

Kırıkkale University International Journal of Engineering Research and Development

International Peer Reviewed Journal
e-ISSN: 1308-5514

Special Issue of
Electrical Engineering
and
Computer Science



Volume: 12
Issue: 3

DECEMBER 2020

Elektrik Mühendisliği ve Bilgisayar Bilimleri Özel Sayısı

Kırıkkale Üniversitesi
Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi
Uluslararası Hakemli Dergi

Cilt: 12 Sayı:3 Aralık 2020



**MÜHENDİSLİK
FAKÜLTESİ**

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ / KIRIKKALE UNIVERSITY

**Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi
International Journal of Engineering Research and Development**

Sahibi / Owner

Ersan ASLAN
Rektör / Rector

Editör/Editor

Ertuğrul ÇAM

Yardımcı Editörler / Associate Editors

Murat LÜY
Özer SEVİM

Alan Editörleri / Area Editors

Atilla ERGÜZEN - Bilgisayar Mühendisliği / Computer Engineering
Murat İNAL - Biyomühendislik / Bioengineering
Burak BİRGÖREN - Endüstri Mühendisliği / Industrial Engineering
Tolga EREN - Elektrik-Elektronik Mühendisliği / Electrical and Electronics Engineering
Ali Payıdar AKGÜNGÖR - İnşaat Mühendisliği / Civil Engineering
Hakan ARSLAN - Makine Mühendisliği / Mechanical Engineering
Tuna AYDIN – Metalurji ve Malzeme Mühendisliği / Metallurgical and Materials Engineering

Dergi Sekreteryası / Journal Secretariat

Hüseyin AYDİLEK

Yazışma Adresi /Address

Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi 71450-
Kampüs- Kırıkkale- TÜRKİYE
<http://ijerad.kku.edu.tr>
ijerad@kku.edu.tr
Tel : +90-318-357-42 42 (1001)
Fax: +90-318-357-24 59

ISSN- Online: 1308-5514

**Aralık 2020 / December 2020
Özel Sayı/ Special Issue
Elektrik Mühendisliği ve Bilgisayar Bilimleri/
Electrical Engineering & Computer Science**

Kapak Tasarım / Graphics Design: Hüseyin AYDİLEK

Danışma Kurulu / Editorial Board
(Alfabetik Sıralama / Alphabetical)

- A. Serdar YILMAZ Sütçü İmam Üniversitesi
Ahmet Kürşat TÜRKER Kırıkkale Üniversitesi
Ali Payıdar AKGÜNGÖR Kırıkkale Üniversitesi
Aytan ÇELEBİ KESKİN Kırıkkale Üniversitesi
Hasan Şakir BİLGE Gazi Üniversitesi
Hüseyin CANBOLAT Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
İbrahim UZUN Kırıkkale Üniversitesi
İlhami DEMİR Kırıkkale Üniversitesi
İlhan KOCAARSLAN İstanbul Üniversitesi
İsa NAVRUZ Ankara Üniversitesi
M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU Gazi Üniversitesi
M. Tunay GENÇOĞLU Fırat Üniversitesi
Mehmet Ali AKÇAYOL Gazi Üniversitesi
Metin DAĞDEVİREN Gazi Üniversitesi
Mustafa YİĞİTOĞLU Kırıkkale Üniversitesi
Mustafa TÜRK Kırıkkale Üniversitesi
Nihat İNANÇ Kırıkkale Üniversitesi
Osman YILDIZ Kırıkkale Üniversitesi
Ömer Muhammet SOYSAL Louisiana State University
Recep ÇALIN Kırıkkale Üniversitesi
Süleyman ERSÖZ Kırıkkale Üniversitesi
Tamer EREN Kırıkkale Üniversitesi



MÜHENDİSLİK
FAKÜLTESİ

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ / KIRIKKALE UNIVERSITY

Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi
International Journal of Engineering Research and Development

Amaç

Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi mühendisliğin tüm disiplinlerinde çalışılmış olan orijinal ve yüksek kalitedeki araştırma sonuçlarını basan ve teşvik eden bir araştırma dergisidir. Akademisyenler, bilim adamları, üniversitelerdeki araştırmacılar ve ilgi duyan herkesin çalışmaları basım için düşünülebilir.

Aim

International Journal of Engineering Research and Development is a peer-reviewed international research journal aiming at promoting and publishing original high-quality research in all disciplines of engineering sciences and technology. Manuscripts are invited from academicians, scientists, researchers of universities and industry and for all interested people for publication consideration.

Araştırma Alanı

Mühendislik Teorisi ve Uygulamaları

Research Highlights

Engineering Theory and Applications

Kapsam

Derginin ilgi alanlarında, sınırlama olmaksızın, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Makina Mühendisliği, İnşaat Mühendisliği, Bilgisayar Mühendisliği ve Endüstri Mühendisliği bulunmaktadır.

Scope

Areas includes (but not limited to) all issues in Electrical&Electronics Engineering, Mechanical Engineering, Civil Engineering, Computer Engineering and Industrial Engineering.

Yazarlara Bilgi

Ayrıntılı bilgi için lütfen <http://ijerad.kku.edu.tr/> adresini ziyaret ediniz.

Authors Information

For detailed information please visit <http://ijerad.kku.edu.tr>

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

- 1 **Bidding and Operating Planning of a Virtual Power Plant in a Day-Ahead Market**
Özge Pınar Akkaş, Ertuğrul Çam
DOI: 10.29137/umagd.842476 s1-s10
- 2 **Yapay Arı Kolonisi Algoritmasına Dayalı PID Denetleyicisini Kullanan Termal Üniteli Mikro Şebeke Güç Sisteminde Frekans Kontrolü**
Frequency Control in Microgrid Power System with Thermal Unit Using PID Controller Based on Artificial Bee Colony Algorithm
İbrahim Eke
DOI: 10.29137/umagd.829856 s11-s23
- 3 **Nesnelerin İnterneti (IoT)**
Internet of Things (IoT)
Erdal Erdal, Atilla Ergüzen
DOI: 10.29137/umagd.827676 s24-s34
- 4 **Multi Depth V-Net Model ile 3 Boyutlu Böbrek ve Tümör Segmentasyonu**
3D Kidney and Tumor Segmentation with Multi Depth V-Net Model
Fuat Türk, Murat Lüy, Necaattin Barışçı
DOI: 10.29137/umagd.831506 s35-s41
- 5 **Hipertansiyon Tahmini İçin Temel Bileşen Analizinin Kullanımı**
Principal Component Analysis Using For Estimating Hypertension
Halil Murat Ünver, Yunus Kökver, Aydın Çiftçi
DOI: 10.29137/umagd.685928 s42-s51
- 6 **Kablosuz Sensör Ağlarında Konum Belirlemede Parçacık Sürü Optimizasyonu, Yarasa Algoritması, Diferansiyel Gelişim Algoritması ve Ateşböceği Algoritması Yöntemlerinin Karşılaştırılması**
Comparison of Particle Swarm Optimization, Bat Algorithm, Differential Evolution Algorithm and Firefly Algorithm Methods in Localization of Wireless Sensor Networks
Ahmet Sami Doğru, Tolga Eren
DOI: 10.29137/umagd.829856 s52-s64
- 7 **Storage Requirement Estimation For Electronic Document Management System With Artificial Neural Networks**
Zeynep Çetinkaya, Erdal Erdal, Atilla Ergüzen
DOI: 10.29137/umagd.827683 s65-s72
- 8 **Fault Detection and Diagnosis Technic Using Electrical Characteristics of a PV Module and Machine Learning Classifier**
Mouhamed Aghiad Raslan, Ertuğrul Çam
DOI: 10.29137/umagd.843768 s73-s88
- 9 **Performance Analysis for Load Frequency Control of Interconnected Power Systems with Different Techniques**
Feyza Nur Çakıcı, İbrahim Eke, Mustafa Saka, M. Cengiz Taplamacıoğlu
DOI: 10.29137/umagd.817981 s89-s106
- 10 **Şebeke Seviyesinde Enerji Depolama Uygulamaları için Uygun Teknoloji Seçimi Metodolojisi Önerilmesi**
Rıfat Anıl Aydın, Şafak Baykal, Alper Terciyanlı, Ertuğrul Çam
DOI: 10.29137/umagd.841452 s107-s118

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

- 1 **Bidding and Operating Planning of a Virtual Power Plant in a Day-Ahead Market**
Özge Pınar Akkaş, Ertuğrul Çam
DOI: 10.29137/umagd.842476 s1-s10
- 2 **Yapay Arı Kolonisi Algoritmasına Dayalı PID Denetleyicisini Kullanan Termal Üniteli Mikro Şebeke Güç Sisteminde Frekans Kontrolü**
Frequency Control in Microgrid Power System with Thermal Unit Using PID Controller Based on Artificial Bee Colony Algorithm
İbrahim Eke
DOI: 10.29137/umagd.829856 s11-s23
- 3 **Nesnelerin İnterneti (IoT)**
Internet of Things (IoT)
Erdal Erdal, Atilla Ergüzen
DOI: 10.29137/umagd.827676 s24-s34
- 4 **Multi Depth V-Net Model ile 3 Boyutlu Böbrek ve Tümör Segmentasyonu**
3D Kidney and Tumor Segmentation with Multi Depth V-Net Model
Fuat Türk, Murat Lüy, Necaattin Barışçı
DOI: 10.29137/umagd.831506 s35-s41
- 5 **Hipertansiyon Tahmini İçin Temel Bileşen Analizinin Kullanımı**
Principal Component Analysis Using For Estimating Hypertension
Halil Murat Ünver, Yunus Kökver, Aydın Çiftçi
DOI: 10.29137/umagd.685928 s42-s51
- 6 **Kablosuz Sensör Ağlarında Konum Belirlemede Parçacık Sürü Optimizasyonu, Yarasa Algoritması, Diferansiyel Gelişim Algoritması ve Ateşböceği Algoritması Yöntemlerinin Karşılaştırılması**
Comparison of Particle Swarm Optimization, Bat Algorithm, Differential Evolution Algorithm and Firefly Algorithm Methods in Localization of Wireless Sensor Networks
Ahmet Sami Doğru, Tolga Eren
DOI: 10.29137/umagd.829856 s52-s64
- 7 **Storage Requirement Estimation For Electronic Document Management System With Artificial Neural Networks**
Zeynep Çetinkaya, Erdal Erdal, Atilla Ergüzen
DOI: 10.29137/umagd.827683 s65-s72
- 8 **Fault Detection and Diagnosis Technic Using Electrical Characteristics of a PV Module and Machine Learning Classifier**
Mouhamed Aghiad Raslan, Ertuğrul Çam
DOI: 10.29137/umagd.843768 s73-s88
- 9 **Performance Analysis for Load Frequency Control of Interconnected Power Systems with Different Techniques**
Feyza Nur Çakıcı, İbrahim Eke, Mustafa Saka, M. Cengiz Taplamacıoğlu
DOI: 10.29137/umagd.817981 s89-s106
- 10 **Şebeke Seviyesinde Enerji Depolama Uygulamaları için Uygun Teknoloji Seçimi Metodolojisi Önerilmesi**
Suggesting Appropriate Technology Selection Methodology for Grid Level Energy Storage Applications
Rıfat Anıl Aydın, Şafak Baykal, Alper Terciyanlı, Ertuğrul Çam
DOI: 10.29137/umagd.841452 s107-s118

Quadrotorün Dikey Hareketi için Tasarlanan Oransal-İntegral-Türevsel Kontrolörünün Katsayılarının Genetik Algoritma ile Optimizasyonu

- 11** *Optimization of the Coefficients of the Proportional-Integral-Derivative Controller Designed for Vertical Motion of the Quadrotor with Genetic Algorithm* s119-s124

Zafer Civelek

DOI: 10.29137/umagd.828384



MÜHENDİSLİK
FAKÜLTESİ

Uluslararası Mühendislik
Araştırma ve Geliştirme Dergisi
International Journal of
Engineering Research and
Development

UMAGD, (2020) 12(3), s1-s10.



10.29137/umagd.842476

Cilt/Volume:12 Sayı/Issue:3 Aralık/December 2020 Özel Sayı / Special Issue

Araştırma Makalesi / Research Article

Bidding and Operating Planning of a Virtual Power Plant in a Day-Ahead Market

Özge Pınar Akkaş^{1*} , Ertuğrul Çam¹ 

¹Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, 71450, Kırıkkale/TÜRKİYE

Başvuru/Received: 12/10/2020

Kabul / Accepted: 27/11/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2020

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2020

Abstract

In this study, it is aimed to determine the optimum bidding and operating planning of a Virtual Power Plant (VPP) in the energy market to obtain maximum profit. For this purpose, the VPP containing a Wind Power Plant (WPP), a Photovoltaic Power Plant (PVPP), and an Energy Storage System (ESS) is composed on the IEEE 6-bus test system with Distributed Generators (DGs). The bidding planning and operating scheduling of the components of the VPP participating in the Day-ahead Market (DAM) are decided hourly for a day. Thus, SGS is aimed to gain maximum profit. The proposed problem has been modeled as Mixed Integer Linear Programming (MILP) in GAMS software and solved with CPLEX solver to obtain optimum results. The obtained results show that the model is applicable and the method is valid.

Key Words

“Virtual power plant, day-ahead market, optimization, renewable energy systems, distributed generators, energy storage system”

1. Introduction

Nowadays, the need for energy is increasing with the development of the technology. Due to environmental problems, renewable energy units are preferred in many countries for electricity generation. However, uncertain and variable generation of renewable energy units is a problem for electricity market participants. Combining renewable energy units with technologies such as conventional generation units, storage systems, controllable loads, and electric vehicles can be a solution to overcome these problems. It is possible with Virtual Power Plant (VPP) to operate as a single unit with combining individually operated different distributed energy systems. VPP operator decides optimum operation and bidding planning to be offered to the market with considering the operational constraints of VPP components in the electricity market.

There are many studies that carry out research on the VPP energy management. Othman et al. (2017) have combined different optimization algorithms based on modification of big bang big crunch method for electrical energy management in an unbalanced distribution networks using VPP concept. They aim to minimize purchased energy from the grid. Abdolrasol et al. (2018) have presented a novel binary backtracking search algorithm for an optimal scheduling of VPP that consists of microgrids and distributed generation systems. Karimyan et al. (2016) have formed a VPP with the aggregation of distributed energy resources and determined the bidding strategy of it in the joint energy and reserve markets. Hannan et al. (2019) have formed a VPP in the IEEE 14-bus system including microgrids integrated with renewable energy sources and proposed a novel optimal schedule controller using binary particle swarm optimization. Wei et al. (2018) have proposed a bi-level scheduling model for virtual power plants including distributed thermostatically controlled loads and renewable energy. Vahedipour-Dahraie et al. (2020) have proposed a risk-based stochastic framework for energy and reserve scheduling of a VPP with considering demand response and uncertainties. Wozabal and Rameseder (2010) have presented a multi-stage stochastic programming approach to optimize the bidding strategy of a VPP which operates on the Spanish spot market. Gou et al. (2021) have presented a new optimal operation method for complex VPP that aggregates wind power, combined heat and power units, gas boilers and thermal and electrical loads by considering market transaction mechanism. Naval and Yusta (2020) have proposed a VPP model with the integration of water-energy management to maximize the annual operating profit of the VPP. They applied the model on a large irrigation system. Behi et al. (2020) have implemented a realistic VPP in Western Australia containing 67 dwellings to compute costs and benefits. Sadeghi et al. (2021) have studied the optimal bidding strategy of a VPP in the day-ahead energy market and frequency regulation market. They applied a deep learning-based approach for uncertainties. Vahedipour-Dahraie et al. (2020) have presented the optimal bidding strategy problem of a VPP that participates in the day-ahead, real-time, and spinning reserve markets. They also demand response programs to minimize consumption costs of the customers. Lazaroiu et al. (2015) have optimized operation of a VPP owner participating in the day-ahead market and including distributed energy resources, energy storage systems, and generating units to maximize the overall profit. Rahimi et al. (2021) have proposed a stochastic scheduling problem for a VPP model consisting of conventional generators, wind turbines, photovoltaic panels, photovoltaic-thermal panels, energy storage systems, boilers, and combined heat and power. They studied on the IEEE 33-bus distribution test system and used GAMS software/CPLEX solver.

In this study, a VPP model is presented to determine optimal bidding and operation strategy of it in a Day-Ahead Market (DAM). It aims to maximize expected profit of the VPP. The VPP is applied on the IEEE 6-bus test system having Distributed Generators (DGs) by including a Wind Power Plant (WPP), a Photovoltaic Power System (PVPP), and an Energy Storage System (ESS). The problem is formulated as Mixed Integer Linear Programming (MILP) and modeled by GAMS software. The optimum results are obtained with CPLEX solver.

2. Model Description

The VPP increases the operational flexibility by combining different generation technologies in a single power system and provides performance improvement by combining individual distributed energy resources in the electricity market. The DAM is a system which energy transfer offers and trade are made the day before in order to balance the supply-demand and capacity energy in the electricity markets. The VPP owner participating in the DAM presents sold/purchased energy bidding and operates its components in a way that providing maximum profit. The VPP model and interaction with the electricity market is shown in Figure 1.

The VPP model consists of the WPP, the PVPP, the ESS, and the DGs. The VPP owner participates in the DAM and aims to maximize its daily profit. It decides the amount of energy to sell or purchase (exchanged power) during the electricity market and optimum operation of the DGs and ESS.

The VPP operator solves the optimal planning problem with respect to the meteorological data (wind speed, solar radiation, ambient temperature) and the data for market prices. By solving the problem, the bidding and operating scheduling of the VPP is determined to present in the electricity market.

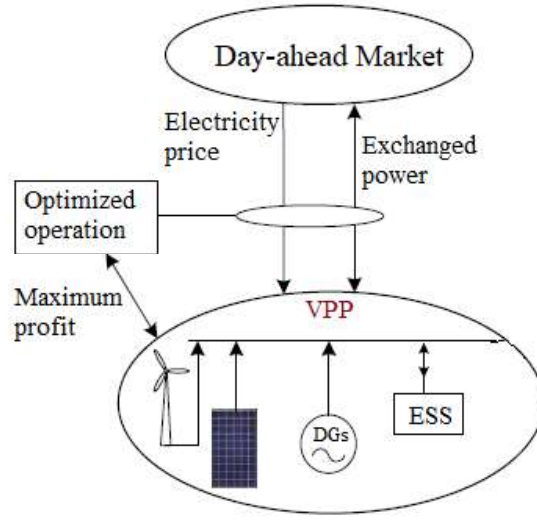


Figure 1. The VPP Model in the Electricity Market

3. Model Formulation

In this section, the mathematical model of VPP components, objective function and power balance are explained.

3.1. VPP Components

Wind Power Plant

Wind turbines can start to generate electrical energy at a certain wind speed known as the cut-in speed. They stop to generate electrical energy at the cut-out wind speed. At a determined wind speed for each wind turbine, the power obtained from the system reaches the highest value. This greatest power is called the nominal power and this wind speed is called the nominal speed. The output power of WPP is calculated by using Equation 1.

$$P_t^{wt}(v_t) = N^w \times \begin{cases} 0, & v_t < v_{in} \\ P_{rtd}^{wt} \times \left(\frac{v_t - v_{in}}{v_{rtd} - v_{in}}\right)^3, & v_{in} \leq v_t \leq v_{rtd} \\ P_{rtd}^{wt}, & v_{rtd} \leq v_t < v_{out} \\ 0, & v_{out} \leq v_t \end{cases} \quad (1)$$

where $P_t^{wt}(v_t)$ is the output power of the WPP at hour t (MW), N^w is the number of wind turbines, v_t is the wind speed at hour t (m/s), v_{in} , v_{rtd} , v_{out} are the cut-in, rated and cut-out wind speeds, respectively (m/s), P_{rtd}^{wt} is the nominal power of the wind turbine (MW).

