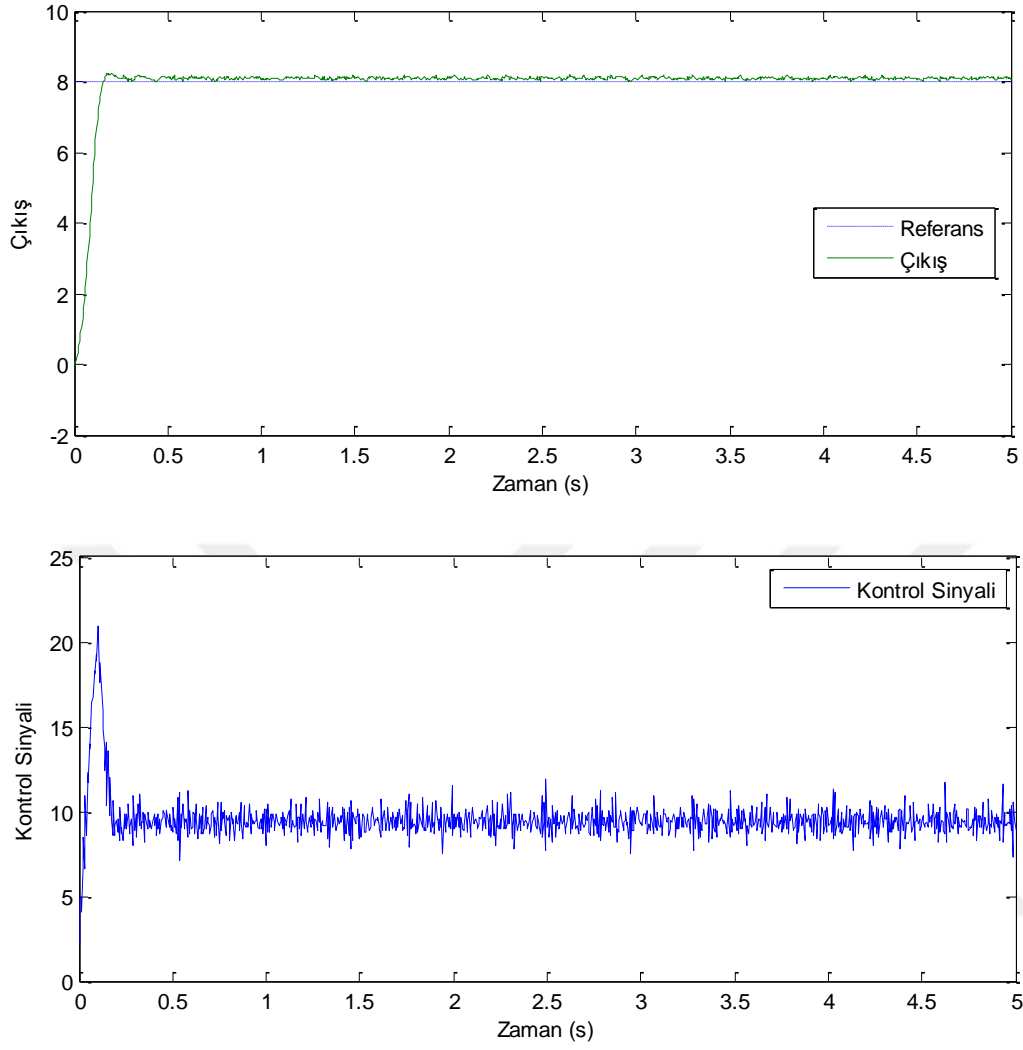


Şekil 3.25. 50 iterasyon 30 yağmur damlası sonucu elde edilen KKK parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi

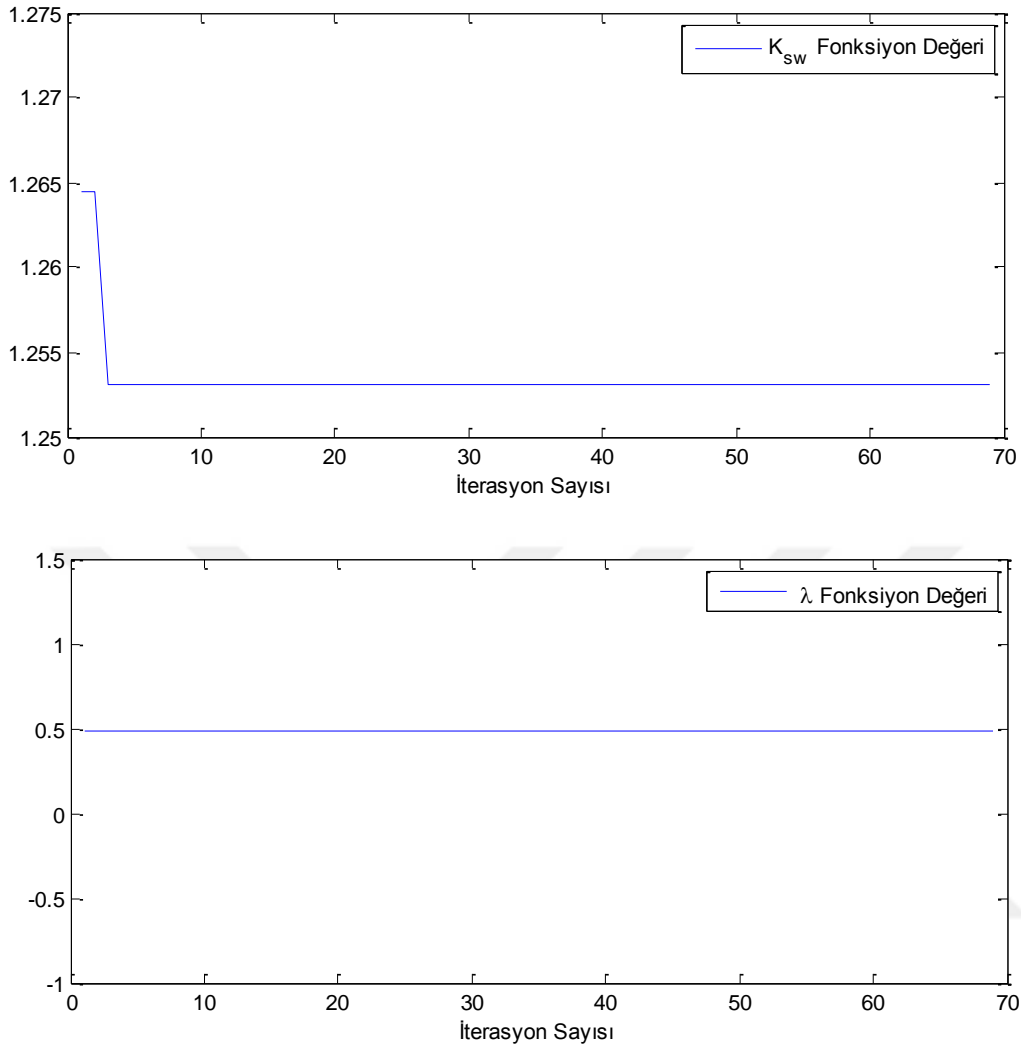


Şekil 3.26. KKK parametreleri için 50 iterasyon 30 yağmur damlası ile elde edilen uygunluk fonksiyonları değişimi

50 iterasyon 50 yağmur damlası sonucu elde edilen çıkış ve uygunluk fonksiyonu grafikleri Şekil 3.27'de ve Şekil 3.28'de verilmiştir. Önceki iterasyon ve popülasyon değerlerine göre çatırdama artmış ve az aşım gerçekleşmiştir.

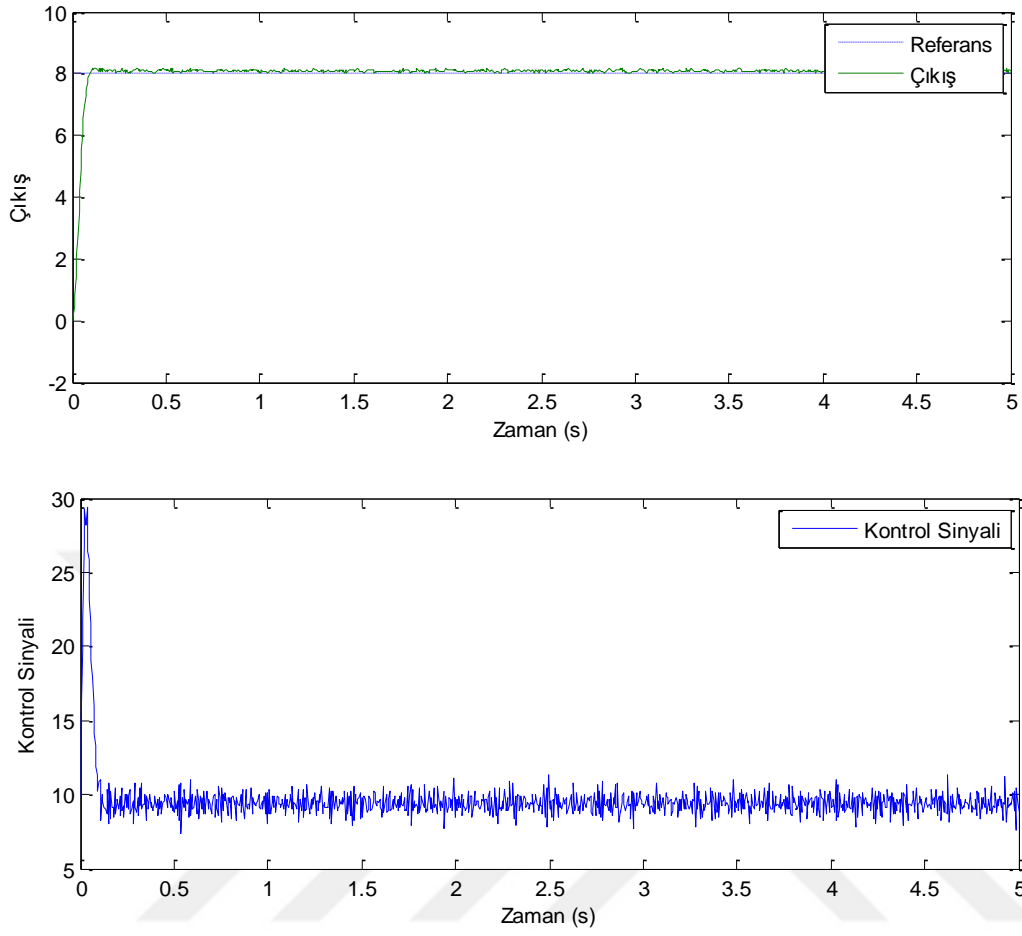


Şekil 3.27. 50 iterasyon 50 yağmur damlası sonucu elde edilen KKK parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi

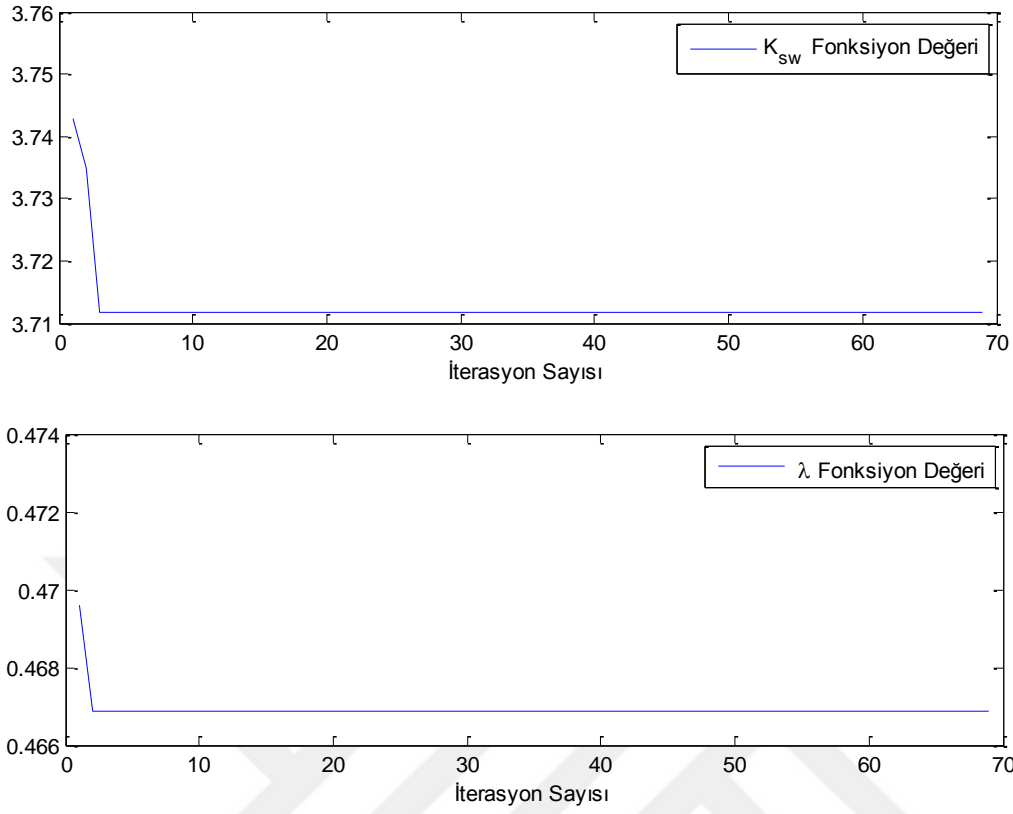


Şekil 3.28. KKK parametreleri için 50 iterasyon 50 yağmur damlası ile elde edilen uygunluk fonksiyonları değişimi

50 iterasyon 100 yağmur damlası sonucu elde edilen çıkış ve uygunluk fonksiyonu grafikleri Şekil 3.29 ve Şekil 3.30'da verilmiştir. Önceki grafiklere göre çıkış grafiğinde aşım azalmış ancak çatırdama artmıştır. Buna rağmen uygunluk fonksiyonları az iterasyon ile istenilen değere ulaşmıştır.

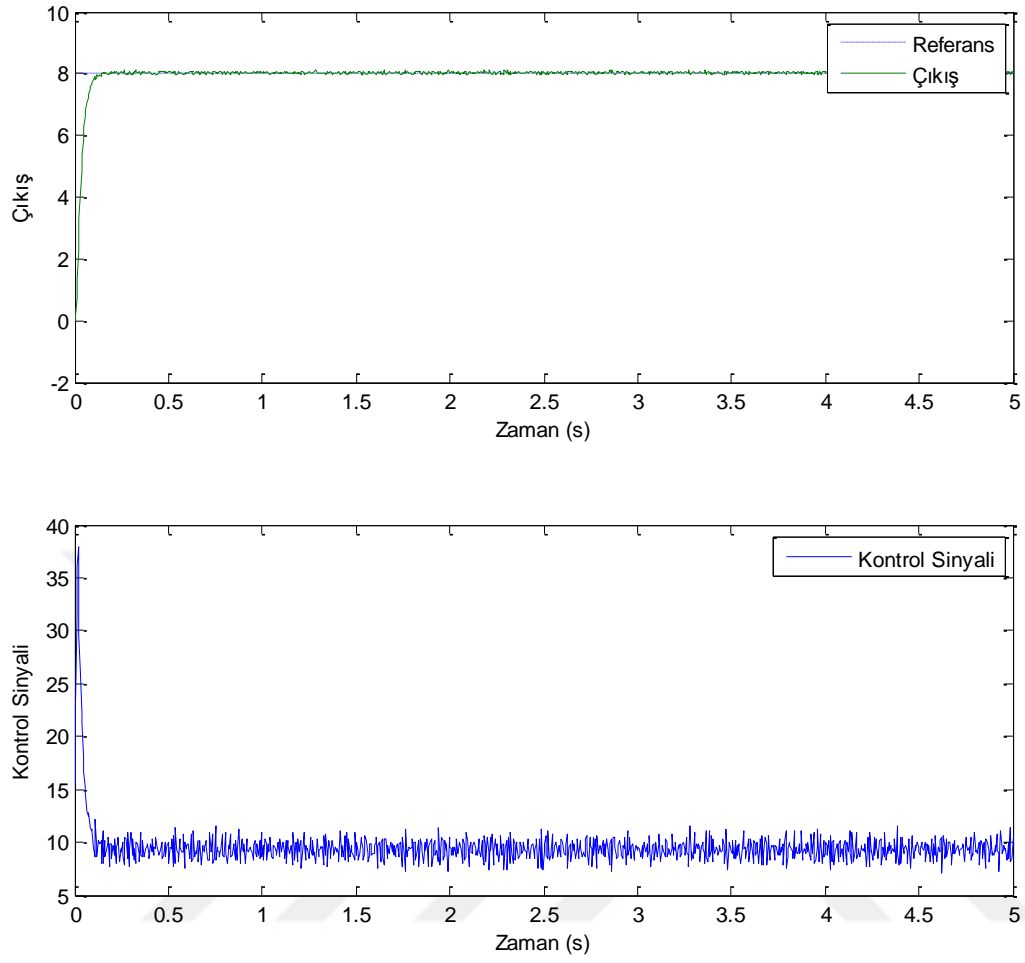


Şekil 3.29. 50 iterasyon 100 yağmur damlası sonucu elde edilen KKK parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi

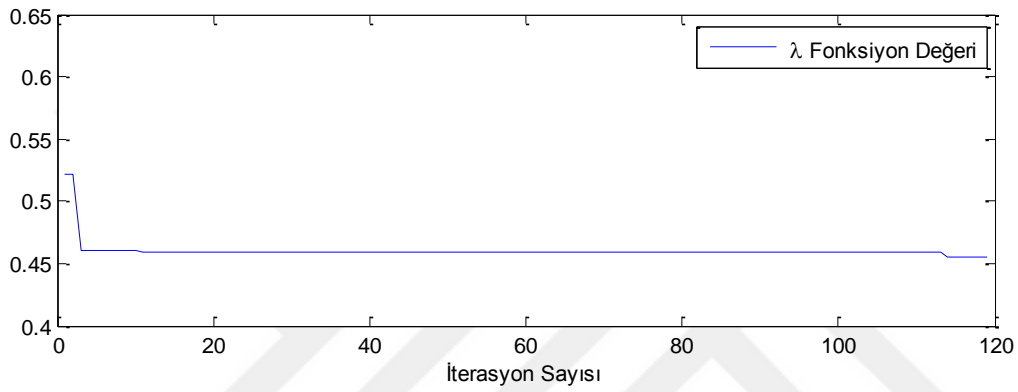
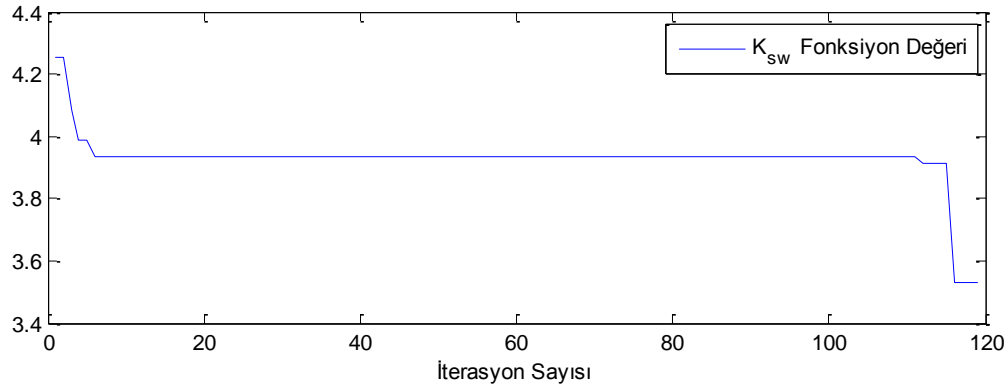


Şekil 3.30. KKK parametreleri için 50 iterasyon 100 yağmur damlası ile elde edilen uygunluk fonksiyonları değişimi

100 iterasyon 30 yağmur damlası sonucu elde edilen çıkış ve uygunluk fonksiyonu grafikleri Şekil 3.31 ve Şekil 3.32’de verilmiştir. Çıkış fonksiyonunda aşım ve salınım gözle görülür bir biçimde azalmıştır.

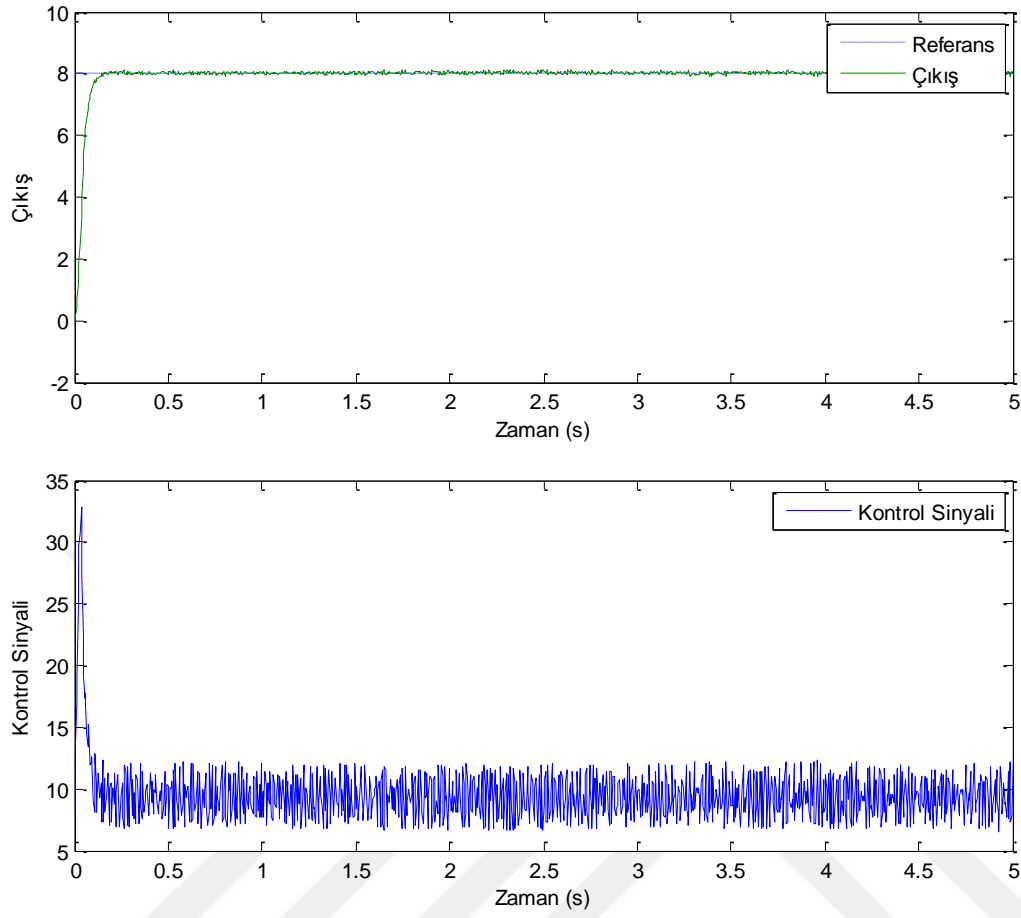


Şekil 3.31. 100 iterasyon 30 yağmur damlası sonucu elde edilen KKK parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi

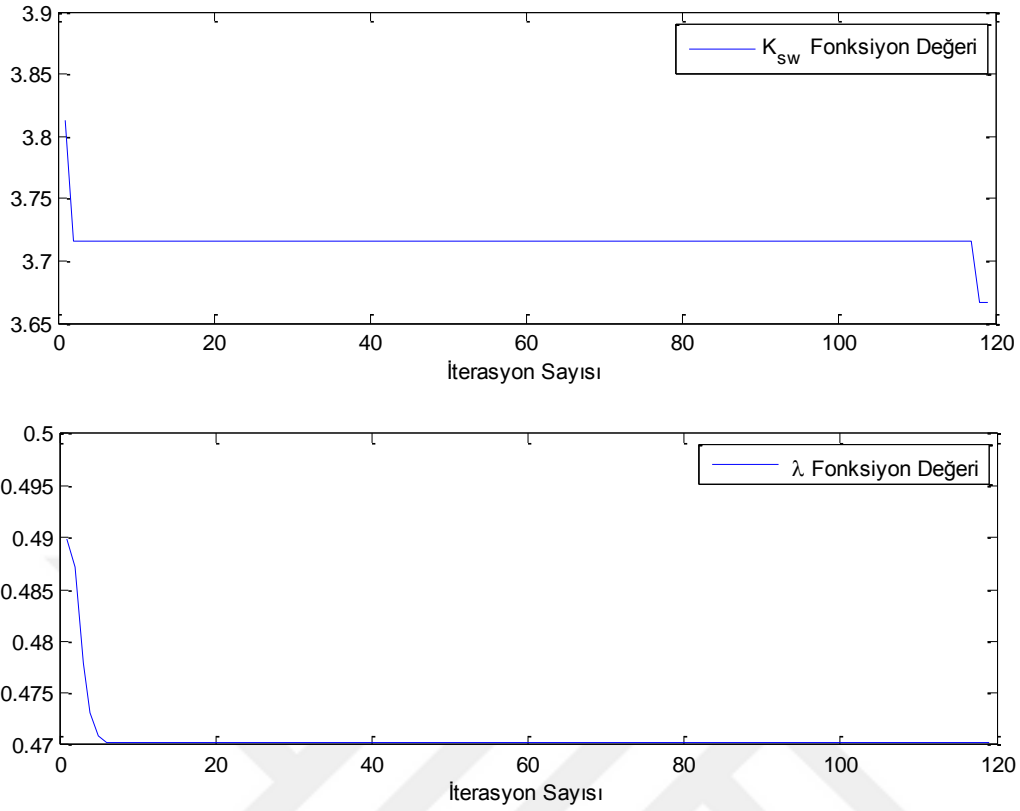


Şekil 3.32. KKK parametreleri için 100 iterasyon 30 yağmur damlası ile elde edilen uygunluk fonksiyonları değişimi

100 iterasyon 50 yağmur damlası sonucu elde edilen çıkış ve uygunluk fonksiyonu grafikleri Şekil 3.33 ve Şekil 3.34'de verilmiştir. Çıkış fonksiyonunda aşım ve salınım az, ancak kontrol sinyalinde çatırdama hala devam etmektedir.