Photovoltaic Power Plant

The output power of PVPP is calculated by using Equations 2-6.

$$T_t^{cell} = T_t^{amb} + SR_t \times \left(\frac{NOT_{cell} - 20}{0.8}\right) \quad (2)$$

$$I_t = SR_t \times [I_{scc} + K_{ctc} \times (T_t^{cell} - 25)] \quad (3)$$

$$V_t = V_{ocv} - K_{vtc} \times T_t^{cell} \quad (4)$$

$$FL = \frac{V_{Max} \times I_{Max}}{V_{ocv} \times I_{scc}} \quad (5)$$

$$P_t^{pv}(SR_t) = N^{pv} \times FL \times V_t \times I_t \quad (6)$$

where T_t^{cell} is the temperature of solar cell at hour t (°C), T_t^{amb} is the ambient temperature at hour t (°C), SR_t is the solar radiation at hour t (kW/m²), NOT_{cell} is the PV nominal operating cell temperature (°C), I_{sc} is the short circuit current of PV panel (A), K_{ctc} is the current temperature coefficient of PV panel (A/°C), V_{ocv} is the open circuit voltage of PV panel (V), K_{vtc} is the voltage temperature coefficient of PV panel (V/°C), FL is the fill factor of PV panel, V_{Max} is the voltage at maximum power point of PV panel (V), I_{Max} is the current at maximum power point of PV panel (A), N^{pv} is the number of PV panels in PVPP, P_t^{pv} is the output power of PVPP at hour t (MW).

Energy Storage System

The operational constraints of the ESS are defined in Equations 7-13.

$$0 \leq P_{ch}^t \leq P_{ch}^{max} \times z_{ch}^t \quad (7)$$

$$0 \leq P_{dis}^t \leq P_{dis}^{max} \times z_{dis}^t \quad (8)$$

$$E_{bess}^{min} \leq SoC^t \leq E_{bess}^{max} \quad (9)$$

$$SoC^{(t=0)} = E_{bess}^{initial} \quad (10)$$

$$SoC^{(t=24)} = E_{bess}^{final} \quad (11)$$

$$z_{ch}^t + z_{dis}^t \leq 1 \quad (12)$$

$$SoC^t = SoC^{(t-1)} + \eta_{ch} \times P_{ch}^t - \frac{P_{dis}^t}{\eta_{dis}} \quad (13)$$

where P_{ch}^t and P_{dis}^t are the charging and discharging power of ESS (MW) at hour t, P_{ch}^{max} and P_{dis}^{max} are the maximum charging and discharging power of ESS (MW), z_{ch}^t and z_{dis}^t are the binary variables of charging and discharging status of ESS at hour t, E_{bess}^{min} and E_{bess}^{max} are the minimum and maximum energy stored in ESS (MWh), $E_{bess}^{initial}$ and E_{bess}^{final} are the initial and final energy level of ESS (MWh), η_{ch} and η_{dis} are charging and discharging efficiency of ESS, respectively. SoC^t represents the state of charge of ESS at hour t.

Distributed Generators

The operational constraints of the DGs are defined in Equations 14-18. The cost of DG unit is equal to the sum of production cost, fixed cost and start-up cost.

$$y_{SU}^{j,t} - y_{SD}^{j,t} = x^{j,t} - x^{j,t-1} \quad (14)$$

$$y_{SU}^{j,t} + y_{SD}^{j,t} \leq 1 \quad (15)$$

$$P_{min}^j \times x^{j,t} \leq P_{DG}^{j,t} \leq P_{max}^j \times x^{j,t} \quad (16)$$

$$Cost_{DG}^{j,t} = (C_p^j P_{DG}^{j,t} + C_f^j x^{j,t})h + C_{SU}^j y_{SU}^{j,t} \quad (17)$$

$$Cost_{DG}^t = \sum_j Cost_{DG}^{j,t} \quad (18)$$

$$TP_{DG}^t = \sum_j P_{DG}^{j,t} \quad (19)$$

where $y_{SU}^{j,t}$ and $y_{SD}^{j,t}$ are the binary variables of the start-up and shut down status of the jth DG at hour t, $x^{j,t}$ is the binary variable of the on/off state of the jth DG at hour t, P_{min}^j and P_{max}^j are the minimum and maximum possible generation of the jth DG (MW), $P_{DG}^{j,t}$ is the generation of the jth DG at hour t (MW), $Cost_{DG}^{j,t}$ is the cost of the jth DG at hour t (\$), C_p^j is the production cost of the jth DG (\$/MWh), C_f^j is the fixed cost of the jth DG (\$/h), C_{SU}^j is the start-up cost of the jth DG (\$), $Cost_{DG}^t$ is the total cost of DGs at hour t (\$), TP_{DG}^t is the total amount of the generated power of the DGs at hour t (MW).

3.2. Objective Function

The objection function of the presented model is the maximization of the expected day-ahead profit of the VPP as shown in Equation 20.

$$\text{Maximize Profit} = \sum_t P_{DAM}^t EP_t - Cost_{DG}^t \quad (20)$$

where P_{DAM}^t is the exchanged power in the DAM at hour t (MW) and EP_t is the electricity market price at hour t (\$/MWh).

The profit is equal to the exchanged cash flow between VPP and electricity market minus the cost of DGs including production, fixed and start-up costs. The total profit in one day is the sum of all profit amounts for 24 hours.

3.3. Power Balance

The electrical power balance is given in Equation 21. The sum of the generated power by WPP, PVPP and DGs, purchased power from the market and charged power in the ESS should be equal to the sum of the sold power to the market and discharged power in the ESS for each hour.

$$P_t^{wt} + P_t^{pv} + P_{dis}^t - P_{ch}^t + TP_{DG}^t = P_{DAM}^t \quad (21)$$

4. Case Study and Results

The presented model is applied on the IEEE 6-bus test system with DGs by containing the WPP, the PVPP and the ESS as shown in Figure 2. The WPP comprises 10 wind turbines and the PVPP comprises 100 PV modules. The MILP problem with equality and inequality constraints is modeled in GAMS 25.1.3 software and solved by CPLEX solver. The daily expected profit is found as 32042.695 \$.

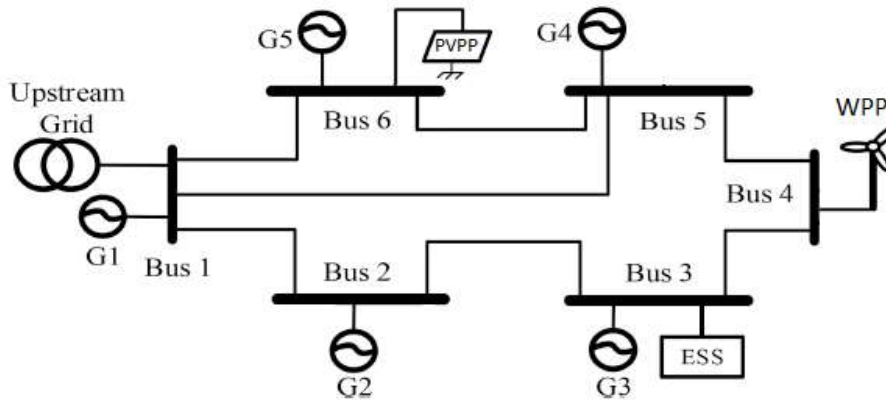


Figure 2. Schematic diagram of the modified IEEE 6-bus test system

4.1. Input Data

To test the model, it is considered that the WPP is in the province of Çanakkale and the PVPP is in the province of Muğla in Turkey. The data of wind speed is necessary to compute the output power of WPP and the data of solar radiation and ambient temperature are necessary to compute the output power of PVPP. Therefore, the hourly data of wind speed for the province of Çanakkale and the hourly data of solar radiation and ambient temperature for the province of Muğla for June 2018 is taken from the Turkish State Meteorological Service. The hourly average values of these data for June 2018 are used in this study. The used values in the study for wind speed, ambient temperature, and solar radiation for each hour are given in Table 1, Table 2, and Table 3, respectively.

Table 1. The Data for Wind Speed

Hour	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6	t=7	t=8
v_t (m/s)	3.927	4.100	4.063	3.820	4.407	5.560	6.007	6.563
Hour	t=9	t=10	t=11	t=12	t=13	t=14	t=15	t=16
v_t (m/s)	7.013	7.717	7.893	7.863	7.810	7.847	7.443	6.993
Hour	t=17	t=18	t=19	t=20	t=21	t=22	t=23	t=24
v_t (m/s)	5.987	5.110	4.203	4.137	3.900	4.013	4.003	3.787

Table 2. The Data for Ambient Temperature

Hour	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6	t=7	t=8
T_t^{amb} (°C)	17.307	16.743	16.267	16.040	17.580	20.003	22.303	24.283
Hour	t=9	t=10	t=11	t=12	t=13	t=14	t=15	t=16
T_t^{amb} (°C)	25.590	27.053	27.553	27.880	27.620	27.127	26.827	26.427
Hour	t=17	t=18	t=19	t=20	t=21	t=22	t=23	t=24
T_t^{amb} (°C)	25.070	23.090	21.590	20.660	19.913	19.227	18.363	17.990

Table 3. The Data for Solar Radiation

Hour	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6	t=7	t=8
SR_t (W/m ²)	0.000	0.000	1.667	103.000	277.333	464.000	630.667	694.333
Hour	t=9	t=10	t=11	t=12	t=13	t=14	t=15	t=16
SR_t (W/m ²)	735.000	699.000	683.000	592.000	481.667	425.333	318.000	128.333
Hour	t=17	t=18	t=19	t=20	t=21	t=22	t=23	t=24
SR_t (W/m ²)	10.667	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

The values of parameters for wind turbines in the WPP and PV modules in the PVPP, and ESS are given in Table 4, Table 5, and Table 6, respectively.

Table 4. Values of Parameters for Wind Turbines (Ozerdem et al., 2016)

Turbine type	N^{wind}	P_{rtd}^{wt}	v_{in}	v_{rtd}	v_{out}
Enercon E-66	10	1800 kW	2.5 m/s	12 m/s	28 m/s

Table 5. Values of Parameters for PV Modules (Hadayeghprast et al., 2019)

N^{pv}	V_{ocv}	I_{sc}	K_{ctc}	NOT_{cell}	V_{Max}	I_{Max}
100	21.98 V	5.32 A	0.00122 V/C°	43 C°	17.32 V	4.76 A

Table 6. Data of ESS (Sadeghian et al., 2019)

P_{ch}^{max}	P_{dis}^{max}	E_{bess}^{min}	E_{bess}^{max}	$E_{bess}^{initial}$	η_{ch}	η_{dis}
1.5 MW	2 MW	0 MWh	10 MWh	0 MWh	0.96	0.95

The characteristics of DGs are given in Table 7.

Table 7. Characteristics of DGs ((Sadeghian et al., 2019)

Units	P_j^{min} (MW)	P_j^{max} (MW)	C_j^P (\$/MW)	C_j^F (\$/h)	C_j^{SU} (\$)
1	4	7	47	61	98
2	3	5	69	72	111
3	3	5	57	57	103
4	4	6	55	65	103
5	2	5	69	72	111

The hourly electricity market prices are taken from the study (SoltaniNeja Farsangi et al., 2018) and given in Table 8.

Table 8. Data for Electricity Market Prices

Hour	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6	t=7	t=8
EP_t (\$/MWh)	55.911	49.592	50.047	43.933	47.752	68.417	111.56	155.334
Hour	t=9	t=10	t=11	t=12	t=13	t=14	t=15	t=16
EP_t (\$/MWh)	128.59	99.887	93.784	89.092	87.284	81.725	79.337	82.987
Hour	t=17	t=18	t=19	t=20	t=21	t=22	t=23	t=24
EP_t (\$/MWh)	101.716	156.565	201.701	202.224	172.936	108.075	74.69	68.505

4.2. Results

The calculated output powers of WPP and PVPP are shown in Figure 3.

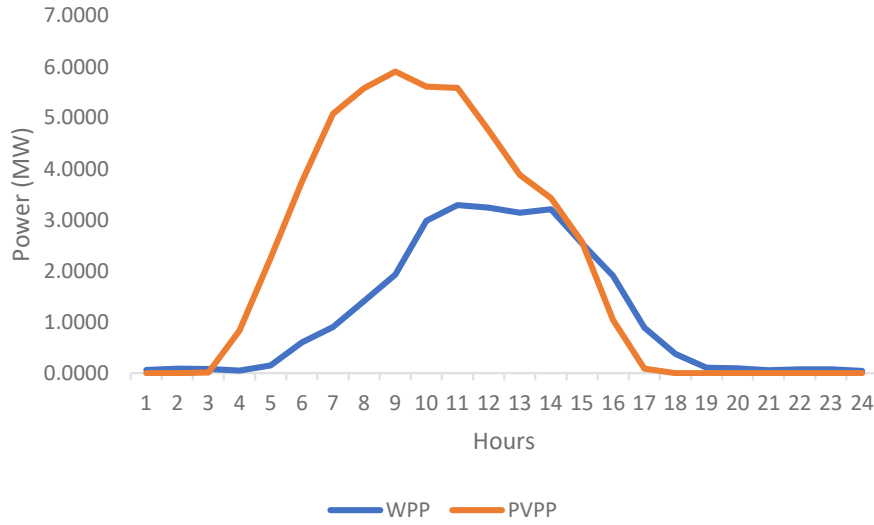


Figure 3. The Output Powers of WPP and PVPP

The operation planning of the ESS is given in Figure 4.

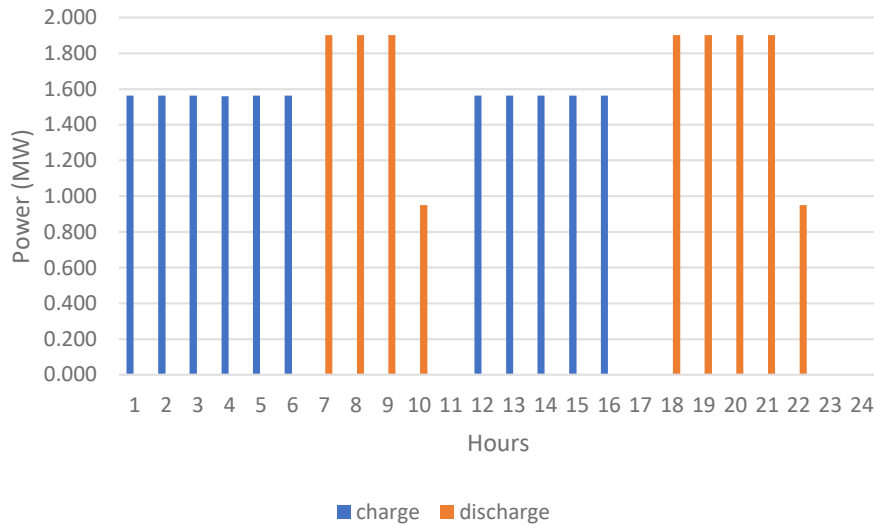


Figure 4. The Operation Planning of the ESS

Figure 4 shows the operation mode of the ESS for each hour. The ESS is operated in the mode of charging at 1-6 and 12-16 hours. At these hours, 1.562 MW power is charged in the ESS. It is operated in the mode of discharging at 7-10 and 18-22 hours. At 7-9 and 18-21 hours, the ESS discharges 1.900 MW. It discharges 0.950 MW at the 10 and 22 hours. The ESS is operated in the idle mode that is neither charging or discharging at the 11, 17 and 23-24 hours. It is operated in the charging mode when the electricity price is low. It stores the energy to sell when the electricity price is high. It is operated in discharging mode in high electricity prices to sell more energy to the market and increase its profit.

The operation planning of the DGs is given in Table 9.

Table 9. The Operation Planning of the DGs

Hours	Generated Power (MW)				
	DG1	DG2	DG3	DG4	DG5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
6	7	0	5	6	0
7	7	5	5	6	5
8	7	5	5	6	5
9	7	5	5	6	5
10	7	5	5	6	5
11	7	5	5	6	5
12	7	5	5	6	5
13	7	5	5	6	5
14	7	5	5	6	5
15	7	5	5	6	5
16	7	5	5	6	5
17	7	5	5	6	5
18	7	5	5	6	5
19	7	5	5	6	5
20	7	5	5	6	5
21	7	5	5	6	5
22	7	5	5	6	5
23	7	0	5	6	0
24	7	0	5	6	0

Table 10 shows the amount of generated power of each DG for each hour. In general, DGs are operated at maximum capacity in order to sell more energy to the market when electricity prices are high. DG2 and DG5, which cost more than other DGs, are operated less hours than others. When electricity prices are low (at 1-5 hours), all of the DGs are not operated.

The bidding scheduling of the VPP model is given in Figure 5.

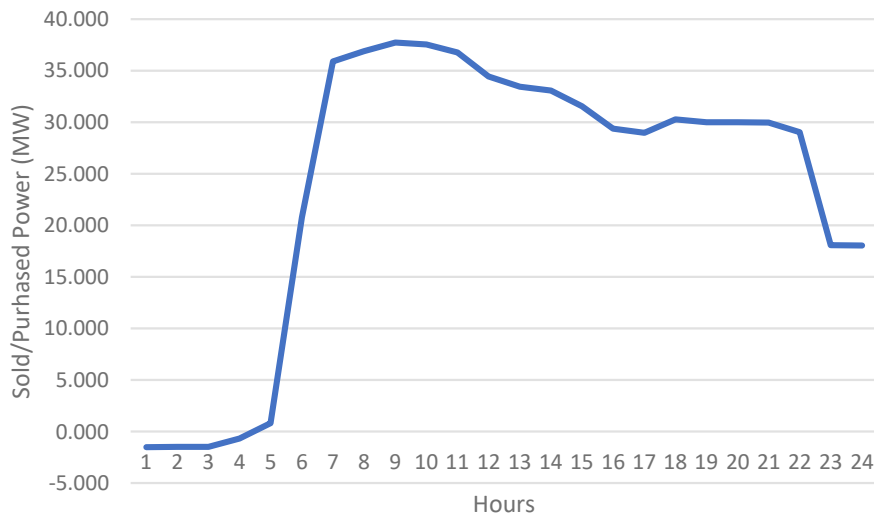


Figure 5. The Bidding Scheduling of the VPP Model

Figure 5 shows the amount of sold/purchased power in the market. The negative values indicate the amount of purchased power, and positive values indicate the sold power in the market. The VPP owner purchases power from the market at 1-4 hours due to low electricity prices. It sells power to the market by increasing generation of DGs when electricity prices are high.

5. Conclusion

In this study, the optimum bidding and operating planning has been established in order to obtain maximum daily profit for the VPP participating in the day ahead electricity market. The VPP model is formed on the IEEE 6-bus test system with DGs by including the WPP, the PVPP and the ESS. The real data of wind speed to calculate the WPP's output power and the real data of solar radiation and ambient temperature to calculate the PVP's output power are obtained from Turkish State Meteorological Service. The problem is modeled as MILP in GAMS software and solved by CPLEX solver. The optimum operating planning of VPP components and bidding planning that VPP owner presents in the energy market are determined. The numerical results demonstrate the effectiveness of the proposed methodology. It helps VPP owners to make profitable decisions in the electricity market.

Referanslar

- Abdolrasol, M. G. M., Hannan, M. A., Mohamed, A., Amiruldin, U. A. U., Abidin, I. B. Z. & Uddin, M. N. (2018). An Optimal Scheduling Controller for Virtual Power Plant and Microgrid Integration Using the Binary Backtracking Search Algorithm. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 54(3), 2834-2844. doi: 10.1109/TIA.2018.2797121
- Behi, B., Baniyasi, A., Arefi, A., Gorjy, A., Jennings, P. & Pivrikas, A. (2020). Cost-Benefit Analysis of a Virtual Power Plant Including Solar PV, Flow Battery, Heat Pump, and Demand Management: A Western Australian Case Study. *Energies*, 13, 2614. doi: 10.3390/en13102614
- Guo, W., Liu, P. & Shu, X. (2021). Optimal dispatching of electric-thermal interconnected virtual power plant considering market trading mechanism. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123446. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123446
- Hadayeghparast, S., Farsangi, A. S. & Shayanfar H. (2019). Day-ahead stochastic multi-objective economic/emission operational scheduling of a large scale virtual power plant. *Energy*, 172(2019), 630-646. doi: 10.1016/j.energy.2019.01.143
- Hannan, M. A., Abdolrasol, M. G. M., Faisal, M., Ker, P. J., Begum, R. A. & Hussain, A. (2019). Binary Particle Swarm Optimization for Scheduling MG Integrated Virtual Power Plant Toward Energy Saving. *IEEE Access*, 7, 107937-107951. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2933010
- Karimyan, P., Abedi, M., Hosseinian, S. H. & Khatami, R. (2016). Stochastic approach to represent distributed energy resources in the form of a virtual power plant in energy and reserve markets. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 10(8), 1792-1804. doi: 10.1049/iet-gtd.2015.0715
- Lazaroiu, G. C., Dumbrava, V., Roscia, M. & Zaninelli, D. (2015). Energy trading optimization of a Virtual Power Plant on electricity market. *The 9th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering*, May 7-9, 2015, Bucharest, Romania.
- Naval, N. & Yusta, J. M. (2020). Water-Energy Management for Demand Charges and Energy Cost Optimization of a Pumping Stations System under a Renewable Virtual Power Plant Model. *Energies*, 13, 2900. doi: 10.3390/en13112900
- Othman, M. M., Hegazy, Y. G. & Abdelaziz, A. Y. (2017). Electrical energy management in unbalanced distribution networks using virtual power plant concept. *Electric Power Systems Research*, 145, 157-165. doi: 10.1016/j.epsr.2017.01.004
- Ozerdem, B., Ozer, S. & Tosun, M. (2006). Feasibility study of wind farms: A case study for Izmir, Turkey. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 94 (2006), 725-743. doi: 10.1016/j.jweia.2006.02.004
- Rahimi, M., Ardakani, F. J. & Ardakani, A. J. (2021). Optimal stochastic scheduling of electrical and thermal renewable and non-renewable resources in virtual power plant. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 127, 106658. doi: 10.1016/j.ijepes.2020.106658
- Sadeghi, S., Jahangir, H., Vatandoust, B., Golkar, M. A., Ahmadian, A. & Elkamel, A. (2021). Optimal bidding strategy of a virtual power plant in day-ahead energy and frequency regulation markets: A deep learning-based approach. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 127, 106646. doi: 10.1016/j.ijepes.2020.106646
- Sadeghian, O., Shotorbani A. M. & Mohammadi-Ivatloo, B. (2019). Generation maintenance scheduling in virtual power plants. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 13(12), 2584-2596. doi: 10.1049/iet-gtd.2018.6751

Vahedipour-Dahraie, M., Rashidizadeh-Kermani, H., Anvari-Moghaddam, A., & Siano, P. (2020). Risk-averse probabilistic framework for scheduling of virtual power plants considering demand response and uncertainties. *Electrical Power and Energy Systems*, 121 (2020), 106126.

Vahedipour-Dahraie, M., Rashidizade-Kermani, H, Shafie-khah, M. & Catalão, J. P. S. (2020). Risk-Averse Optimal Energy and Reserve Scheduling for Virtual Power Plants Incorporating Demand Response Programs. *IEEE Transactions on Smart Grid*, doi: 10.1109/TSG.2020.3026971

Wei, C., Xu, J., Liao, S., Sun, Y., Jiang, Y., Ke, D., Zhang, Z. & Wang, J. (2018). A bi-level scheduling model for virtual power plants with aggregated thermostatically controlled loads and renewable energy. *Applied Energy*, 224, 659-670. doi: 10.1016/j.apenergy.2018.05.032

Wozabal, D. & Rameseder, G. (2020). Optimal bidding of a virtual power plant on the Spanish day-ahead and intraday market for electricity. *European Journal of Operational Research*, 280(2), 639-655.



Yapay Arı Kolonisi Algoritmasına Dayalı PID Denetleyicisini Kullanan Termal Üniteli Mikro Şebeke Güç Sisteminde Frekans Kontrolü

Frequency Control in Microgrid Power System with Thermal Unit Using PID Controller Based on Artificial Bee Colony Algorithm

İbrahim Eke

¹Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, 71450, Kırıkkale/TÜRKİYE

Başvuru/Received: 16/10/2020

Kabul / Accepted: 27/11/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2020

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2020

Öz

Birbirine bağlı güç sistemlerinde frekansta meydana gelen sapmalar güç sistemlerinde kararsızlığa neden olmaktadır. Frekansın sabit kalması ve salınım yapmaması için güç sisteminde üretilen ve tüketilen enerji arasında denge olmalıdır. Bu çalışmada, tek bölgesel güç sisteminde yük-frekans kontrolünün gerçekleştirilmesi için, güç sisteminin blok diyagramı oluşturulmuş ve PID kontrolör kullanılmıştır. Çalışmada iki farklı test sistemi kullanılmıştır. Birincisi tek bölgesel klasik güç sistemi ikincisi de mikro şebeke içeren güç sistemidir. PID kontrolörün parametrelerini belirlemek için yapay arı kolonisi (YAK) algoritmasından yararlanılmıştır. Yapay Arı Kolonisi (YAK) algoritması, son yıllarda sıklıkla kullanılan sürü tabanlı bir algoritmadır. YAK, bir bal arısı sürüsünün akıllı yiyecek arama davranışını simüle eder. Bu çalışma için algoritmayı geliştirmek için YAK algoritmasına kaotik harita eklenmiştir. Kontrolör olmadığı sistemler için frekans değişiminin kararsız olduğu gözlenmiştir. Yapay arı kolonisi algoritmasının hem klasik hem de kaotik harita eklenmiş hali ile PID parametreleri belirlenmiştir. PID kontrolör tarafından kontrol edilen güç sistemine basamak yük değişimi uygulandığında sistemin kararlı hale geldiği görülmüştür. Benzetim çalışmaları sonucuna göre Kaotik harita ekli YAK algoritması daha başarılı olmuştur.

Anahtar Kelimeler

“Yük frekans kontrolü, PID Kontrolör, Mikro Şebeke, Yapay arı kolonisi, Kaotik harita”

Abstract

Variations in frequency in interconnected power systems cause instability in power systems. In order of the frequency to remain constant and not to oscillate, there must be a balance between the energy produced and consumed in the power system. In this study, a block diagram of the power system is created and a PID controller is used to perform load-frequency control in a single area power system. Two different test systems are used in the study. The first is a single area classical power system and the second is a power system containing the micro grid. Artificial bee colony (ABC) algorithm is used to determine the parameters of the PID controller. The Artificial Bee Colony (ABC) algorithm is a swarm-based algorithm that has been used frequently in recent years. ABC simulates the intelligent foraging behavior of a honey bee swarm. The chaotic map has been added to the ABC algorithm to improve the algorithm for this study. It has been observed that the frequency change is unstable for systems without a controller. The PID parameters are determined by the addition of both classical and chaotic maps of the artificial bee colony algorithm. It has been observed that the system becomes stable when a step load change is applied to the power system controlled by the PID controller. According to the results of the simulation studies, the ABC algorithm with the chaotic map was more successful.

Keywords

“Load Frequency Control, PID Controller, Micro Grid, Artificial Bee Colony, Chaotic Map”

1. Giriş

Enerji ihtiyacı nüfus artışı, teknolojik ve sosyal gelişimler gibi sebepler nedeniyle son yıllarda sürekli artış içerisinde. Bu artan enerji ihtiyacının karşılanması için enterkonnekte güç sistemleri oluşmuştur. Enterkonnekte güç sistemlerinin kararlı çalışabilmesi için, anlık enerji ihtiyaçları karşılanmalı, aktif ve reaktif güç dengesi korunmalı, frekans ve bara gerilim değerlerinin denge değerinde sabit tutulmalıdır (Gözde, 2010).

Son yıllarda alternatif enerji kaynakları güneş, rüzgar, yakıt hücresi ve dizel jeneratörler vb. uygun maliyet, çevre dostu olması yönünden daha kaliteli güç kaynaklarıdır. Böylece birkaç küçük ölçekli üretim kaynakları, mikro şebeke oluşturmak için birleştirilir. Mikro Şebekeler mikro kaynakları ve depolama cihazlarını baralar ile küçük yüklerle bağlayan düşük gerilimli şebekelerdir. Güneş / rüzgar enerjisi üretimindeki değişiklikler nedeni ile güç talebin zamanın da aktarımını sağlayamaz. Bu nedenle, güç üretim sistemleri, yük ve yenilenebilir enerji kaynakları arasındaki bu uyumsuzluğu düzeltmek için depolama sistemlerini kullanır.

Güç sistemlerinde kararlılığı belirleyen en önemli parametrelerden biri olan frekans, aktif güç dengesine bağlıdır. Üretilen ve tüketilen enerjide farklılıklar oluştuğunda sistem frekansı bu duruma bağlı olarak değişim göstermektedir. Güç sisteminin kararlılığının bozulmaması için frekans değerinin uluslararası sınırlar içerisinde UCTE (Union for the Coordination of the Transmission of Electricity) kriterlerine bağlı olarak 49,8-50,2 Hz arasında olması gerekmektedir (YALÇIN, Ertuğrul, VARDAR, & Lüy, 2010).

Sistem frekansının yük değişimlerine bağlı olarak sabit değerlerde tutulması işlemine 'Otomatik Üretim Kontrolü' veya 'Yük Frekans Kontrolü (Load frequency control, LFC)' denilmektedir (Cam & Kocaarslan, 2002). Bu konuda birçok çalışma tek bölgesel veya çok bölgesel sistemlerin incelenmesi olarak literatürde mevcuttur.

Literatürdeki çalışmalarda frekansın genelde PID kontrol ve PI kontrol ile dengede tutulmaya çalışıldığı ve bunlarının parametrelerinin ise çeşitli optimizasyon yöntemleri yardımıyla bulunduğu görülmektedir. 1997 yılında Chang ve Fu, iki bölgesel enterkonnekte sisteminde PI kontrol yardımıyla yük-frekans kontrolünü gerçekleştirmişler, kontrolörün parametreleri iki kurallı bulanık mantıkla ayarlamışlardır (Chang & Fu, 1997). Du ve Li çalışmalarında PI ve PID kontrolör kullanmışlar, kazançları genetik algoritma yardımıyla bulmuşlardır (Du & Li, 2006). Abdel-Magid ve Abido, kontrolör olarak PI ve I kullanarak LFC'yi incelemiştir. Bu çalışmada kazançları bulmak için parçacık sürüsü algoritması kullanmıştır (Abdel-Magid & Abido, 2003). Gözde ve arkadaşları, iki bölgesel bir enterkonnekte sistemi için çığır parçacık sürüsü algoritması kullanmışlardır (Gözde, Kocaarslan, Taplamacıoğlu, & Çam, 2008).

Yukarıda belirtilen klasik çalışmalar üzerine son yıllarda literatürde sıklıkla mikro şebekelerin yük frekans kontrolüne etkisi incelenmiştir. Sahu ve arkadaşları, iki alanlı bir AC mikro şebeke sistemindeki yük frekans kontrolünü, geliştirilmiş salp sürüsü ile optimize edilmiş tip II bulanık denetleyicisiyle gerçekleştirmişlerdir (Sahu, Mishra, Prusty, & Panda, 2018). Kayalvizhi ve arkadaşları, izole edilmiş bir mikro şebekenin yük frekans kontrolü için bulanık uyarlamalı bir model öngörülü kontrol yaklaşımını sunmuşlardır. Önerilen yöntemin etkinliğini performans indeksi ile karşılaştırmışlardır. Bu yöntemin daha iyi sonuçlar verdiğini benzetim çalışmaları ile doğrulamışlardır (Kayalvizhi & Kumar, 2017). Bu çalışmada, mikro şebekeye entegre yenilenebilir enerji kaynakları için çoklu bölgede yük frekans kontrol parametrelerinin optimizasyon problemi araştırılmıştır. LFC'nin optimizasyon problemini çözmek için yapay Koyun algoritması adı verilen yeni bir meta-sezgisel yöntem uygulanmıştır (Xu, Li, Wang, Zhang, & Peng, 2018). Khalil ve arkadaşları şarj edilebilen elektrikli araç ve fotovoltaik jeneratör içeren mikro şebekede zaman gecikmesi durumunda yük frekans kontrolü incelenmiştir (Khalil, Rajab, Alfergani, & Mohamed, 2017). Khooban, zaman gecikmeli izole bir mikro şebekenin frekans kararlılığını optimal doğrusal olmayan serbest model kontrolör kullanarak sağlamışlardır. Burada kullanılan optimizasyon yöntemi ise kara delik algoritmasıdır (Khooban, 2017). Ozturk ve arkadaşları farklı sezgisel algoritmalar (optikten esinlenen optimizasyon, bakteri sürü optimizasyon, yapay arı kolonisi, karınca kolonisi optimizasyonu, gri kurt kolonisi optimizasyonu) ile şebekeden izole edilmiş mikro şebekenin frekans kararlılığını incelemiştirler (ÖZTÜRK, ÇELİK, & ÖZDEMİR, 2017). Dash çalışmasında mikro şebekenin yük frekans kontrolünü sağlamak için modifiye edilmiş balina optimizasyon algoritması ile PID parametrelerini belirlemiştir. Elde edilen sonuçları önerdiği NARMA-L2 kontrolör ile karşılaştırmıştır (Dash, 2020). Bu çalışmada, elektrikli araç içeren zaman gecikmeli mikro şebeke modeli sunulmuştur. Verilen sistem için sistem kararlılığı için izin verilen maksimum gecikme belirlenmiştir (Kiliç, Khaki, Gumuş, Yilmaz, & Asker, 2018). Bu çalışmada, sabit iletişim zaman gecikmeli mikro şebeke (MG) frekans kontrol sisteminin kararlı parametre düzlemi üzerine tamsayı olmayan dereceli kontrolörün etkileri, kararlılık sınır lokusu yöntemi ile araştırılmış ve tartışılmıştır (B. Yıldırım & Khooban, 2020).

Mikro şebekeler, dağıtık enerji kaynakları, enerji depolama sistemleri ve yüklerden oluşan düşük gerilimli elektrik dağıtım şebekeleridir. Elektrik şebekesinin verimli bir şekilde işletilmesinin yanında Mikro şebeke, fosil yakıtların tükenmesinden ve artan kirlilik oranlarından kaynaklanan sorunlara bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır. Mikro şebekenin olumlu ve olumsuz yanları şu şekilde sıralanabilir (Rajesh, Dash, & Rajagopal, 2020):

- Şebekede herhangi bir kararsızlık durumunda mikro şebeke, kendisine bağlı yükleri etkilemeden kendisini izole edecek ve ayıracaktır.

- Dağıtık enerji kaynakları sayısını artırarak üretim kapasitesini artırabilir veya yük atma yoluyla pik yükleri yönetebilir.
- CO2 emisyonlarını azaltarak çevre faydalarına katkıda bulunabilir.
- Genel sistem verimliliğini artırmak için 5 CHP sistemi kullanılabilir.
- Kabul edilebilir standartlarda frekans ve güç kalitesi parametreleri kontrol edilmelidir.
- Elektrik enerjisinin depolanması için, batarya gruplarının hem tesisi için alan hem de bakım gereksinimleri olacaktır.
- Mikro şebekenin şebeke ile yeniden senkronizasyonu karmaşık bir süreçtir.

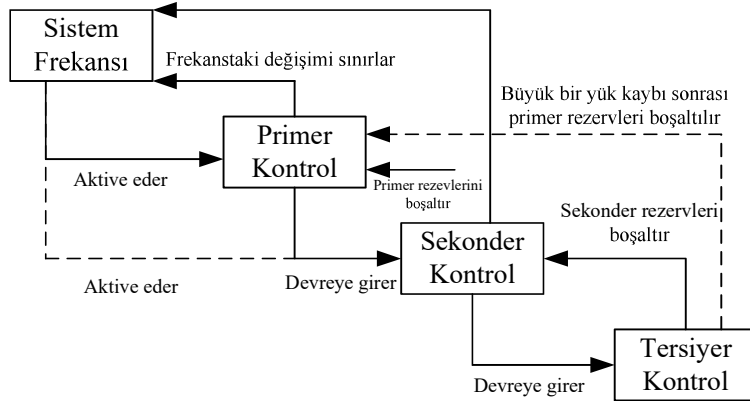
Bu çalışmada, tek bölgeyi enterkonnekte güç sisteminde yük değişimine bağlı olarak frekansın dengede kalmasını sağlamak için PID kontrolör kullanılmış, kontrolörün kazançları yapay arı algoritması (YAK) yardımıyla bulunmuştur. Test sistemi olarak klasik sistem ve termal bir güç sistemi ile bağlı AC mikro şebeke incelenmiştir.

2. Yük Frekans Kontrolü

Enterkonnekte güç sistemi birbiriyle bağlantılı güç sistemlerinden oluşmaktadır. Güç sisteminin frekansı, sistemde çalışan senkron generatörlerin dönüş hızları anlamına gelmekte olup, güç sisteminin ürettiği elektrik ile yüklerden çekilen elektrik enerjisi birbirine eşit ise frekans 50 Hz değerindedir. Bu frekans değerine karşılık gelen bir hız değeri olup, örnek olarak termik santrallerde 50 Hz'e karşılık gelen hız değeri 300 d/dk' dir (Bircan, 2006). Yük-frekans kontrolü, elektrik güç sistemlerinde yük dengesinin bozulması sonucunda aktif güç dengesinin yeniden kurulmasını ve değişen sistem frekansını tekrar nominal değerine ayarlayan otomatik kontrol yöntemidir (Gözde, 2010).

2.1. Yük-Frekans Kontrolü Aşamaları

Güç sistemlerinde yük değişimi anında aktif güç dengesi bozulmakta ve sistem frekansında sapmalar meydana gelmektedir. Bu sapmaların kalıcı durum hatasına ve sistem dengesinin bozulmaması için yapılan yük-frekans kontrolü üç aşamada gerçekleşmekte olup kontrol diyagramı Şekil 1'de gösterilmiştir (Bircan, 2006).



Şekil 1. Yük Frekans Kontrol Aşamaları

2.1.1. Primer Kontrol

UCTE kriterlerine bağlı olarak, santraller belirli bir miktarda rezerv kapasitesi bulundurmalıdır. Örnek olarak hidroelektrik santraller kapasitelerinin %10'unu, termik santraller de kapasitelerinin %5'ini rezerv olarak bulundurmak zorundadır. Güç sisteminde aktif güç dengesinin sağlanmadığı durumda sistem frekansındaki değişmeyi durdurmak için türbin hız regülatörünün eğim karakteristiği oranında güç sisteminin rezervlerinin otomatik olarak devreye alınmasıdır. Bu kontrolde merkezi müdahale yoktur. Düşüm karakteristiğinin eğimi regülasyon sabiti R ile ifade edilmekte olup, sistem frekansındaki değişimi için türbin çıkış gücünün ne kadar değişmesi gerektiğini belirleyen değerdir ve eşitlik 1'de matematiksel olarak ifade edilmiştir (Bircan, 2006; Saadat, 1999).

$$R = \frac{f_2 - f_1}{P_{GN}} \quad (1)$$

Eşitlikteki;

f_2 : Yüksüz durumundaki frekans (Hz)

f_1 : Nominal güç çıkışındaki frekans (Hz)

P_{GN} : Jeneratör ünitesinin nominal çıkış gücü (MW) 'dir.