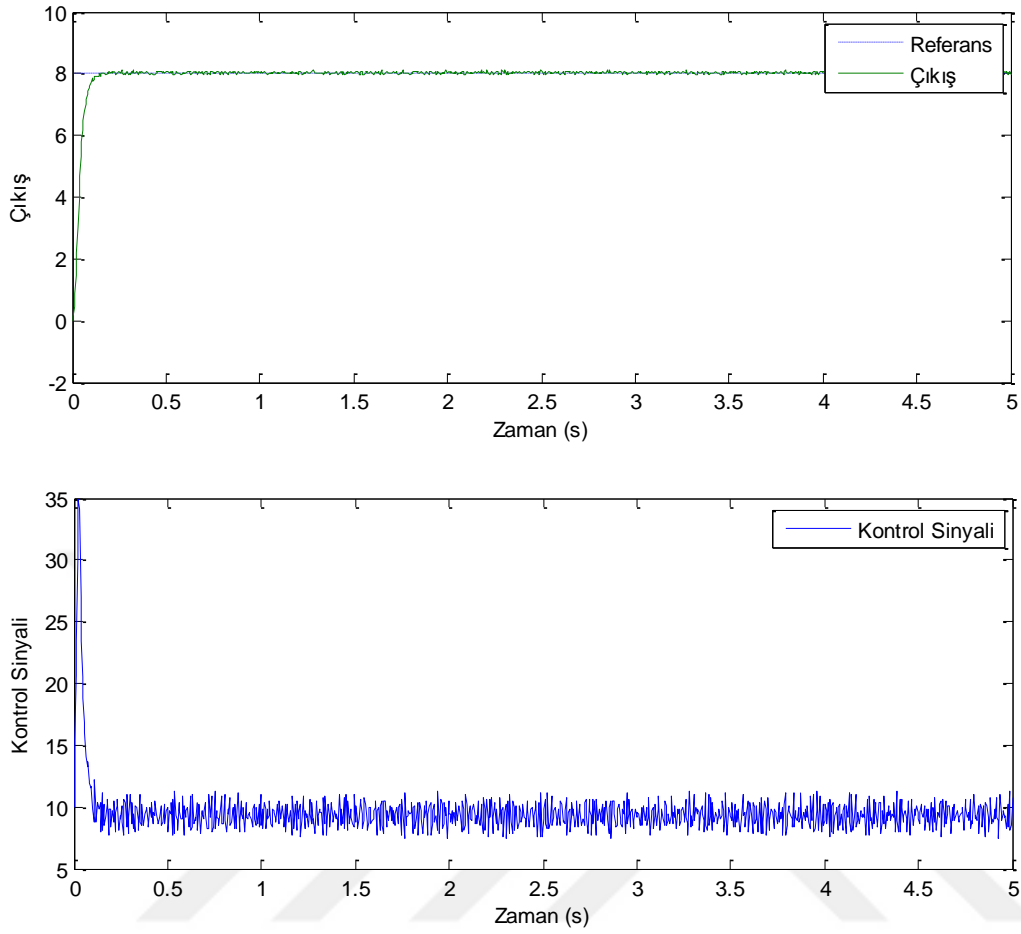


Şekil 3.33. 100 iterasyon 50 yağmur damlası sonucu elde edilen KKK parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi



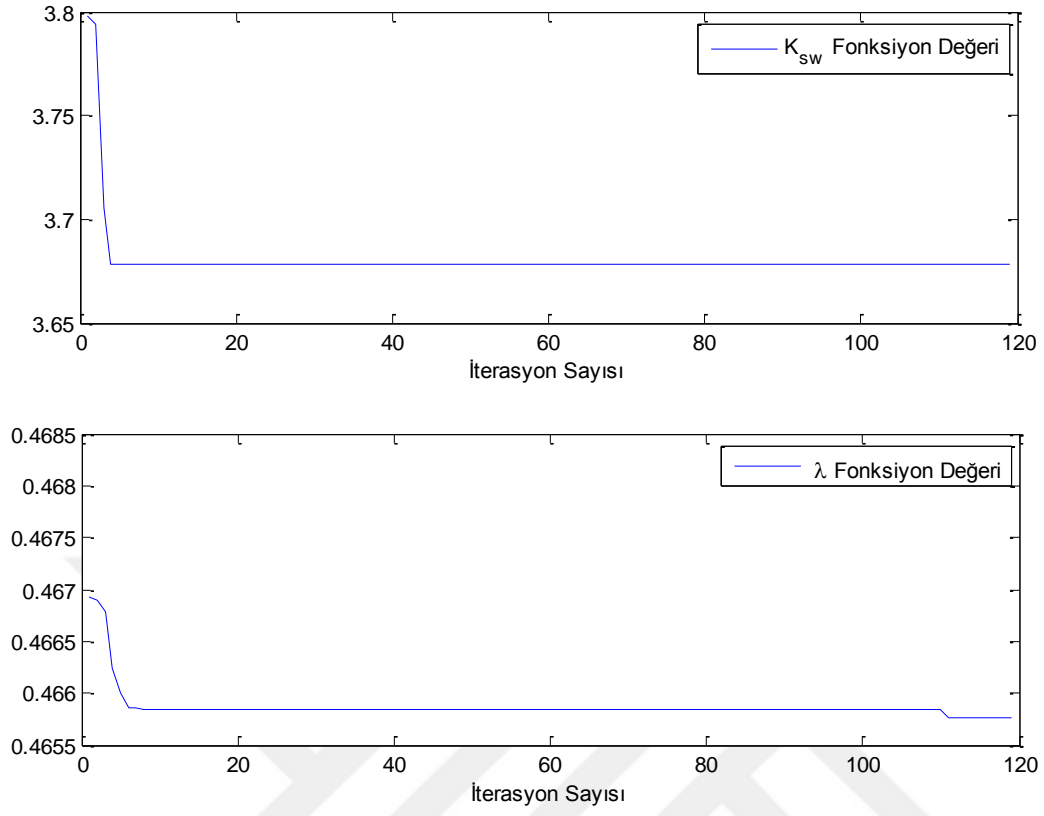
Şekil 3.34. KKK parametreleri için 100 iterasyon 50 yağmur damlası ile elde edilen uygunluk fonksiyonları değişimi

100 iterasyon 100 yağmur damlası sonucu elde edilen çıkış ve uygunluk fonksiyonu grafikleri Şekil 3.35 ve Şekil 3.36'de verilmiştir İstenilen çıkış grafiği ve kontrol sinyalinin çatırdamasız en uygun olduğu grafikler elde edilmesine rağmen süre 560s gibi yüksek değerlere ulaşmıştır.



Şekil 3.35. 100 iterasyon 100 yağmur damlası sonucu elde edilen KKK parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi

İterasyon ve popülasyon sayısının artması ile istenilen sonuçlara ulaşabilmek için çok fazla işlem ve zaman harcadığı görülmektedir.



Şekil 3.36. 100 iterasyon 100 yağmur damlası sonucu elde edilen KKK parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyali değişimi

4. SONUÇ

Bu çalışmada, Kayan kipli kontrol ve PID parametrelerinin optimum ayarlanması için Su Döngüsü Algoritması kullanılmıştır. Her bir parametre için farklı yapıda uygunluk fonksiyonları, literatürde sıklıkla kullanılanlar arasından parametrelerin özelliklerine uygun olanlar seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, az sayıda yağmur damlası ve iterasyon sayısı ile başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Bulunan parametreler ile sistem çalıştırıldığında kalıcı durum hatası gözlenmezken çıkışta aşım da oluşmamıştır. Sistem çıkışı 34ms'den kısa sürede referans değerinin %95'ine ulaşmıştır. Bununla beraber, gürültülü olan sistem çıkışında kullanılan türev parametresi, gerçek sistemlerdeki kontrol uygulamalarında aşırı genlikli kontrol sinyali oluşturmasından dolayı ihmal edilirken, burada ortaya çıkan sonuç kontrol sinyalinin yeterli genlikle sistem çıkışındaki gürültüyü karşılayacak düzeydedir. Bu sonucun çıkmasındaki en önemli rol, türev parametresi için seçilen uygunluk fonksiyonudur.