2.1.2. Sekonder Kontrol

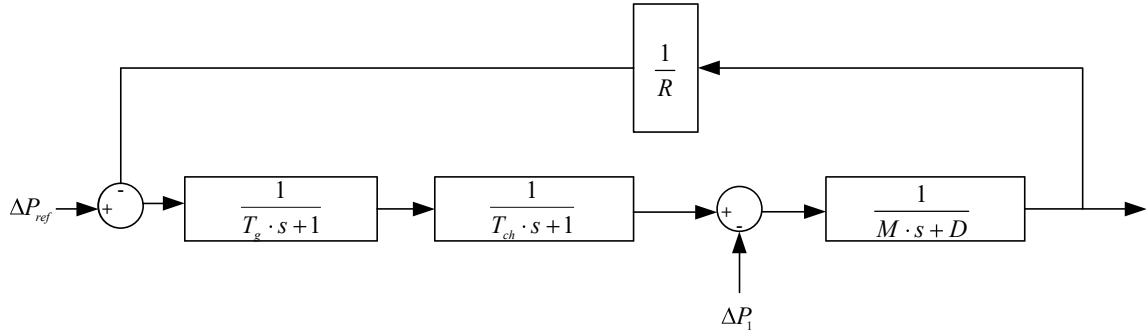
Bu kontrolde merkezi müdahale vardır. Frekansı nominal değerine getirmek için sekonder kontrol rezervlerini otomatik olarak devreye almaktadır. PI kontrol kullanılmaktadır, bu sebeple maksimum tepki 30 sn. içinde başlamakta ve maksimum 15 dakika içinde sistem dengeye getirilmektedir (Bircan, 2006; Pamuk, 2010; Saadat, 1999).

2.1.3. Tersiyer Kontrol

Tersiyer kontrol rezervleri, sekonder kontrole katılan ünitelerin çalışma koşullarının değiştirilmesine veya onların en ekonomik koşullarını sağlayacak şekilde dağıtılmasından sorumludur. Başka bir deyişle, farklı bir olayı çözmek için sekonder rezervi serbest hale getirmesidir. Tersiyer kontrol içinde merkezi müdahale vardır. Bu durumda tersiyer kontrol, 3-20 dk. içinde devreye girmektedir (Bircan, 2006; Pamuk, 2010; Saadat, 1999).

2.2. Tek Bölge Yükle-Frekans Kontrolü

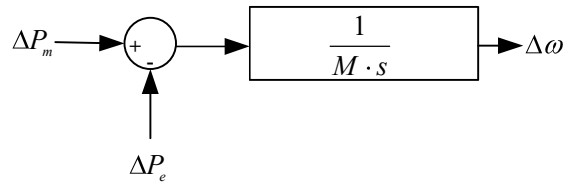
Tek bölge güç sisteminin incelenmesi için Şekil 2'deki model seçilmiştir. Bu model, generatör, yük ve hız regülatöründen oluşmaktadır. Yükle-frekans kontrolünü anlamak için bu elamanlardaki çalışma mantığını bilmek gerekmektedir (Pamuk, 2010; Saadat, 1999; Tiryaki & Gün).



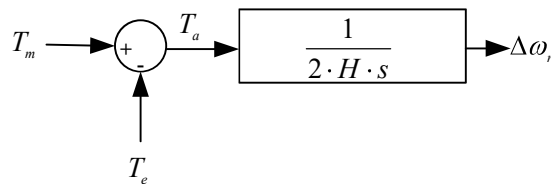
Şekil 2. Tek bölge sistemde yük-frekans kontrolü blok diyagramı

2.2.1. Generatör Modeli

Generatör, iki zıt momente bağlı olarak dönen büyük bir küttür. Bu momentler; elektriksel moment ve mekanik momenttir. Mekanik momentle elektriksel moment birbirine eşit olduğunda dönme hızı sabit olmaktadır. Mekaniksel moment elektriksel momentten büyük olduğunda dönüş hızı artarken, tam tersi durumda dönüş hızı azalmaktadır. Bu durumlar güç sistemlerinde yük sürekli değişken olduğundan tekrarlanmaktadır. Elektriksel ve mekanik güç arasındaki ilişki Şekil 3'de, moment ile hız arasındaki ilişki Şekil 4'de gösterilmiştir. Şekil 3 ve şekil 4'teki M ve H sırası ile makinanın açıl moment ve atalet sabiti olup ikisi arasında $M=2H$ ilişkisi vardır (Pamuk, 2010; Saadat, 1999; Tiryaki & Gün).



Şekil 3. Elektriksel ve Mekanik Güç Arasındaki İlişki



Şekil 4. Hız ve moment arasındaki ilişki

2.2.2. Yük Modeli

Güç sistemlerindeki motor yükleri frekansa bağımlı iken omik yükler frekanstan bağımsızdır. Frekansa bağılı olarak yükteki değişim eşitlik 2'de gösterildiği gibidir (Pamuk, 2010; Saadat, 1999; Tiryaki & Gün).

$$\Delta P_D = D \cdot \Delta \omega \quad (2)$$

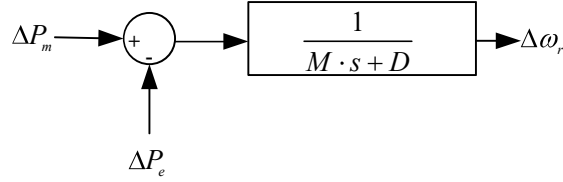
Eşitlikteki;

ΔP_D : Frekansa bağılı olarak değişen yük miktarı

D : yük sönüm sabiti

$\Delta \omega$: açısal hızdaki değişim

Yük modeline bağılı olarak generatör modeli Şekil 5'deki gibi yeniden oluşturabilir.

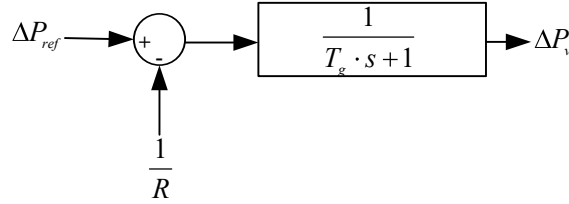


Şekil 5. Yük modeli blok diyagramı

2.2.3. Hız Regülatörü Modeli

Yük-frekans kontrolünde en önemli elaman hız-regülatörüdür. Yük değişimine bağılı olarak değişen frekans hız regülatör sistemi sayesinde nominal değerine getirilmektedir. Şekil 6'daki blok diyagramı hız regülatör sistemini temsil etmektedir. Blok diyagramdaki R; eşitlik 1'de verilen regülasyon sabitidir. T_g ise zaman sabiti olup, eşitlik 3'deki gibi ifade edilir. K_g ise türbindeki akışkan hızına, silindirik şekline bağılı olan sabittir (Pamuk, 2010; Saadat, 1999; Tiryaki & Gün).

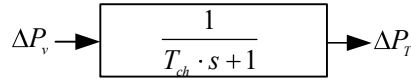
$$T_g = \frac{1}{K_g} \quad (3)$$



Şekil 6. Hız regülatörü blok diyagramı

2.2.4. Türbin Modeli

Buhar akışımı kontrol etmek için buhar türbinlerinde valfler kullanılmaktadır. Bu valfin pozisyonu, buhar haznesi arasındaki ilişki T_{ch} zaman sabiti ile ilişkilendirilir ve Şekil 7'deki gibi ifade edilir (Pamuk, 2010; Saadat, 1999; Tiryaki & Gün).



Şekil 7. Türbin modeli

Yük değişimiyle frekanstaki ve güç sisteminde meydana gelen değişimleri sayısal bir örnekle daha net anlaşılabilir.

Örnek:

İki bölge 1000 MVA gücüne sahip enterkonnekte güç sistemi parametreleri Tablo 1'de verilmiştir. Güç sisteminin nominal frekans değeri 60 Hz' dir. Birinci bölgede 187.5 MW'lık ani yük değişimi sonrası frekanstaki değişim incelenmiştir (Glover, Sarma, & Overbye, 2012).

Tablo 1. Güç sistemine ait

Değişkenler	1. Bölge	2. Bölge
Hız regülasyon sabiti (R -Hz/MW-)	0.05	0.0625
Yük-sönüm sabiti (D-MW/Hz)	0.6	0.9
Atalet sabiti (H -sn-)	5	4
Bara gücü	1000	1000
Hız regülatörü sabiti (T _g -sn-)	0.25	0.3
Türbin zaman sabiti (T _t -sn-)	0.5	0.6

Çözüm:

Per-unit cinsinden yük değişimi; $\Delta P_{L1} = \frac{187.5}{1000} = 0.1875 pu$

Kalıcı durumdaki yük değişimine bağlı hız değişimi; $\Delta\omega_{SS} = \frac{-\Delta P_{L1}}{\left(\frac{1}{R_1+D_1}\right)+\left(\frac{1}{R_2+D_2}\right)} = -0.005 pu$

Frekans değişimi; $\Delta f = (-0.005) * 60 = -0.3 Hz$

Yeni frekans değeri $f^{yeni} = 60 - 0.3 = 59.7 Hz$

Mekanik güçteki değişim:

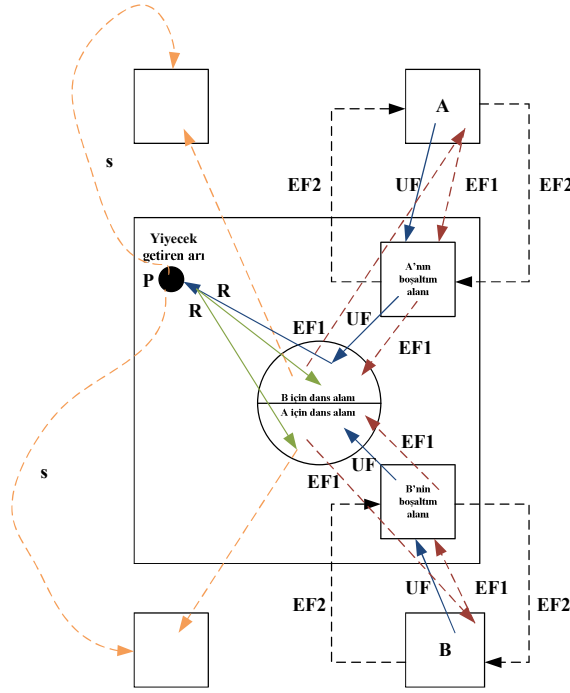
$$\Delta P_{m1} = \frac{-0.005}{0.05} = 0.1 pu ; 100 MW$$

$$\Delta P_{m2} = \frac{-0.005}{0.0625} = 0.08 pu ; 80 MW$$

3. Yapay Arı Kolonisi Algoritması

Yapay arı kolonisi algoritması, bal arısı sürülerinin kendine özgü davranışları ve besin ararken takip ettikleri yollardan esinlenerek oluşturulmuş sezgisel bir algoritmadır. Bu algoritma Derviş Karaboğa tarafından 2005 yılında literatüre kazandırılmıştır (Karaboga, 2005).

Kolonilerin yaşamlarını devam ettirmeleri için arılar belirli görevlere sahiptir. İşçi arılar, yeri belli olan yiyecek kovanlarına gidip, çiçek özlerini toplayıp bunları kovana boşaltmaktır. Gözcü arıların görevi ise bal kaynakları aramak ve bunu işçi arılara bildirmektir. İzci arılar ise çevrelerini dolaşmakta ve yeni bal kaynakları aramaktadır. Arıların yiyecek arama ve yiyeceklerini kovana getirirken davranışları Şekil 8'de gösterilmiştir (Akyol & Alataş, 2012; Küçükşille & Tokmak, 2011).



Şekil 8. Arıların yiyecek aramaları ve kovanlarına getirmeleri

Şekilde; A ve B'nin yiyecek kaynakları olarak farz edilmiş, başlangıçta arıların bu kaynakların yerini bilmeyen ve aramaya çalışan kaşif arıdır. Gözcü arı ise kaynakları öğrendikten sonra bu kaynaklara arıları yönlendirir.

Bu esaslar düşünülerek bu algoritmanın adımları şu şekilde sıralanabilir (BATBAT & ÖZTÜRK, 2016; Karaboga & Akay, 2009; Kaya);

- Başlangıç; yiyecek kaynaklarının oluşturulması
- Tekrarlama
- İşçi arıların yiyecek kaynağına bölgesine gitmesi ve yiyecek miktarının hesaplanması
- Gözcü arıların seçimindeki olasılıkların hesaplanması
- Gözcü arıların yiyecek kaynağı bölgesi seçmeleri
- Limit ve kaşif arı oluştuğunda kaynaktan ayrılma
- Çevrim sayısı kadar tekrarlama

Algoritmadaki adımlar optimizasyon da şu eşitliklerle ifade edilmektedir. Bal kaynaklarına ait ilk değerlerin atanmasında eşitlik 4'den yararlanılır. Eşitlikteki j , üretilen kaynak sayısını i ise problemde kullanılacak olan parametre sayısını göstermektedir (Akyol & Alataş, 2012; Küçüksille & Tokmak, 2011).

$$X_{ij} = X_j^{min} + rand(0,1) * (X_j^{max} - X_j^{min}) \quad (4)$$

İşçi arıların yeni kaynak bölgesini araştırması ise eşitlik 5'deki gibi ifade edilir. Eşitlikteki \emptyset_{ij} (-1,1) aralığında değer almaktadır.

$$V_{ij} = X_{ij} + \emptyset_{ij} * (X_{ij} - X_{kj}) \quad (5)$$

Hesaplama sonucunda V_{ij} 'nin sınırların dışına çıkma ihtimaline karşın; farklı ötelemeler yapılır. Bu ötelemeler eşitlik 6'da verilmiştir.

$$V_{ij} = \begin{cases} X_j^{min} & V_{ij} < X_j^{min} \\ V_{ij} & X_j^{min} < V_{ij} < X_j^{max} \\ X_j^{max} & V_{ij} > X_j^{max} \end{cases} \quad (6)$$

Problem için çözüm değeri f_i olmak üzere, problem için çözümün uygunluk değeri (*fitness*, f_i) eşitlik 7'deki gibi ifade edilir.

$$fitness = \begin{cases} \frac{1}{1+f_i} & f_i \geq 0 \\ 1 + abs(f_i) & f_i < 0 \end{cases} \quad (7)$$

Gözcü arı safhasında seçim için kullanılacak olasılık değeri eşitlik 8’de ifade edilir.

$$p_i = \frac{fitness_i}{\sum_{i=1}^{SN} fitness_i} \quad (8)$$

Burada i . kaynağın kalitesi $fitness_i$ ve SN görevli arı sayısını belirtmektedir.

YAK algoritması ile ilgili şu temel özellikler ifade edilebilir;

- Basit ve esnek bir yapıya sahiptir.
- Benzetim çalışmalarında kullanılan sistem gerçek yiyecek kaynaklarını arayan arılara çok yakındır.
- Algoritma doğası gereği sürü zekasına dayalıdır.
- Özellikle nümerik problemler için çözüm üretirken eklentiler yapılarak ayrık problemlere de çözüm verebilir.
- Kontrol parametre sayısı oldukça azdır.
- Yerel arama ve küresel arama yapabilme kabiliyeti vardır.

3.1. Kaotik Harita Eklenmiş Yapay Arı Kolonisi Algoritması

YAK algoritmasının başlangıç; yiyecek kaynaklarının oluşturulmasında rasgele tabanlı bir seçim söz konusu olduğu eşitlik 4’te gösterilmiştir. Rasgele sayı dizilerinin yerini alabilen kaotik sayı dizileri ilk uzayın oluşturulmasında kullanılarak algoritma geliştirilmiştir. Bu şekilde YAK algoritmasının global yakınsama özelliğinin artırılması ve lokal çözümde takılıp kalması önlenmeye çalışılmıştır.

Yiyecek kaynaklarının oluşturulmasında kullanılacak kaotik sayı üreten harita Çebişev haritasıdır (ÖZYÖN, YAŞAR, & TEMURTAŞ; G. YILDIRIM, AYDIN, ALLİ, & TATAR). Bu kaotik harita eşitlik 9’da temsil edilmektedir.

$$X_{n+1} = \cos(k \cos^{-1} X_n) \quad (9)$$

Eşitlik 9’da iterasyon sayısını n ve n . kaotik sayıyı X_n temsil etmektedir. Eşitlik 4 kaotik haritalar ile tekrar düzenlenirse eşitlik 10 elde edilmiş olur.

$$X_{ij} = X_j^{min} + kaotik\ dizi * (X_j^{max} - X_j^{min}) \quad (10)$$

Eşitlik 10’da belirtilen kaotik dizi Çebişev haritasından elde edilecek olan kaotik haritadır.

4. Benzetim Çalışmaları ve Sonuçları

Bu çalışmada iki farklı test sistemi incelenmiştir. Bunlardan bir tanesi klasik tek bölgeli sistem olup ikinci test sistemi ise Mikro şebeke içeren sistemdir.

Tablo 2. Benzetim Çalışmalarında Kullanılan Güç Sistemi Parametreleri

Katsayılar	Değerleri	Katsayılar	Değerleri	Katsayılar	Değerleri
K_g	1.0	K_p	120	K_{fc}	0.01
T_g	0.08	R	2.4	T_{fc}	4
T_t	0.3	K_{wtg}	1.0	K_{deg}	0.003
T_r	10	T_{wtg}	1.5	T_{deg}	2
K_r	0.5	K_{ac}	1.0	K_{bess}	-0.003
T_p	20	T_{ac}	0.08	T_{bess}	0.1

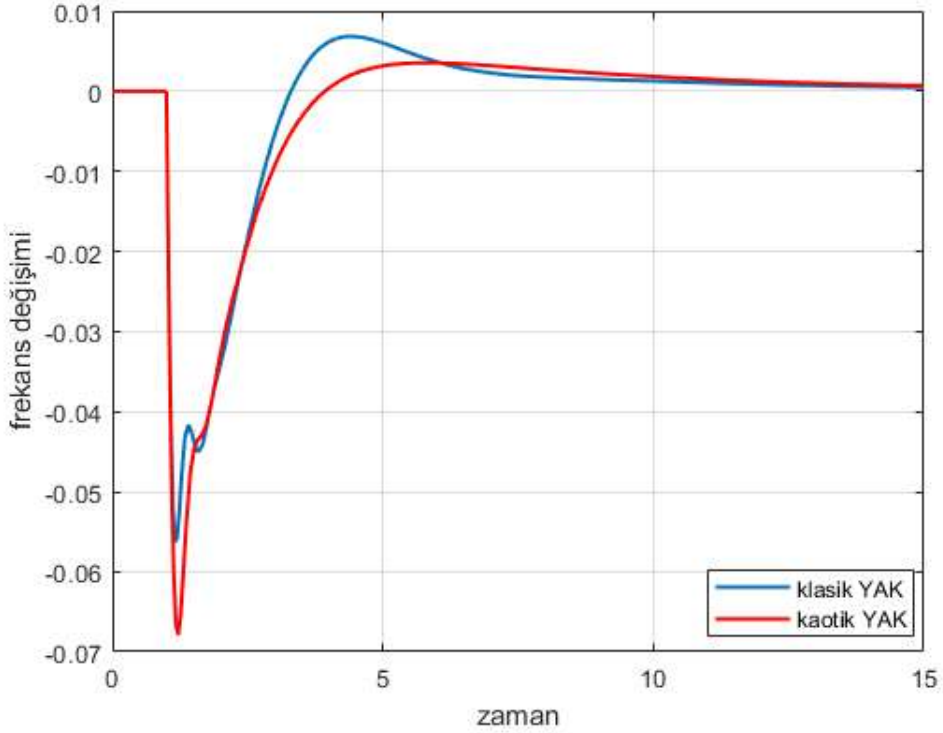
4.3. Test Sistemi 1

Çalışmada kullanılan tek bölgeli güç sisteminin parametreleri Tablo 2'de verilmiş olup güç sisteminin sadece klasik termik santral kısmı seçilmiştir. Güç sisteminde yük-frekans kontrolünü gerçekleştirmede PID kontrol kullanılmıştır. Kontrolün parametrelerini belirlemede YAK ve kaotik harita eklenmiş YAK kullanılmıştır. Algoritmalar sonucunda bulunan kontrolün kazanç değerleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Kontrolün Kazanç Değerleri

Kazanç	Klasik YAK	Kaotik YAK
Kp	2.6888	3
Ki	2.9639	2.2911
Kd	1.4447	1.0288

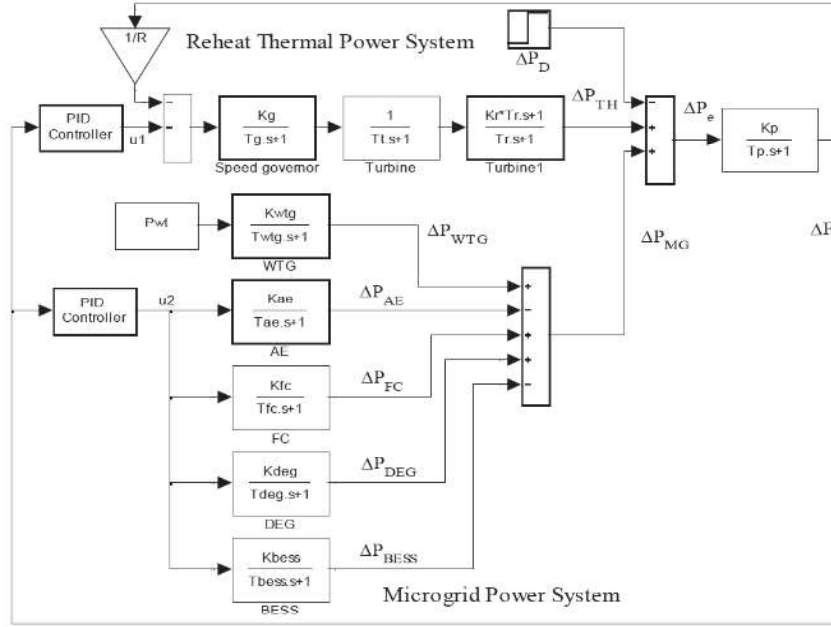
Bu değerlere göre frekansın 1.saniyedeki ani yük değişimine cevabı Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Frekans değişimi

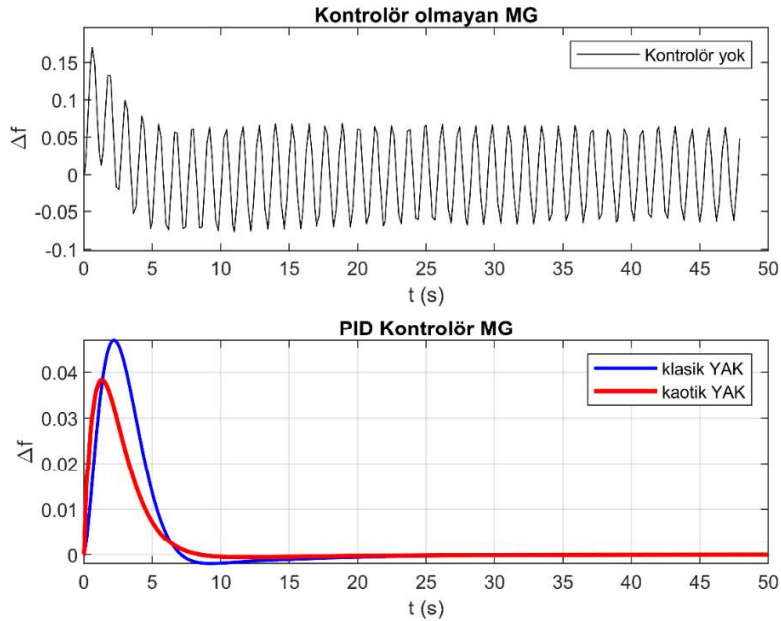
4.4. Test Sistemi 2

AC mikro şebekenin termal bir güç sistemi içeren bir test sistemi benzetim çalışmaları yapılmıştır. Mikro şebeke içinde rüzgar türbin jeneratörü (wind turbine generator, WTG), elektroliz su jeneratörü (aqua electrolyzer, AE), yakıt hücresi (fuel cell, FC), dizel jeneratör (diesel engine generator, DEG) batarya enerji depolama sistemi (battery energy storage system, BESS) vardır. Ayrıntılı model Şekil 10'da gösterilmektedir (Lal & Barisal, 2017).



Şekil 10. Mikro Şebeke içeren Güç Sistemi

Bu test sistemi sıfırıncı saniyede 0.01 birim yük değişim dikkate alınarak benzetimi yapılmıştır. Sistemde mevcut rüzgar gücündeki ortalama değişim (P_{wt}) 0.5 olarak alınmıştır.



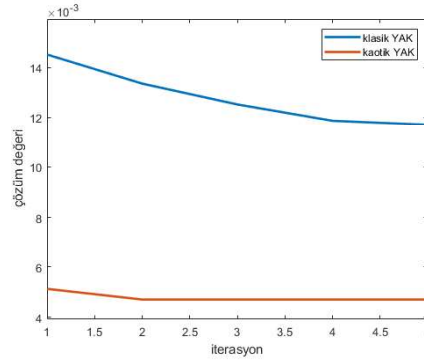
Şekil 11. Mikro Şebeke içeren Güç Sistemi için Benzetim Çalışmaları

Şekil 11'de sistemde MG için kontrolör içeren ve içermeyen sistemin benzetim çalışması yapılmıştır. Kontrolör olmayan MG için sistem kararlı hale gelememiştir ve salınımlar devam etmektedir. İkinci durumda PID kontrolör ile sistemin benzetim çalışması yapıldığında yaklaşık 10 sn içinde sistem kararlı hale gelmektedir. Önerilen YAK algoritması ile elde edilen PID değerleri sistemi kısa zamanda salınımlar yapmadan kararlı hale getirdiği gözükülmektedir. Ayrıca önerilen algoritmaya kaotik haritalar eklenerek benzetim çalışmaları tekrarlanmıştır. Geliştirilen YAK algoritmasının daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Tablo 4'te Klasik ve Kaotik YAK için PID kontrolün kazanç değerleri verilmiştir.

Tablo 4. Klasik ve Kaotik YAK için PID kontrolün kazanç değerleri

Sistem	Kontrolör ve Optimizasyon	
	Klasik YAK ile ayarlanan PID	Kaotik YAK ile ayarlanan PID
Termik Santral	$K_P = 3$	$K_P = 2.760$
	$K_I = 1.538$	$K_I = 1.2272$
	$K_D = 1.317$	$K_D = 1.4386$
Mikro Şebeke	$K_P = 2.937$	$K_P = 2.8393$
	$K_I = 1.973$	$K_I = 3$
	$K_D = 2.684$	$K_D = 0$

Klasik YAK algoritması ile kaotik YAK algoritmasının iterasyonlar sonucu en iyi çözüm değerini bulma süreci Şekil 12’de verilmiştir.

**Şekil 12.** Klasik YAK ve Kaotik YAK için çözüm değerinin iterasyonla değişimi

5. Sonuçlar

Son yıllarda güç sistemlerinde küçük ölçekli enerji üreten birimlerin sayısı hızla artmaktadır. Klasik sisteme ek olarak gelen bu sistemlerin şebekeye olan etkilerini incelemek önem arz etmektedir. Bu çalışmada da önerilen YAK algoritması ile AC sisteme bağlı bir Mikro şebekenin sistem frekansına etkisi incelenmiştir. İlk durumda kontrolör olmadan sistemin salınımlar yaparak dengede kalamadığı gözlenmiştir. Önerilen algoritmayla ayarlanan PID kontrolör ile sistemin kararlı hale kısa sürede geldiği tespit edilmiştir. Burada yapay arı kolonisi algoritmasının hem klasik hem de kaotik harita eklenmiş hali kullanılmıştır. Kaotik harita ile geliştirilen algoritmanın daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Bu durum rastgele oluşturulan arama uzayına göre kaotik haritalar ile elde edilen arama uzayının en iyiyi bulma becerisinin daha fazla olduğunu göstermektedir. Gelecekteki çalışmalarda sisteme sanal atalet eklenerek sistem frekansına olan etkisinin incelenmesi hedeflenmektedir.

Teşekkür / Bilgilendirme

Bu çalışma “2219 Yurtdışı Doktora Sonrası Araştırma Bursu Programı” kapsamında TÜBİTAK tarafından (Başvuru Numarası: 1059B191300593) ve “Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince” (Proje Numarası: 2012 / 112) desteklenmiştir.

Referanslar

Abdel-Magid, Y. L., & Abido, M. A. (2003). *AGC tuning of interconnected reheat thermal systems with particle swarm optimization*. Paper presented at the 10th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems, 2003. ICECS 2003. Proceedings of the 2003.

Akyol, S., & Alataş, B. (2012). Güncel Sürü Zekası Optimizasyon Algoritmaları. *Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(1).

- BATBAT, T., & ÖZTÜRK, C. (2016). Ayrık Yapay Arı Kolonisi Algoritması ile Protein Yapısı Tahmini. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 9(3), 263.
- Bircan, M. (2006). Türkiye elektrik sisteminin UCTE bağlantısı kapsamında frekans kontrolü kalitesinin UCTE standartlarına çıkarılması. *Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Türkiye 10. Enerji Kongresi*, 265-273.
- Cam, E., & Kocaarslan, I. (2002). TEK BÖLGELİ GÜÇ SİSTEMLERİNDE BULANIK MANTIK İLE YÜK FREKANS KONTROLÜ. *Teknoloji*, 5.
- Chang, C., & Fu, W. (1997). Area load frequency control using fuzzy gain scheduling of PI controllers. *Electric Power Systems Research*, 42(2), 145-152.
- Dash, S. (2020). Load Frequency Control of Solar PV and Solar Thermal Integrated Micro grid using Narma-L2 Controller. *arXiv preprint arXiv:2004.05776*.
- Du, X., & Li, P. (2006). Fuzzy logic control optimal realization using GA for multi-area AGC systems. *International Journal of Information Technology*, 12(7), 63-72.
- Glover, J. D., Sarma, M. S., & Overbye, T. (2012). *Power system analysis & design, SI version*: Cengage Learning.
- Gözde, H. (2010). *Güç Sistemlerinde Yapay Arı Kolonisi Algoritması Yöntemi ile Yük-Frekans Kontrolü Optimizasyonu*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı,
- Gözde, H., Kocaarslan, İ., Taplamacıoğlu, M., & Çam, E. (2008). İki Bölgeli Güç Sisteminde Parçacık Sürüsü Algoritması İle Yük-Frekans Kontrolü Optimizasyonu. *ELECO'08 Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, 212-216.
- Karaboga, D. (2005). *An idea based on honey bee swarm for numerical optimization*. Retrieved from
- Karaboga, D., & Akay, B. (2009). A comparative study of artificial bee colony algorithm. *Applied mathematics and computation*, 214(1), 108-132.
- Kaya, B. YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI İLE YAPILAN GELİŞTİRMELER VE SONUÇLARI. *Verimlilik Dergisi*(1), 99-115.
- Kayalvizhi, S., & Kumar, D. V. (2017). Load frequency control of an isolated micro grid using fuzzy adaptive model predictive control. *IEEE Access*, 5, 16241-16251.
- Khalil, A., Rajab, Z., Alfergani, A., & Mohamed, O. (2017). The impact of the time delay on the load frequency control system in microgrid with plug-in-electric vehicles. *Sustainable cities and society*, 35, 365-377.
- Khooban, M.-H. (2017). Secondary load frequency control of time-delay stand-alone microgrids with electric vehicles. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 65(9), 7416-7422.
- Kiliç, H., Khaki, B., Gumuş, B., Yılmaz, M., & Asker, M. E. (2018). *Stability Analysis of Islanded Microgrid with EVs*. Paper presented at the 2018 Smart Grid Conference (SGC).
- Küçükşille, E. U., & Tokmak, M. (2011). Yapay Arı Kolonisi Algoritması Kullanarak Otomatik Ders Çizelgeleme. *Journal of Natural & Applied Sciences*, 15(3).
- Lal, D. K., & Barisal, A. K. (2017). *Load frequency control of AC microgrid interconnected thermal power system*. Paper presented at the IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering.
- ÖZTÜRK, D., ÇELİK, H., & ÖZDEMİR, M. T. (2017). Load-frequency optimization with heuristic techniques in a autonomous hybrid AC microgrid. *International Journal of Energy and Smart Grid*, 2(1), 2-16.
- ÖZYÖN, S., YAŞAR, C., & TEMURTAŞ, H. Test Fonksiyonları için Kaos Tabanlı Yerçekimsel Arama Algoritmaları (CbGSA-X). *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(3), 1771-1793.
- Pamuk, N. (2010). *Frequency control of power plant and making an application case for Adapazari/Gebze natural gas combined cycle power plant*. Paper presented at the National Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering.

Rajesh, K., Dash, S., & Rajagopal, R. (2020). Load Frequency Control of Microgrid: A Technical Review. In *Green Buildings and Sustainable Engineering* (pp. 115-138): Springer.

Saadat, H. (1999). *Power system analysis* (Vol. 2): McGraw-Hill.

Sahu, P. C., Mishra, S., Prusty, R. C., & Panda, S. (2018). Improved-salp swarm optimized type-II fuzzy controller in load frequency control of multi area islanded AC microgrid. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 16, 380-392.

Tiryaki, H., & Gün, A. Modern Optimizasyon Yöntemleri ile Bir Hidroelektrik Santralde Frekans Kontrolü. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 11(1), 266-274.

Xu, Y., Li, C., Wang, Z., Zhang, N., & Peng, B. (2018). Load frequency control of a novel renewable energy integrated micro-grid containing pumped hydropower energy storage. *IEEE Access*, 6, 29067-29077.

YALÇIN, E., Ertuğrul, Ç., VARDAR, T., & Lüy, M. (2010). PID Kontrolör ile İki Bölge Güç Sistemlerinde Yük Frekans Kontrolünün İncelenmesi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 5(2), 7-11.

Yildirim, B., & Khooban, M. H. (2020). Enhancing stability region of time-delayed smart power grids by non-integer controllers. *International Journal of Energy Research*.

YILDIRIM, G., AYDIN, G., ALLİ, H., & TATAR, Y. Hadoop ile Kaos Temelli FCW Optimizasyon Algoritmasının Analizi An Analysis of Chaos-Based the FCW Optimization Algorithm by Hadoop.



Nesnelerin İnterneti (IoT)

Internet of Things (IoT)

Erdal Erdal¹ , Atilla Ergüzen^{1,*} 

¹Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, 71450 Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 19/10/2020

Kabul / Accepted: 29/11/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2020

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2020

Öz

İnternet kavramı insan hayatına girdiği günden bu yana kabul görmüştür ancak yaşanan teknolojik gelişmeler ile internet IoT kavramı olarak karşımıza çıkmıştır. Özellikle son yıllarda popülerliği artan ve seçkin araştırmacılar tarafından tercih edilen IoT; nesnelerin internete bağlanması ile yönetilmesi, kontrol edilmesi, veri aktarımı yapması gibi temel fonksiyonlara sahiptir. Ancak IoT'nin farklı alanlara uygulanması günden güne beklentiyi artırmıştır. Bu çalışma kapsamında; IoT alanında detaylı literatür incelemesi yapılmış ve gelen son nokta belirlenmiştir, IoT kavramının temel hedefi ve kavramı değerlendirilmiştir, geçmişten günümüze gelişimi incelenmiştir, internetin IoT'ye evrimi ve adımları detaylı olarak incelenmiştir, IoT'de kullanılan iletişim ve alt yapı teknolojileri detaylandırılmış ve açıklanmıştır, IoT uygulama alanları ve kullanım amaçları detaylı araştırılmıştır, ayrıca IoT'de açık sorunlar, zorluklar ve gelecekteki araştırma yönergeleri tanımlanmıştır.

Anahtar Kelimeler

“İnternet, Nesnelerin İnterneti, IoT”

Abstract

The concept of internet has been accepted since the day it is part of a human life, but with the technological developments experienced, it has emerged as the IoT concept. IoT, which has gained popularity in recent years and is preferred by prominent researchers; It has basic functions on objects by connecting to the internet such as managing, controlling, and transferring data. However, the application of IoT to different areas has increased day by day. This scope of work; a detailed literature review has been made in the field of IoT and the final point has been determined, the basic goal and concept of the IoT concept has been evaluated, its development from the past to the present has been examined, the evolution and steps of the Internet to IoT have been examined in detail, the communication and infrastructure technologies used in IoT are detailed and explained, The application areas and uses are investigated in detail, as well as clear issues, challenges and future research directions in IoT are identified.

Key Words

“Internet, Internet of Things, IoT”

1. Giriş

İnternetin hayatımıza etkisi ve internet teriminin insanlık için ifade ettiği anlam özellikle son birkaç yıldır daha da anlam kazanmıştır. Öyle ki internetin hayatımıza daha ne kadar gireceği ve vazgeçilmez noktalara geldiği ve hatta en uygun kullanımının belirlenmesi konusunda dahi araştırmacılar tarafından çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. İnternetin ve internet alt yapısının gelişmesi, teknolojinin bu gelişmeye verdiği cevap ve insanların yaklaşımı ile günümüzde internet terimi geçmiş yıllardaki tanımından çok farklı noktalara gelmiştir. Bugün artık internet yalnız başına bir kavram olmaktan çıkmış ve nesnelere ilişkilendirilerek nesnelere interneti (internet-of-things – IoT) kavramı ortaya atılmıştır. Bu kavramın adından da tahmin edilebileceği üzere nesnelere Radyo Frekans Tanımlama (Radio-frequency identification, RFID), Kablosuz Sensör Ağları (Wireless sensor network, WSN), Bluetooth, Yakın Alan İletişimi (Near-field communication, NFC), Uzun Süreli Evrim (Long-Term Evolution, LTE) ve daha çeşitli akıllı iletişim araçları üzerinden internete erişim sağlamasıdır. Buradan elde edilen çıkarım ile IoT kavramı aslında “internet üzerinden ilişkilendirilen şeyler/nesnelere” olarak tanımlanması yanlış olmayacaktır.

İnternet ve nesnelere bir araya getirildiği bu kavram ve ortaklık ile internet erişimine sahip nesnelere topladıkları bilgileri kaynak nesneden hedef noktaya taşınması ve aktarılması mümkün olmaktadır. Bu çalışmanın amacı böylesine geniş, kapsamlı ve karmaşık bir dünyada IoT kavramının geçmişten günümüze nasıl geldiğini tanımlamak, IoT tanımına ve kavramına bir açıklık getirmek ve yapılan çalışmaları incelemek ve gelecekte IoT üzerine oluşması muhtemel tahmin, öngörü ve açık konuları belirlemek için yazılmıştır.

2. Motivasyon

Literatürde geçmişten günümüze kadar IoT kavramı ve tanımı üzerine seçkin araştırmacılar tarafından çok fazla araştırma ve literatür araştırması çalışmaları yapılmıştır. Ancak bilişim çağının yaşandığı bugünlere teknoloji durağan olmadığı gibi günden güne farklı gelişmeler ile karşımıza çıkmaktadır. Bu anlamda, sürekli yaşanan teknolojik gelişmeler, IoT kavramı üzerinde oluşan ve her geçen gün artan beklentiler araştırmacılar sürekli araştırmaya, sürekli taramaya ve yeni kriterler belirlemeye zorlamakta ve motive etmektedir. Öyle ki, günümüzde yaşanan teknolojik gelişmeler ile henüz 10 yıl önceye kadar henüz tanışmadığımız büyük veri, bulut bilişim, IoT, kenar bilişim, sis bilişim gibi kavramlar hayatımıza girmiştir. Bu cümlede yapılan hayatımıza girmiştir tanımı yalnız literatür yaklaşımını değil evimize ve iş hayatımıza olmak üzere hayatımızın parçaları olması açısından da yapılmıştır.

IoT kavramının temel yaklaşımı değerlendirildiğinde ve detaylı olarak düşünüldüğünde, IoT kavramının kullanıldığı mevcut vizyonunun ve konseptlerinin ve yeteneklerinin gözden geçirilmeye ve tekrar değerlendirilmeye ihtiyacı vardır.

Bu çalışma kapsamında;

- 1- Geçmişten günümüze kadar yapılmış literatür çalışmaları listelenmiştir,
- 2- IoT kavramına genel bir bakış yapılmıştır,
- 3- İnternetin IoT'ye evrimi tanımlanmıştır,
- 4- IoT'nin hedefleri tanımlanmıştır,
- 5- Günümüz IoT'de kullanılan iletişim teknolojileri belirlenmiştir,
- 6- IoT uygulamaları araştırılmıştır,
- 7- IoT kavramında yer alan açık sorunlar, zorluklar ve gelecekteki araştırma yönergeleri tanımlanmıştır.