Sonuç olarak, her bir parametre için özelleştirilmiş uygunluk fonksiyonu hem Kayan Kipli Kontrol hem de PID için SDA ile yapılan optimizasyonda az sayıdaki iterasyon ile en iyi değerlerin elde edilebileceğini göstermiştir. Bu yönü ile gerçek sistemlerin optimizasyonunda daha az işlem ile yeterli sonuç alınabilecek bir gelişme ortaya konmuştur.

KAYNAKLAR

1. Fister Jr, I., Yang, X. S., Fister, I., Brest, J. and Fister, D. (2013). A brief review of nature-inspired algorithms for optimization. arXiv:1307.4186.
2. Chakrabarti, D., and Selvaganesan, N. (2020). PD and PD β based sliding mode control algorithms with modified reaching law for satellite attitude maneuver. *Advances in Space Research*, 65(4), 1279-1295.
3. Liu, X., Su, X., Shi, P., Shen, C., and Peng, Y. (2020). Event-triggered sliding mode control of nonlinear dynamic systems. *Automatica*, 112, 108738.
4. Özkan, B. (2009). Mekatronik sistemlerde uygulanan belli başlı kontrol yöntemleri. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 2(3), 302-316.
5. Vieira, H. S., De Paiva, E. C., Moriguchi, S. K., and Carvalho, J. R. (2020). Unified Backstepping Sliding Mode Framework for Airship Control Design. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 56(4), 3246-3258.
6. Wang, Y., Chen, J., Yan, F., Zhu, K., and Chen, B. (2019). Adaptive super-twisting fractional-order nonsingular terminal sliding mode control of cable-driven manipulators. *ISA transactions*, 86, 163-180.
7. Kalayci, M. B., ve Yiğit, İ. (2015). Pratikte Kullanılan Bazı Kayan Kipli Kontrol Tekniklerinin Teorik Ve Deneysel İncelenmesi. *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 30(1).
8. Cao, Z., Niu, Y., Lam, H. K., and Zhao, J. (2020). Sliding mode control of Markovian jump fuzzy systems: a dynamic event-triggered method. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. Early access.
9. Jiang, B., Karimi, H. R., Kao, Y., and Gao, C. (2019). Takagi–Sugeno Model Based Event-Triggered Fuzzy Sliding-Mode Control of Networked Control Systems With Semi-Markovian Switchings. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 28(4), 673-683.
10. Ji, W., Qiu, J., and Karimi, H. R. (2019). Fuzzy-Model-Based Output Feedback Sliding-Mode Control for Discrete-Time Uncertain Nonlinear Systems. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 28(8), 1519-1530.
11. Eskandar, H., Sadollah, A., Bahreininejad, A., and Hamdi, M. (2012). Water cycle algorithm—A novel metaheuristic optimization method for solving constrained engineering optimization problems. *Computers & Structures*, 110, 151-166.
12. Haddad, O. B., Moravej, M., and Loáiciga, H. A. (2015). Application of the water cycle algorithm to the optimal operation of reservoir systems. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 141(5), 04014064.
13. Lenin, K., Reddy, B. R., and Kalavathi, M. S. (2014). Water cycle algorithm for solving optimal reactive power dispatch problem. *J Eng Technol Res*, 2(2), 1-11.

14. Jabbar, A., and Zainudin, S. (2014). Water Cycle Algorithm for Attribute Reduction Problems. In Rough Set Theory. *Journal of Theoretical & Applied Information Technology*, 61(1).
15. Sadollah, A., Eskandar, H., Kim, J. H., and Bahreininejad, A. (2014). Water cycle algorithm for solving multi-objective optimization problems. *Soft Computing*, 19, 2587–2603.
16. Sadollah, A., Eskandar, H., and Kim, J. H. (2015). Water cycle algorithm for solving constrained multi-objective optimization problems. *Applied Soft Computing*, 27, 279–298.
17. Zhu, H., Wang, Y., Wang, K., and Chen, Y. (2011). Particle Swarm Optimization (PSO) for the constrained portfolio optimization problem. *Expert Systems with Applications*, 38, 10161–10169.
18. El-Hameed, M. A., and El-Fergany, A. A. (2016). Water cycle algorithm-based load frequency controller for interconnected power systems comprising non-linearity. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 10(15), 3950-3961.
19. Hasanien, H. M., and Matar, M. (2018). Water cycle algorithm-based optimal control strategy for efficient operation of an autonomous microgrid. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 12(21), 5739-5746.
20. Hasanien, H. M. (2018). Transient stability augmentation of a wave energy conversion system using a water cycle algorithm-based multiobjective optimal control strategy. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(6), 3411-3419.
21. Pachauri, N. (2020). Water cycle algorithm-based PID controller for AVR. *COMPEL-The international journal for computation and mathematics in electrical and electronic engineering*, 39(3), 561-567.
22. Elhay, E. A., and Elkholy, M. M. (2018). Optimal dynamic and steady-state performance of switched reluctance motor using water cycle algorithm. *IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 13(6), 882-890.
23. Barakat, M., Donkol, A., AlRahall, H., Salama, G. M., and FA, H. H. (2019, December). Water Cycle Algorithm optimized a Centralized PID controller for Frequency Stability of a Real Hybrid Power System. In 2019 21st International Middle East Power Systems Conference (MEPCON) (pp. 1112-1118). IEEE.
24. Nasiri Avanaki, I., and Sarvi, M. (2016). A new maximum power point tracking method for PEM fuel cells based on water cycle algorithm. *Journal of Renewable Energy and Environment*, 3(1), 35-42.
25. Jain, M., Rani, A., Pachauri, N., Singh, V., and Mittal, A. P. (2019). Design of fractional order 2-DOF PI controller for real-time control of heat flow experiment. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22(1), 215-228.