Yapılan çalışma ile IoT kavramı üzerine kolay bir yaklaşım isteyen, temel yaklaşım ve kavramı anlamak isteyen araştırmacılara yardım etmek ve gelecek çalışmalarında tüm araştırmacılar bir ışık tutmayı amaçlamaktadır.

3. Literatür Araştırmaları

IoT üzerine yapılan literatür çalışmaları yapılmıştır, bu çalışmalar ve hedefleri Tablo 1'de detaylı olarak sunulmuştur.

Tablo 1. IoT Literatür Çalışmalar

Çalışma Adı	Alıntı referansı	Vurgulanan / ele alınan konu
The Internet of Things: A survey	(Atzori, Iera, and Morabito 2010)	IoT uygulamalarla birlikte etkinleştiren teknolojileri ve IoT alanında karşılaşılan açık sorunları ele almıştır.
A survey on Internet of Things	(Agrawal and Vieira 2013)	Daha geniş bir IoT bağlamında bir makale sundu ve temel olarak çeşitli teknolojilerdeki bütünleşme faktörlerini etkinleştirmiştir. Ayrıca, IoT'nin uygulanmasında yer alan temel teknolojiler ve ana uygulama alanı tartışılmıştır.

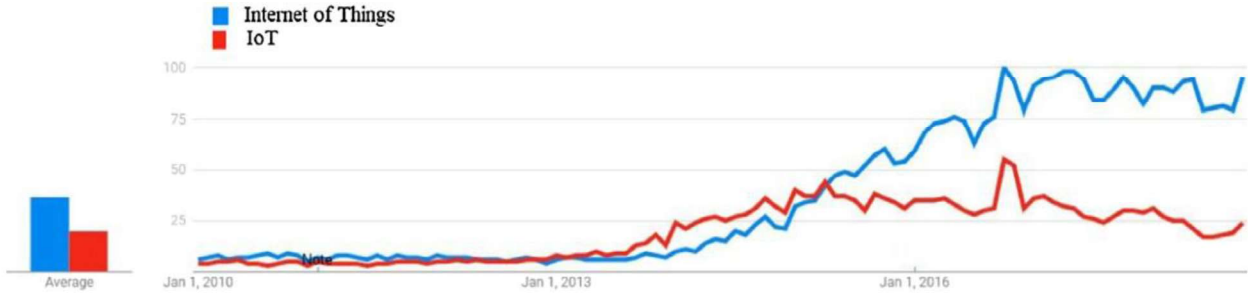
Tablo 1 (devam). IoT Literatür Çalışmalar

Çalışma Adı	Alıntı referansı	Vurgulanan / ele alınan konu
Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions	(Gubbi et al. 2013)	Teknolojik araştırma topluluğuna yönelik WSN, dağıtılmış bilgi işlem ve İnternet'in yakınsama gereksinimini artırarak IoT vizyonunu sunmuştur.
Towards internet of things: Survey and future vision	(Said and Masud 2013)	Vurgulanan mimariler, yeniçağ uygulamaları ve IoT'nin karşılaştığı zorluklar tanımlanmıştır.
Context aware computing for the internet of things: A survey	(Perera et al. 2014)	IoT alanında son on yılda sensör dağıtımlarının önemli artışını tartışmıştır.
Internet of Things (IoT): A Literature Review	(Madakam, Ramaswamy, and Tripathi 2015)	IoT'nin temel gereksinimlerini, özelliklerini ve takma adlarını vurgulanmıştır. Çalışma ayrıca IoT'nin günlük hayatımızdaki kullanımlarını da vurgulanmıştır.
Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications	(Al-Fuqaha et al. 2015)	IoT alanındaki protokoller, etkinleştirme teknolojileri ve çok sayıda uygulama sorunu üzerinde durulmuştur. Çalışma ayrıca IoT'nin mimarisini çeşitli unsurlar ve iletişim teknikleriyle birlikte tasvir etmektedir. Son olarak, çalışma ayrıca IoT alanında karşılaşılan zorlukları da vurgulanmıştır.
The Internet of Things—A survey of topics and trends	(Whitmore, Agarwal, and Da Xu 2015)	IoT'nin tanımlama tekniklerini, algılama teknolojilerini, ağ oluşturma ve işleme yeteneklerini vurgulanmıştır.
Internet of Flying Things (IoFT): A Survey	Internet of Flying Things (IoFT): A survey	IoT kavramı ve İnsansız Hava Araçları (İHA) üzerine daha özel bir araştırma yapılmıştır.
A survey on privacy and security of Internet of Things	(Ogonji, Okeyo, and Wafula 2020)	Makale, IoT gizliliği ve güvenliğindeki en son gelişmeleri özetler, açık sorunları vurgular ve daha fazla araştırma yapılması gereken alanları belirler.
Internet of Things in arable farming: Implementation, applications, challenges and potential	(Villa-Henriksen et al. 2020)	Bu inceleme, ekilebilir tarımda Nesnelerin İnternetinin mevcut ve potansiyel uygulamasının analitik bir incelemesini ele almaktadır. İnceleme, kullanılan en son teknolojilere genel bir bakış sağlar. Mevcut ve potansiyel uygulamaların bir taslağını sağlar ve zorlukları ve olası çözümleri ve uygulamaları tartışır. Son olarak, ekilebilir tarımda Nesnelerin İnterneti için bazı gelecek yönergeleri sunar.

Tablo 1'de yer alan IoT üzerine yapılmış literatür araştırmaları da göstermektedir ki IoT alanında yapılan araştırma faaliyetleri ve ilerlemeler yıllar boyunca ısrarla artmıştır.

4. IoT: Genel bir bakış

IoT kavramının incelenmesinden hemen önce IoT trendinin gözlemlenmesi ve belirlenmesi bu kavramının ve öneminin daha net anlaşılmasına katkı sağlayacaktır. İki farklı paradigmanın yani İnternet of Things ve IoT'nin popüleritesi, zaman zaman değişiklik göstermiştir. Yukarıda belirtilen iki terim için son 10 yıldaki Google Arama Trendleri tarafından Dünya genelinde ölçülen web araması popülerliği Şekil 1'de sunulmuştur.

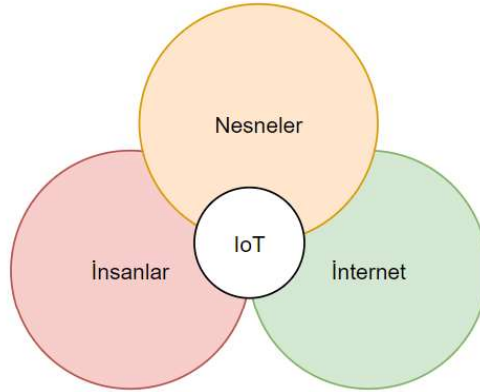


Şekil 1. Son 10 yıl için " Internet of Things" ve "IoT" anahtar kelimeleri için Google Arama Trendler yanıtı.

Henüz birkaç 10 yıla öncesine kadar iletişim, telefon hatları üzerinden sesle veya mektuplar ile sınırlı kurulabiliyordu. Bu zaman aralığında internet doğdu ve insanlığa dünya genelinde iletişim için yeni bir platformu sağladı. Böylece ses iletişimi için internet protokolü üzerinden ses (Voice over Internet Protocol - VoIP) kavramı hayatımıza girdi. Ancak öyle ki dünya için çok çok kısa sayılacak böylesine bir zaman aralığında internet kavramı dahi geride kalmış ve IoT kavramı hayatımıza yerleşmiştir.

IoT konseptinin hayatımıza girişi 1990'ların başında Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT) Auto-ID laboratuvarlarında önerilmiştir. Ancak ilk IoT uygulaması olan "Trojan Room coffee pot" 1999 yılında geliştirilmiştir (Jia et al. 2012). Yine aynı yıl, dünyanın ilk İnternet kontrollü cihazı, uzaktan açılabilen bir ekmek kızartma makinesi geliştirilmiştir (Welbourne et al. 2009).

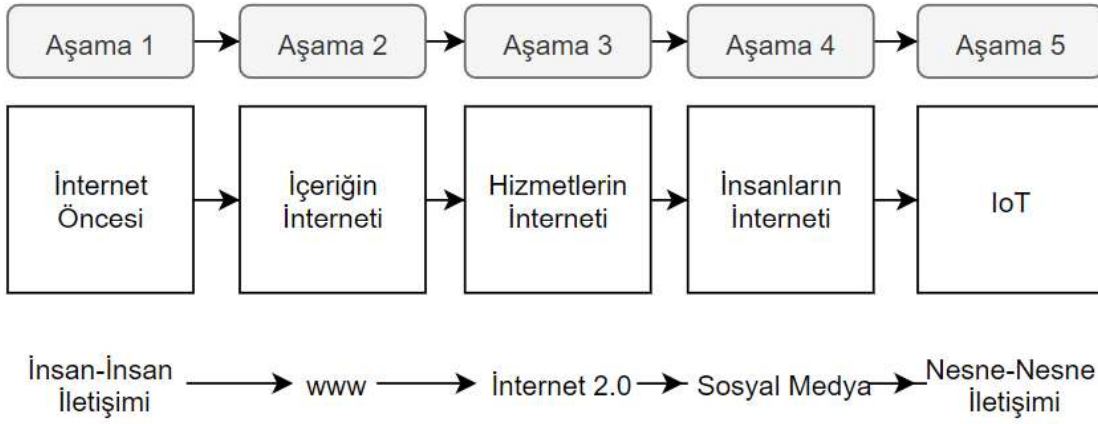
Ancak IoT dediğimiz kavram günümüzde Nesne, İnsan ve İnternet kavramlarının tam ortasında yer almaktadır, Şekil 2'de IoT'nin bu üç kavram arasındaki ilişkisini gösterilmiştir.



Şekil 2. IoT kavramsal ilişkisi.

Elbette teknoloji bir anda bugünkü konumuna gelmedi, günden güne gelişmeler ile beraber yeni terimler hayatımıza girdi ve her defasında bir sonraki adım insanlık tarafından insanlığın hizmetine sunuldu. Bu noktada teknolojik gelişmelerin aşamalara ayrılması ve o şekilde değerlendirilmesi daha doğru olacaktır.

İlk aşama internet öncesi dönem olarak isimlendirilebilir, bu dönemde iletişim sabit telefon hatları ve kısa mesajlar üzerinden sağlanmaktadır. Bu aşama ile dünya mobil cihazlar ile tanışmış ve iletişim ortamı telefon cihazlarına doğru geçiş yapmıştır. İkinci aşama ise internetin içeriği aşamasıdır. Bu aşama ile bir önceki aşamaya göre daha büyük boyutlu mesajlar, posta ekleri gibi kavramlar hayatımıza girmiştir. Üçüncü aşamada ise hizmetlerin interneti aşamasıdır, bu noktada e-üretim, e-ticaret gibi uygulamalar hayatımıza girmiştir. Dördüncü aşama ise insanların interneti olarak tanımlanmıştır, sosyal medya, instagram, Skype ve youtube gibi uygulamalar bu aşamada yer almaktadır. Ancak bugün yaşadığımız ve devam eden dönem IoT olarak isimlendirilmektedir. Bu dönemde cihazlar internete bağlanma, kendi aralarında iletişim kurma, veri aktarımı gibi yeteneklere sahiptir. Tüm aşamalar ve bu aşamalarda yaşanan gelişmeler Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 2. IoT'ye Dönüşüm Aşamaları.

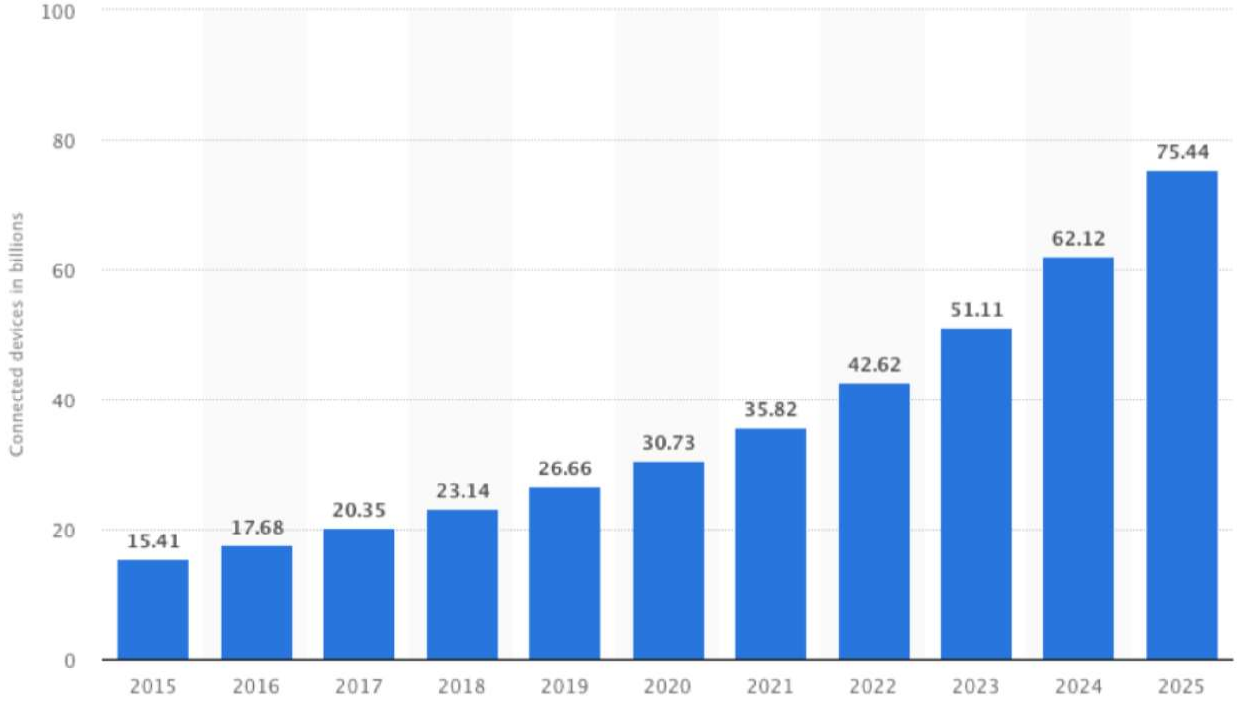
5. IoT Evrimi

Gelişen teknoloji ile insan ihtiyaçları ve teknolojiye bakış açıları da değişti ve artık internet iletişim açısından vazgeçilmez bir araç olarak tanımlanmaya başladı. Bugün artık klasik internetten milyarlarca cihazın kontrol edildiği bir platforma doğru evrilmiştir. Bu cihazlar barındırdıkları sensörlerden elde ettikleri bağlı buldukları internete büyük veriler üretir. Bugüne kadar 5 milyarın üzerinde internete bağlı akıllı cihaz kurulmuştur. Bulduğumuz on yılın sonuna doğru IoT'nin değerinin 300 milyar doların üzerinde olacağı tahmin edilmektedir. Ancak IoT'nin zaman üzerindeki gelişimini anlamadan işlevini ve bize kazandırdığı yetenekleri değerlendirmek doğru olmayacaktır. Bu sebeple geçmişten günümüze IoT evrimi Tablo 2'de düzenlenmiştir.

Tablo 2. IoT Evrimi (Abou-Zahra, Brewer, and Cooper 2017; Evans 2013; González, Organero, and Kloos 2008; Hodges et al. 2013; Juels, Rivest, and Szydlo 2003; Khanna and Kaur 2020; Ma 2011; Meddeb 2016; Medeiros and Fravel 2003; Santucci 2010; Shajahan and Anand 2013; Tso et al. 2013; Weber and Weber 2010; Wilkinson 2014)

Yıl	Gelişme
1999	IoT terimi ilk olarak MIT Labs'ta ortaya çıktı Trojan Room Coffee Pot, geliştirilen ilk IoT uygulamasıydı
2000	LG ilk buzdolabının İnterneti planlarını duyurdu
2003	RFID'nin ilk ticari dağıtımı yapıldı
2005	Bir grup şirket, IoT'yi etkinleştirmek için "Akıllı Nesnelere" ağlarında IP kullanımını teşvik etmek için IPSO Alliance'ı başlattı Uluslararası telekomünikasyon Birliği (ITU) ilk IoT raporu
2008	IoT, Avrupa Birliği (AB) tarafından tanındı
2010	Çin başbakanı Wen Jiabao, IoT'nin Çin için kilit endüstri olduğunu belirtti
2011	IoT-Global Standartlar Girişimi (IoT-GSI) kuruldu
2012	IBM, Ericsson ve Cisco, IoT konusunda büyük ölçekli eğitim ve pazarlama girişimleri geliştirmeye başladı
2013	Raspberry pi, Arduino ve diğer donanım platformları geliştirildi ve IoT'yi erişilebilir hale getirilmeye başlanmıştır
2014	Drone, RFID gibi 3. parti cihazların kullanımı yoğun bir şekilde IoT ile birleştirildi

IoT kavramı hayatımıza girdiği günden bu yana hem akademik hem de endüstriyel sektörde ilgi alanı olmuştur ve halen çeşitli cihazların internet ile ilişkilendirilmesi ve geliştirilmesi konularında çalışmalar yapılmaya devam edilmektedir. Akıllı mobilite, akıllı binalar, akıllı şehirler, kamu güvenliği, sağlık, tıp ve tarım gibi konularda IoT çalışmaları yoğun olarak tercih edilmektedir. Şekil 3'te yıllar bazında internete bağlı cihaz sayıları ve gelecek yıllarda bağlı bulunacak cihaz tahmin sayıları yer almaktadır.



Şekil 3. İnternet üzerinden ilişkilendirilen cihaz sayısındaki tahmin (2015–2025) (Vinnter n.d.).

6. IoT Hedefleri

IoT, nesnelerin Evrensel Entegrasyonu ile ilgili olduğundan Servis Odaklı Mimari (SOA) aracılığıyla bunların birlikte çalışabilirliğini sağlamak üzere kurgulanmıştır. IoT, aşağıdaki hedeflere ulaşmayı amaçlamaktadır:

1. IPv4 teknolojisinden IPv6 teknolojisine geçiş ile IoT'nin geleceğini desteklemek ve mevcut parçalanma sorunlarının çözülmesi hedeflenmektedir,
2. IPv6 tabanlı SOA geliştirilmesi bu sayede homojen olmayan uygulamalar, bileşenler ve hizmetleri arasında yer bağımsız, birlikte çalışabilirlik, bulut entegrasyonu ve veri dağıtımını gibi konuların sağlanması,
3. Aşağıda yer alan yenilikçi etkileşim biçimlerini keşfetme becerisine sahip olmak üzere:
 - 3.1. Çok protokollü entegrasyon,
 - 3.2. Heterojen cihazlarla kendi kendine birlikte çalışabilirlik,
 - 3.3. IaaS, PaaS ve SaaS dahil olmak üzere Bulut Bilişim Hizmetleri,
 - 3.4. RFID etiketlerinin ve diğer ilgili hizmetlerin kendi kendini tanımlaması,
 - 3.5. Akıllı dağıtım sistemleri.

7. IoT'nin İletişim Teknolojileri

Teknolojik gelişmeler ile günümüzde çok fazla sayıda bağlantı seçenekleri bulunmaktadır. Bunlar, IoT ile ilişkili ürün ve sistemlere dayanmaktadır. IoT alt yapısında kullanılan temel iletişim teknolojileri Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. IoT İletişim Teknolojileri

Sıra	Teknoloji	Açıklamalar
1	RFID	RFID sistemi; okuyucu ve RFID etiketlerinden oluşmaktadır. RFID etiketleri, belirli bir adresle karakterize edilir ve nesnelere uygulanır. RFID verileri aktarmak için radyo frekansı elektromanyetik alanları kullanırlar. Bu etiketler, nesne okuyucunun yakınına geldiğinde RFID okuyucu tarafından okunabilen elektronik olarak saklanan bilgilerle gömülüdür (Duan and Cao 2020). RFID, görüş alanında olmaya gerek kalmadan nesnelerin gerçek zamanlı olarak izlenmesine olanak tanır bu nedenle IoT konusunda en yoğun kullanılan ve tercih edilen iletişim yöntemlerindedir.

Tablo 3 (devam). IoT İletişim Teknolojileri

Sıra	Teknoloji	Açıklamalar
2	IEEE 802.15.4	Düşük Hızlı Kablosuz Kişisel Alan Ağları (LR-WPAN'lar) için fiziksel katman ve ortam erişim kontrolünü belirleyen bir iletişim yöntemi ve bir standarttır (Rodrigues et al. 2013).
3	Z-Wave	Z-Wave, Ev Otomasyon Ağları için düşük güçlü bir kablosuz iletişim protokolüdür. Akıllı evler için uzaktan kumanda uygulamalarında ve küçük boyutlu ticari alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. IoT'nin en sık kullanıldığı alanlardan olan akıllı ev tasarımlarında sıklıkla tercih edilmektedir.
4	LTE	Günümüzde vazgeçilmez hale gelen ağ teknolojilerine dayalı olarak cep telefonları arasında yüksek hızlı veri aktarımı için standart bir kablosuz iletişim protokolü LTE; Mobil İletişim için Küresel Sistem (GSM) ağ teknolojilerine dayalı kablosuz iletişim protokolüdür. Maksimum 100 MHz'e kadar destekler. Veri indirme ve yükleme genellikle tüm süreçte daha düşük ve daha yüksek gecikme oranıyla karşılaşır (Doppler et al. 2009).
5	LoRa	LoRa, Grenoble Cycleo tarafından geliştirilen ve esas olarak kırsal, uzak ve aynı zamanda kırsal alanlarda kullanılan çeşitli IoT cihazları için uzun menzilli bağlantıda kullanılır. Ayrıca tedarik zinciri yönetimi, kıtalararası lojistik, madencilik, doğal kaynak yönetimi gibi çeşitli uygulamalarda da kullanılmaktadır (Centenaro et al. 2016).
6	NFC	NFC, RFID'ye yapısal ve mantıksal olarak çok benzemektedir. RFID okuyucunun bir cep telefonuna entegre edilmesi olarak düşünülebilir. NFC aynı zamanda mobil cihazlarda iki cihaz tarafından etkinleştirilen bir tür radyo iletişim cihazı olarak da değerlendirilebilir (Bravo et al. n.d.). NFC, uzak konumlardan yapılamayacağından, güvenli olan iki akıllı nesne arasında iletişim sağlar ve bu nedenle IoT'nin gelişimine ve kullanımına katkı sağlamaktadır (He, Kumar, and Lee 2015).
7	UWB	UWB iletişim teknolojisi de NFC'ye benzeyen düşük enerji kullanan ancak düşük kapsama alanları içindeki iletişimi destekleyen bir yaklaşıma sahiptir.
8	M2M	M2M iletişim teknolojisi; bilgisayarlar, akıllı sensörler veya mobil cihazlar arasındaki iletişimi ifade etmektedir (Geng Wu et al. 2011).
9	6LoWPAN (IPv6 Low-power Wireless Personal Area Network)	6LoWPAN'dır ağ protokolü, kapsülleme ve sıkıştırma mekanizmalarını tanımlar. Protokol, frekans bandı ve fiziksel katman özgürlüğüne sahiptir ve Wi-Fi ve IEEE 802.15.4 dahil olmak üzere çoklu iletişim platformlarında da kullanılabilir. Bu standart, karmaşık kontrol sistemlerini kontrol etmek ve cihazlarla düşük güçlü kablosuz ağ altyapısı aracılığıyla uygun maliyetli bir şekilde iletişim kurmak için temel bir taşıma mekanizması sağladığı ev veya bina otomasyon sistemleri için özel olarak tasarlanmıştır.

Kullanılan iletişim teknolojileri genel olarak açıklanmış ve IoT'de kullanılan iletişim teknolojileri ve teknik özellikleri Tablo 4'te karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 4. IoT İletişim Teknolojileri Teknik Özellikleri (Al-Sarawi et al. 2017; Lea 2018)

Teknoloji	Standart	Keşif Yılı	Aşağı/Yukarı Bağlantı	Menzil (m)	Çalışma frekansı (MHz)
RFID	Wireless	1973	100 Kbps	2	0.125–5876
IEEE 802.15.4	6LoWPAN	2003	250 Kbps	30	826 & 915
Z-Wave	Wireless	2013	100 kbit/s	30	868.42 & 908.42
LTE	3GPP, LTE and 4G	1991	100 Mbps	35	400–1900
LoRa	Wireless	2012	0.3 37.5 (kb/s)	3000-5000	169, 433 & 868 (Avrupa) & 915 (Kuzey Amerika)
NFC	ISO 18092	2004	106, 212 - 424 Kbits	<0.2	13.56
UBW	IEEE 802.15.3	2002	11–55 Mbps	10-30	2400
M2M	Tüm iletişim protokollerine açık	1973	50–150 Mbps	5-20	1–20
6LoWPAN	Wireless	2006	250 Kbps	30	915

8. IoT Uygulamaları

İnternet kavramının günümüz teknolojileri ile evrim geçirerek hayatımıza girdiği alan IoT olmuştur. Öyle ki henüz şimdiden hayatımızı etkileyecek alanlarda kendisine yer edinmiştir. Yapılan bir çalışmada gerçek 1600 IoT projesi değerlendirilmiş ve IoT'nin en yoğun kullanıldığı 10 alan belirlenmiştir (Scully 2018). Yapılan çalışma sonucu elde edilen alanlar ve genel projeler arasındaki konumu Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5. IoT Projeleri ve Alanları (Scully 2018)

Sıra	IoT Alan	Oran
1	Akıllı Şehir	%23
2	Bağlı Endüstri	%17
3	Bağlı Bina	%12
4	Bağlı Araba	%11
5	Akıllı Enerji	%10
6	Diğer	%8
7	Bağlı Sağlık	%6
8	Akıllı Tedarik Zinciri	%5
9	Akıllı Tarım	%4
10	Akıllı Perakende	%4

Tablo 4'te görüldüğü üzere IoT uygulamalarında en büyük pasta payını akıllı şehirler almıştır. Bu büyümenin temelinde Dünya genelinde devletlerin ve hükümetlerin akıllı şehirlere yatırım yapmak istemeleri yer almaktadır. Akıllı şehirler günümüzde; trafik izleme ve kontrol, bisiklet gibi ulaşım araçlarının paylaşımı, akıllı otobüs ve taksi şeritleri, akıllı park sistemleri gibi projeleri barındırmaktadır. Bu alanda sırasıyla Avrupa ve Amerika önde gelen hedef noktalarıdır ayrıca akıllı şehirler kavramı gitgide yükselen bir trend göstermektedir. Akıllı şehirlerin ardından Bağlı Endüstri kavramı %17 ile ikinci sırada yer almaktadır. Bu kavram içerisinde fabrika içerisinde ve dışında olmak üzere çok farklı nesneyi kapsamaktadır. Bu kavramın önde gelen uygulaması fabrika dışı ortamda ekipman ve envanter izlenmesidir. Bu alanda Amerika önde gelen ülkeler arasındadır. Listenin 3. Sırasında yer alan bağlı bina kavramı içerisinde akıllı binalar, bina güvenliği ve iklimlendirme sistemleri yer alsa da son döneminde enerji maliyetlerinin düşürülmesi hedefi odak noktada olduğu görülmüştür. Bağlı araba kavramı her ne kadar %11 payı ile listenin 4. Sırasında yer alsa da en ciddi artışı yaşayan kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kavram kapsamında araçların gerçek zamanlı izlenmesi, sensör okumaların izlenmesi ve araçların uzaktan yönetilmesi yer almaktadır. Görüldüğü üzere IoT kavramı ve uygulamaları her geçen gün hayatımıza daha fazla entegre olmaya ve hayatımızı kolaylaştırmaya başlamıştır.

9. IoT Açık Sorunlar, Zorluklar ve Gelecekteki Araştırmalar

Son yıllarda elde ettiği başarı ve yükselişe bakılmaksızın her kavramda olduğu gibi IoT kavramı da bünyesinde performans ve yönetim açılarından bazı temel ve kavramsal sorunlar barındırmaktadır. Bu nedenle Tablo 6'te sunulan açık konulara cevap verilmesi ve çözüm üretilmesi gerekmektedir.

Tablo 6. IoT Açık Konular

Sıra	Açık Konu	Açıklama
1	Kullanılabilirlik	IoT sunduğu hizmetlerin yanı sıra her yerden her zaman erişilebilir olması gereklidir. IoT yalnızca bir yazılım kavramından ibaret değildir donanım parçaları da aynı derecede öneme sahiptir ve IPv6 gibi protokolleri desteklemektedir.
2	Güvenilirlik	Güvenlik günümüz bilgisayar sistemlerinde olduğu gibi IoT kavramında da en sık aranan ve tartışılan konudur. IoT'nin donanım ve yazılım birimleri üzerinde kontrol sağlaması gerekmektedir. Sistem arızaları bir yana izinsiz girişlerden kaynaklanması muhtemel bir eksiklik bu sistem için en büyük tehditlerden birisidir.
3	Hareketlilik	Günümüz uygulamalarının çoğu mobil arayüzler üzerine geliştirildiğinden hareketliliğin sağlanması IoT için bir zorluktur.
4	Veri gizliliği	IoT alanında bulunan bir diğer zorluk veri gizliliğidir. Kaynaktan hedefe taşınan tüm veriler internet ortamında taşındığından veri güvenliği için her parametre detaylı şekilde incelenmeli ve yönetilmelidir.

Tablo 6 (devam). IoT Açık Konular

Sıra	Açık Konu	Açıklama
5	Ağ yönetimi ve kaynakları	IoT'nin de temelini oluşturan cihazların internete bağlanması önümüzdeki yıllarda da artarak devam edeceğinden çeşitli ağlar üzerinden çok sayıda cihazı yönetmek ve bu cihazlara ait kaynakları yönetmek bir diğer zorluk olacaktır.
6	Ölçeklenebilirlik	IoT ile internete bağlanacak cihaz sayısında büyük artış oluşmaktadır ve artarak devam edecektir. Mevcut alt yapının üzerinde çalışan güncel cihazlar etkilenmeden yeni cihaz eklenebilir hale gelmesi gerekmektedir. Bu da aslında alt yapı açısından IoT'nin karşılaşacağı zorlu aşamalardan bir tanesidir.
7	Birlikte çalışabilirlik	Günümüzde kullanılan birçok cihaz IoT ile internete bağlanacaktır ve heterojen çok sayıda cihaz ve farklı platformlar arasında entegrasyon ve senkronizasyon gerekecektir. Bu nedenle birlikte çalışabilirlik IoT üzerinde baskı oluşturan bir diğer kavramdır.
8	Güvenlik ve gizlilik	IoT kavramı ile internet üzerinden bilgi iletimi hayatımıza girdiğinden veri güvenliği bu alandaki en önemli kriterlerden birisi olarak karşımıza çıkmaktadır.
9	Standardizasyon süreci	IoT konusunda tüm donanım ve yazılım firmalarının uygulayacağı yönerge ve disipline yanı standardizasyona ihtiyaç bulunmaktadır.

Ayrıca IoT kavramının henüz yeni sayılabilecek bir teknolojik gelişme olması sebebiyle aşılması gereken bazı sorunları ve zorlukları da bulunmaktadır. Bu sorunlar ve zorluklar liste halinde sunulmuştur.

- 1- IoT Mimarisinin tam olarak anlaşılması: SOA'daki en büyük zorluk hizmet sağlayıcılarının ve alıcılarının birbirleriyle anlamlı bir şekilde iletişim kurmalarını zorunlu hale getirmektir.
- 2- İletişim ara yüzünü oluşturmak için doğru teknolojinin belirlenmesi: Bu noktada zorluk, bir varlıkla benzersiz bir tanımlayıcı eşlemektir öyle ki belirsizlik olmadan tanımlanabilir ve geri alınabilir durumda olsun.
- 3- Verimli iletişim ara yüzünün oluşturulması: İyi yönlendirilmiş bir iletişim kurmak istenildiğinde cihazların nesnelere uygun yerleştirilmesi, kısıtlamasız iletişim ortamı, maliyet ve iletişim modeli gibi temel kavramlarda sorunlar yaşanmaktadır.
- 4- Ağ teknolojisinin doğru belirlenmesi: Fiziksel nesnelere erişmek ve onları internet ortamına taşımak için doğru ağ teknolojisinin belirlenmesi.

Günümüz IoT kavramı cihazların internet üzerinden eşlenmesi, veri aktarılması ve yönetilmesi etrafında konumlandırılmıştır. Doğru teknolojilerin tanımlanmasına ilişkin yapılan çalışmalara (Khan et al. 2012) dayalı olarak IoT'de karşılaşılan en temel sorunlar aşağıda listelenmiştir.

- Kesintisiz ağ bağlantısı.
- Kesintisiz operasyonel hizmet.
- Birbirine taşınabilirlik.
- Bilgi Gizliliği.
- Nesnelerin fiziksel güvenliği.
- Veri gizliliği.
- Veri şifreleme.

Çalışma kapsamında da görüldüğü üzere IoT kavramı son yıllarda uzun yol almıştır ve gelecek vadetmektedir. Sürekli artan IoT talepleri düşünüldüğünde gelecekte yapılması gereken çalışmalar ve cevaplanması gereken sorular büyük önem arz etmektedir.

- 1- İnternet üzerinden eklenen çok çeşitli IoT cihazları için bir sonraki büyük adım ne olabilir?
- 2- Yeni nesil bilgi sistemleri IoT ile senkronize bir şekilde nasıl çalışacak?
- 3- Yeni kavramlar karmaşıklığın ve veri hacminin üstesinden nasıl gelecek?
- 4- Gelecek neslin küresel iş ve ticaretini hangi IoT iş modeli yönetecek ve yönlendirecek?
- 5- Nesnelere yakın gelecekte iletişim için yalnızca İnternet alt yapısına mı güvenecekler?
- 6- IoT'den sonra hangi çağ başlayacak?

10. Sonuç

Teknolojik gelişmeler günden güne insan hayatındaki alanını genişletmiş ve vazgeçilmez hale gelmiştir. Klasik internet kavramı sonrasında nesnelere internet dünyasının kapılarını açan nesnelere interneti IoT kavramı hayatımıza girmiştir. Bu kavram aracılığıyla hayatımızda yer alan tüm cihazların internet üzerinden yönetilmesi, veri aktarımı yapması, kontrol edilmesi hedeflenmektedir. Bu çalışma kapsamında IoT alanında geçmişten günümüze kadar yapılan literatür çalışmaları incelenmiş, IoT kavramının tüm detayları tanımlanmış ve IoT kavramına temel bir bakış gerçekleştirilmiş, klasik internetin nasıl IoT kavramına evrildiği tartışılmış, IoT'nin hedefleri tanımlanmış, IoT'nin kullandığı iletişim teknolojileri ve alt yapıları detaylı şekilde analiz edilmiş, IoT'nin uygulama alanları ve uygulamaları incelenmiş ve bu kavramda yer alan sorunlar, karşılaşılan zorluklar incelenmiş ve gelecekte karşılaşılabilecek sorunlar belirlenmiştir.

Referanslar

- Abou-Zahra, Shadi, Judy Brewer, and Michael Cooper. 2017. "Web Standards to Enable an Accessible and Inclusive Internet of Things (IoT)." Pp. 1–4 in *Proceedings of the 14th Web for All Conference on The Future of Accessible Work - W4A '17*. New York, New York, USA: ACM Press.
- Agrawal, Shashank and Dario Vieira. 2013. "A Survey on Internet of Things - DOI 10.5752/P.2316-9451.2013v1n2p78." *Abakós* 1(2).
- Al-Fuqaha, Ala, Mohsen Guizani, Mehdi Mohammadi, Mohammed Aledhari, and Moussa Ayyash. 2015. "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications." *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 17(4):2347–76.
- Al-Sarawi, Shadi, Mohammed Anbar, Kamal Alieyan, and Mahmood Alzubaidi. 2017. "Internet of Things (IoT) Communication Protocols: Review." Pp. 685–90 in *2017 8th International Conference on Information Technology (ICIT)*. IEEE.
- Atzori, Luigi, Antonio Iera, and Giacomo Morabito. 2010. "The Internet of Things: A Survey." *Computer Networks* 54(15):2787–2805.
- Bravo, Jose, Ramon Hervas, Salvador W. Nava, Gabriel Chavira, and Carlos Sanchez. n.d. "Towards Natural Interaction by Enabling Technologies: A Near Field Communication Approach." Pp. 338–51 in *Constructing Ambient Intelligence*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Centenaro, Marco, Lorenzo Vangelista, Andrea Zanella, and Michele Zorzi. 2016. "Long-Range Communications in Unlicensed Bands: The Rising Stars in the IoT and Smart City Scenarios." *IEEE Wireless Communications* 23(5):60–67.
- Doppler, Klaus, Mika Rinne, Carl Wijting, Cassio Ribeiro, and Klaus Hugel. 2009. "Device-to-Device Communication as an Underlay to LTE-Advanced Networks." *IEEE Communications Magazine* 47(12):42–49.
- Duan, Kang-Kang and Shuang-Yin Cao. 2020. "Emerging RFID Technology in Structural Engineering – A Review." *Structures* 28:2404–14.
- Evans, Martin. 2013. *Arduino in Action*.
- Geng Wu, S. Talwar, K. Johnsson, N. Himayat, and K. D. Johnson. 2011. "M2M: From Mobile to Embedded Internet." *IEEE Communications Magazine* 49(4):36–43.
- González, Gustavo Ramírez, Mario Muñoz Organero, and Carlos Delgado Kloos. 2008. "Early Infrastructure of an Internet of Things in Spaces for Learning." Pp. 381–83 in *2008 Eighth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*. IEEE.
- Gubbi, Jayavardhana, Rajkumar Buyya, Slaven Marusic, and Marimuthu Palaniswami. 2013. "Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions." *Future Generation Computer Systems* 29(7):1645–60.
- He, Debiao, Neeraj Kumar, and Jong-Hyoun Lee. 2015. "Secure Pseudonym-Based near Field Communication Protocol for the Consumer Internet of Things." *IEEE Transactions on Consumer Electronics* 61(1):56–62.
- Hodges, Steve, Stuart Taylor, Nicolas Villar, James Scott, Dominik Bial, and Patrick Tobias Fischer. 2013. "Prototyping Connected Devices for the Internet of Things." *Computer* 46(2):26–34.
- Jia, Xiaolin, Quanyuan Feng, Taihua Fan, and Quanshui Lei. 2012. "RFID Technology and Its Applications in Internet of Things (IoT)." Pp. 1282–85 in *2012 2nd International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet)*. IEEE.
- Juels, Ari, Ronald L. Rivest, and Michael Szydlo. 2003. "The Blocker Tag." P. 103 in *Proceedings of the 10th ACM conference on Computer and communication security - CCS '03*. New York, New York, USA: ACM Press.