26. Boucetta, I., Naimi, D., Salhi, A., and Zellouma, L. (2020). Water Cycle Algorithm Applied to Improve Transient Power System Stability. In 020 1st International Conference on Communications, Control Systems and Signal Processing (CCSSP) (pp. 435-439). IEEE.
27. Furat, M., and Eker, I. (2014). Second-order integral sliding-mode control with experimental application. *ISA transactions*, 53(5), 1661-1669.
28. Furat, M. and Eker, İ. (2012). Experimental evaluation of sliding-mode control techniques. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(1), 23-37.
29. Furat, M. ve Gidemem, G. (29 Eylül - 1 Ekim 2016). PSO ile PID Parametrelerinin Optimizasyonunda Uygunluk Fonksiyonu Seçiminin Tekrarlama Sayısına Etkisi. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK'2016, Eskişehir, 298-302.
30. Gidemem, G., ve Furat, M. (2015). PID parametrelerinin ayarlama yöntemleri: 2. derece sistem modeline uygulanması ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(2), 355- 362.
31. Berner, J., Soltesz, K., Hägglund, T., and Åström, K. J. (2018). An experimental comparison of PID autotuners. *Control Engineering Practice*, 73, 124-133.
32. Latif, A., Shankar, K., and Nguyen, P. T. (2019). Legged Fire Fighter Robot Movement Using PID. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 1(1), 15-19.
33. Utkin V (1977) Variable structure systems with sliding modes. *IEEE Transactions on Automatic Control* 22(2):212-222.
34. Furat, M., and Eker, I. (2016). Chattering-eliminated adaptive sliding-mode control: an experimental comparison study. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 24(2), 605-620.
35. Su, X., Liu, X., Shi, P., and Song, Y. D. (2018). Sliding mode control of hybrid switched systems via an event-triggered mechanism. *Automatica*, 90, 294-303.
36. Wu, L., Gao, Y., Liu, J., and Li, H. (2017). Event-triggered sliding mode control of stochastic systems via output feedback. *Automatica*, 82, 79-92.
37. Liu, J., Vazquez, S., Wu, L., Marquez, A., Gao, H., and Franquelo, L. G. (2016). Extended state observer-based sliding-mode control for three-phase power converters. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 64(1), 22-31.
38. Du, H., Chen, X., Wen, G., Yu, X., and Lü, J. (2018). Discrete-time fast terminal sliding mode control for permanent magnet linear motor. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 65(12), 9916-9927.
39. Pan, Y., Yang, C., Pan, L., and Yu, H. (2017). Integral sliding mode control: performance, modification, and improvement. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(7), 3087-3096.

40. Behera, A. K., Bandyopadhyay, B., and Yu, X. (2018). Periodic event-triggered sliding mode control. *Automatica*, 96, 61-72.
41. Zheng, B. C., Yu, X., and Xue, Y. (2018). Quantized feedback sliding-mode control: An event-triggered approach. *Automatica*, 91, 126-135.
42. Wang, Y., Zhu, K., Chen, B., and Jin, M. (2020). Model-free continuous nonsingular fast terminal sliding mode control for cable-driven manipulators. *ISA transactions*, 98, 483-495.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler;

Soyadı, adı : GÜR, Harun
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 03.02.1984, Antakya
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (505) 225 41 51
 E-mail : gurharun@gmail.com



Eğitim;

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Kocaeli Üniversitesi / Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği	2008
Lise	Osman Ötken Anadolu Lisesi	2002

İş Deneyimi;

Yıl	Yer	Görev
2020-Halen	SÜTAŞ A.Ş.	Elektrik Yazılım ve Otomasyon Yöneticisi
2019-2020	ŞEN PİLİÇ A.Ş.	Elektrik ve Mekanik Bakım Yetkilisi
2013-2019	A PLUS ENERJİ	Elektrik ve Elektronik Mühendis
2008-2013	TÜRK TELEKOM A.Ş.	Yatırım Planlama Ekip Lideri

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

GÜR, H, FURAT, M. (2020). Özelleştirilmiş Uygunluk Fonksiyonu Tabanlı Su Döngüsü Algoritması ile PID Parametrelerinin Optimizasyonu. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (), 332-341. DOI: 10.31590/ejosat.araconf43

Hobiler

Basketbol, Tenis, Yüzme, Tüplü Dalış, Fotoğrafçılık



DİZİN

A

Algoritma · 33, 34

B

Biyο-esinlenme · 15

C

C · XIV, 21, 25, 26, 27, 28, 32, 77,
81

D

Doğada Su Döngüsü · 20

I

ISE · XIV, 23, 29, 37, 38

ITAE · 24

i

iterasyon · 22, 37, 38, 39, 40, 41,
42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49,
50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57,
58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65,
66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73,
74, 75, 76

K

Kayan Kipli kontrol · 22

Kayan Kipli Kontrol · iv, XIV, 27,
76, 77

KKK · XIV, 25, 76

M

Matematiksel Modellemesi · 24,
30

Meta sezgisel · 15

meta-sezgisel · 15, 30

O

optimizasyon · 15, 16, 30

P

PID · iv, v, XIV, 17, 22, 23, 37, 76,
82

popülasyon · 45, 55, 60, 66, 74

S

SDA · XIV, 17, 30, 34, 37, 76

SMC · 24

Su döngüsü algoritması · 22

Su Döngüsü Algoritması · iv, XIV,
16, 21, 76, 82

U

uygunluk fonksiyonu · 17, 76



TEKNOVERSİTE