- Khan, Rafiullah, Sarmad Ullah Khan, Rifaqat Zaheer, and Shahid Khan. 2012. "Future Internet: The Internet of Things Architecture, Possible Applications and Key Challenges." Pp. 257–60 in *2012 10th International Conference on Frontiers of Information Technology*. IEEE.
- Khanna, Abhishek and Sanmeet Kaur. 2020. "Internet of Things (IoT), Applications and Challenges: A Comprehensive Review." *Wireless Personal Communications* 114(2):1687–1762.
- Lea, Perry. 2018. *Internet of Things for Architects: Architecting IoT Solutions by Implementing Sensors, Communication Infrastructure, Edge Computing, Analytics, and Security*. Packt Publishing.
- Ma, Hua-Dong. 2011. "Internet of Things: Objectives and Scientific Challenges." *Journal of Computer Science and Technology* 26(6):919–24.
- Madakam, Somayya, R. Ramaswamy, and Siddharth Tripathi. 2015. "Internet of Things (IoT): A Literature Review." *Journal of Computer and Communications* 03(05):164–73.
- Meddeb, Aref. 2016. "Internet of Things Standards: Who Stands out from the Crowd?" *IEEE Communications Magazine* 54(7):40–47.
- Medeiros, Evan S. and M. Taylor Fravel. 2003. "China's New Diplomacy." *Foreign Affairs* 82(6):22.
- Ogonji, Mark Mbock, George Okeyo, and Joseph Muliaro Wafula. 2020. "A Survey on Privacy and Security of Internet of Things." *Computer Science Review* 38:100312.
- Perera, Charith, Arkady Zaslavsky, Peter Christen, and Dimitrios Georgakopoulos. 2014. "Context Aware Computing for The Internet of Things: A Survey." *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 16(1):414–54.
- Rodrigues, André, Tiago Camilo, Jorge Sá Silva, and Fernando Boavida. 2013. "Diagnostic Tools for Wireless Sensor Networks: A Comparative Survey." *Journal of Network and Systems Management* 21(3):408–52.
- Said, Omar and Mehedi Masud. 2013. "Towards Internet of Things: Survey and Future Vision." *International Journal of Computer Networks (IJCN)* 5(1).
- Santucci, Gérald. 2010. *Vision and Challenges for Realising the Internet of Things*.
- Scully, Pdraig. 2018. "The Top 10 IoT Segments in 2018 – Based on 1,600 Real IoT Projects." Retrieved November 16, 2020 (<https://iot-analytics.com/top-10-iot-segments-2018-real-iot-projects/>).
- Shajahan, Altaf Hamed and A. Anand. 2013. "Data Acquisition and Control Using Arduino-Android Platform: Smart Plug." Pp. 241–44 in *2013 International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability*. IEEE.
- Tso, Fung Po, David R. White, Simon Jouet, Jeremy Singer, and Dimitrios P. Pazaros. 2013. "The Glasgow Raspberry Pi Cloud: A Scale Model for Cloud Computing Infrastructures." Pp. 108–12 in *2013 IEEE 33rd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops*. IEEE.
- Villa-Henriksen, Andrés, Gareth T. C. Edwards, Liisa A. Pesonen, Ole Green, and Claus Aage Grøn Sørensen. 2020. "Internet of Things in Arable Farming: Implementation, Applications, Challenges and Potential." *Biosystems Engineering* 191:60–84.
- Vinnter. n.d. "Enterprise IoT: Why Securing IoT Devices Needs To Be the Number One Priority." Retrieved (<https://vinnter.se/enterprise-iot-why-securing-iot-devices-needs-to-be-the-number-one-priority/>).
- Weber, Rolf H. and Romana Weber. 2010. *Internet of Things*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Welbourne, Evan, Leilani Battle, Garret Cole, Kayla Gould, Kyle Rector, Samuel Raymer, Magdalena Balazinska, and Gaetano Borriello. 2009. "Building the Internet of Things Using RFID: The RFID Ecosystem Experience." *IEEE Internet Computing* 13(3):48–55.
- Whitmore, Andrew, Anurag Agarwal, and Li Da Xu. 2015. "The Internet of Things—A Survey of Topics and Trends." *Information Systems Frontiers* 17(2):261–74.
- Wilkinson, Glenn. 2014. "Digital Terrestrial Tracking: The Future of Surveillance." in *DefCon22*.



Multi Depth V-Net Model ile 3 Boyutlu Böbrek ve Tümör Segmentasyonu

3D Kidney and Tumor Segmentation with Multi Depth V-Net Model

Fuat Türk¹ , Murat Lüy² , Necaattin Barışçı³ 

¹Bilgisayar Müh./Fen Bilimleri Ens. Kırıkkale Üniversitesi, 71450 Kırıkkale, Türkiye

²Elektrik - Elektronik Müh. Kırıkkale Üniversitesi, 71450 Kırıkkale, Türkiye

³Bilgisayar Müh. Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

Başvuru/Received: 10/10/2020

Kabul / Accepted: 01/12/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2020

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2020

Özet

Böbrek kanseri günümüzde hızla yayılan önemli bir kanser türüdür. Son yıllarda, böbrek kanseri için birçok tedavi yöntemi geliştirilmekle birlikte mevcut çalışmalar halen devam etmektedir. Bu çalışmalar, böbrek kanseri hastalarının hayatlarına yeni bir umut sunan tedavi bilgilerini mümkün kılmaktadır. Çalışmalar incelendiğinde tıbbi segmentasyonda önemli bir alternatif gibi görülmektedir. Hastalık sinsi ilerleyebilmekle beraber bazen son evreye kadar hastalarda ciddi bir şikâyet bile olmayabilir. Bu yüzden segmentasyon erken tanı ve teşhis için önem arz etmektedir. Bu çalışmada da hekimlere yardımcı olabilmek amacıyla düşünülmüş ve hazırlanmıştır. Burada Multi Depth V-Net modeli üzerinde iyileştirmeler yapılarak başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Multi Depth V-Net model ve V-Net model böbrek segmentasyonu için sırasıyla 0,949 ve 0,944 zar katsayısı, tümör segmentasyonu için de 0,841 ve 0,830 zar katsayısına ulaşmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda böbrek ve tümör segmentasyonu için V-Net modellerin uygulanabilir ve doğru sonuçlar verebildiğini söyleyebiliriz.

Anahtar Kelimeler

“Derin öğrenme, Böbrek kanseri, Böbrek Tümörü, V-Net model”

Abstract

Kidney cancer is an important type of cancer that spreads rapidly today. Although many treatment methods for kidney cancer have been developed in recent years, current studies are still ongoing. These studies enable treatment information that offers new hope to the lives of kidney cancer patients. When the studies are examined, it seems to be an important alternative in medical segmentation. Although the disease can progress insidiously, sometimes patients may not even have a serious complaint until the last stage. Therefore, segmentation is important for early diagnosis and diagnosis. In this study, it has been prepared in mind in order to help physicians. Here, successful results were obtained by making improvements on the Multi Depth V-Net model. The membrane coefficient of 0.949 and 0.944 for Multi Depth V-Net model and V-Net model kidney segmentation, and 0.841 and 0.830 for tumor segmentation, respectively. In line with the data obtained, we can say that V-Net models for kidney and tumor segmentation can be applied and give accurate results.

Key Words

“Deep learning, Renal Tumor, Kidney cancer, V-Net Model”

1. Giriş

Böbrek tümörleri en sık görülen üçüncü ürolojik kanserdir ve yetişkinlerde ortaya çıkan tüm kanserlerin yaklaşık %2-3'ünü oluşturmaktadır. Renal Hücreli Kanser (Renal Cell Carcinom -RCC) en yaygın histolojik alt tiptir ve kötü huylu böbrek tümörlerinin yaklaşık %85'ini oluşturmaktadır (Jernal vd., 2010). Çoğu böbrek kitlesi asimptomatiktir yani belirti göstermemektedir. Bu nedenle tespit edilmesi zor ve genellikle tesadüfidir. Bununla birlikte yan ağrı ve ele gelen kitle gibi klinik semptomlar nadir de olsa görülmektedir. Son yıllarda asimptomatik, küçük hacimli lokalize böbrek tümörlerinin, görüntüleme yöntemlerinin rutin kullanımına bağlı olarak tespit edilme sıklığının önemli ölçüde arttığı görülmüştür. (Chow vd., 1999).

Böbrek tümörleri iyi huylu ve kötü huylu tümörler olarak sınıflandırılmaktadır. İyi huylu büyümenin kanserle hiçbir ilgisi olmamasına rağmen, toplumda böbrek kanseriyle bağlantısı olduğuna dair yanlış bilgiler bulunmaktadır.

Böbrek kanseri denilen kötü huylu tümör, böbrekteki bir dizi hücrenin kontrolsüz çoğalması ve böbrekte anormal bir kitle ile sonuçlanması sonucu oluşmaktadır. Tanı genellikle tam abdominal bilgisayarlı tomografi ürografi (Computed Tomography-Urography – CTU), abdominal bilgisayarlı tomografi (Computed Tomography - CT) veya başka şikayetleri olan hastalarda yapılan abdominal Manyetik Rezonans (Magnetic resonance – MR) ile konulmaktadır (Türk vd., 2020).

Bazı hastalar kanser vücudun diğer bölgelerine metastaz yapmadan önce teşhis edilirken, diğer hastalarda metastatik yayılma ilk kanser teşhis edildiğinde meydana gelmektedir.

İlgili Çalışmalar

Chen Li ve arkadaşları, tıbbi görüntü segmentasyonu için derin öğrenmeye dayalı bir model (ANU-Net) segmentasyon ağı geliştirdiler. Doktorların organ lezyonlarını teşhis ve tedavi etmesine yardımcı olmak için otomatik bir tıbbi görüntü segmentasyon modelinin gerekli olduğunu, ayrıca hedef organların düzensiz şekilleri nedeniyle tıbbi segmentasyonun zor bir iş olduğunu belirtmişlerdir. Önerilen ağ modeli derinlemesine kontrol edilen bir kodlayıcı-kod çözücü mimarisine ve yeniden tasarlanmış yoğun atlama bağlantısına sahiptir. ANU-Net segmentasyon ağı, ağ yapısını iç içe kıvrımlı bloklarla oluşturur, ardından çıkarılan özellikler bir seçimle birleştirilebilir. Bu ANU-Net modeli, %90,10'luk bir Zar Benzerlik Katsayısı ile dört tür tıbbi görüntü segmentasyon görevi gerçekleştirmiştir (Li vd., 2020).

Nithya ve arkadaşları, yapay sinir ağları kullanarak böbrek hastalıklarının tespiti ve segmentasyonu için bir yöntem önermişlerdir. Ultrason görüntülemenin böbrek taşı tespiti, cerrahi ve tedavi için segmentasyonda önemli bir rol oynadığını vurgulayarak, ultrason görüntülerinde böbrek taşı segmentasyonunun klinik uygulamada genellikle manuel olarak yapıldığını ifade etmişlerdir. Girdi görüntüsündeki gürültüyü ortadan kaldıran yazarlar, bunu yapay sinir ağları kullanarak sınıflandırdılar, son olarak taşları ve tümörleri %99,61'lik bir başarı oranıyla ayrı ayrı bölümlere ayırdılar (Nithya vd., 2020).

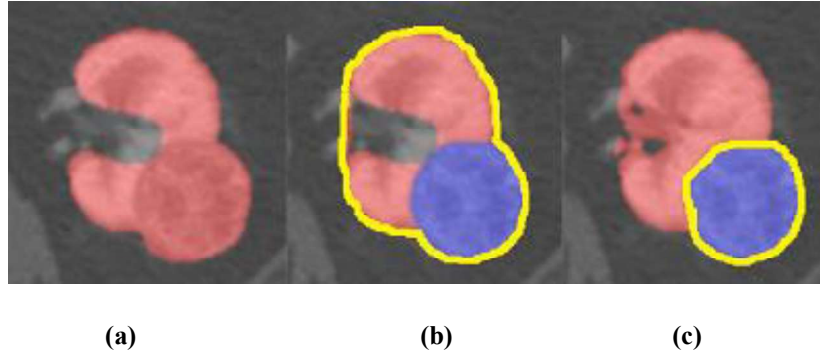
Wenshuai Zhao ve arkadaşları, böbrek ve tümör segmentasyonu için 3D U-Net tabanlı bir mimari geliştirdiler. Klinik analiz sırasında elde edilen CT görüntüleri incelenerek hekimler tarafından segmentasyon yapıldığını bildirdiler. Ayrıca, bu sürecin zor olduğunu ve daha önceki deneyim eksikliği durumunda sistemin başarısız olabileceğini savundular. Bu nedenle U-Net tabanlı mimari, daha basit bir mimarinin karmaşık modellerden daha başarılı olabileceği argümanı ile böbrekleri bölümlere ayırmak için geliştirildi. MSS U-Net adlı bu mimariyi KiTS19 zorlamasında test ettiler, sırasıyla böbrek ve tümör zar katsayıları olan 0.969 ile 0.805 değerlerini buldular (Zhao vd., 2020).

Isensee ve arkadaşları, mevcut alan bilgisini yoğunlaştıran, temel mimariyi farklı veri kümeleri ile bölümlenme görevlerine aktarmak için gerekli temel kararları özerk olarak veren, bir derin öğrenme çerçevesi olan nnU-Net'i önermişlerdir. Bu model, yeni bir ağ yapısı eklemeyen sistemin karmaşık yapısını temizleyerek sistematik bir yaklaşım kullanarak sistemi daha basit ve düzenli hale getirme ilkesine dayanmaktadır. Yazarlar, odak noktası sadece zar katsayısı olduğu için modelin yüksek performans gerektiren durumlarda eksiklikleri olabileceğini belirtmişlerdir. Bu eksik işlevler bazı hiperparametrelerin manuel olarak ayarlanması gerektirebileceğini ifade etmişlerdir. Bu nedenle nnU-Net modeli manuel olarak eklemeler yapılarak yarı otomatik bir sisteme dönüştürülebilmekte, bu sayede modelin eksiklikleri dışarıdan müdahale ile giderilerek ağ performansını daha başarılı hale getirilmektedir. (Isensee vd., 2019).

2. Materyal ve Yöntem

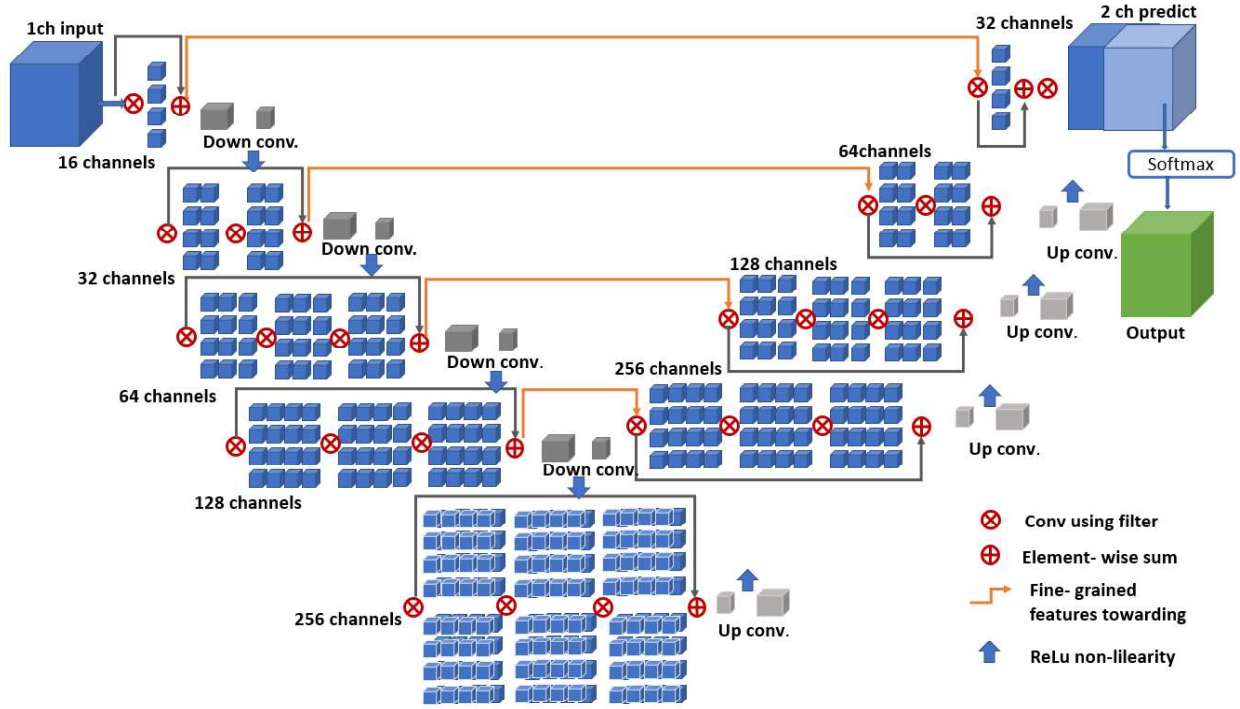
2.1. Veri Seti

Bu çalışmada, Kits19 veri seti kullanılarak hastaların klinik özellikleri ve görüntüleme verileri toplandıktan sonra böbrek ve tümör sınırlarının manuel olarak tanımlanması yapılmıştır. Manuel segmentasyon yöntemi ile toplam 210 veri manuel olarak çizilmiştir. Böbrekleri gösteren dilim sayısı hasta başına yaklaşık 50 olacak şekilde ayarlanmıştır (Heller vd., 2019). Şekil 1 de, veri setinde manuel bölümlenme ile çizilmiş bir böbreği gösterilmektedir. Veri seti erişimi halka açıktır ve cancer imaging archive sayfası üzerinden indirilebilir durumdadır (Cancer Imaging Archive, 2020).



Şekil 1. (a): Böbrek ve tümörlü veri, (b): Böbrek ve tümör çizilmiş veri, (c): Sadece tümörlü veri

2.2. V-Net Mimarisi



Şekil 2. V-Net mimarisi

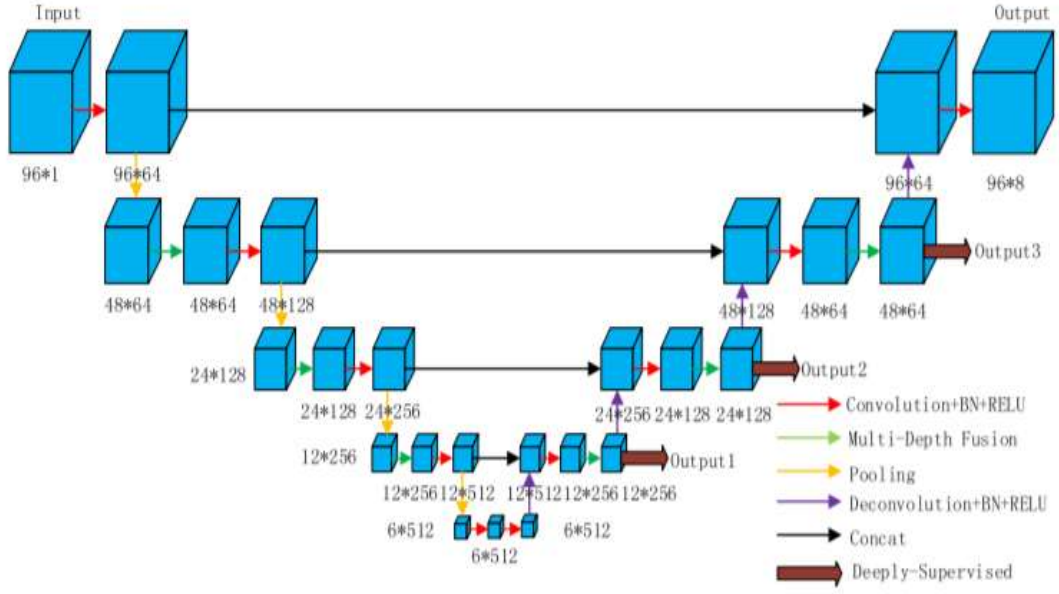
Şekil 2’de klasik V-Net mimarisinin ağ yapısı gösterilmektedir. Ağ mimarisi, temel U-Net mimarisinde olduğu gibi kodlama ve kod çözme bölümlerinden oluşmaktadır (Türk vd., 2020). U-Net mimarisinin bir türevi olan V-Net mimarisinin U-Net mimarisinden farkı, CT görüntülerinde organ ve tümör tanımlamalarının (prostat ve böbrek gibi) zor olduğu dokularda kullanıma uygun hacimsel bir tasarıma sahip olmasıdır (Millietari vd., 2016).

V-Net mimarisi, doğru yolu izleyerek özellikleri çıkarmak ve çözünürlüğü azaltmak için evrişimli bir yapıya sahiptir. Kodlama süreci, farklı çözünürlüklerde farklı aşamalara ayrılmıştır. Her aşama bir ila üç arasında evrişimli katmanlardan oluşan bir yapıdır. Bu yapıda, her aşama artık blok (residual blok) ile öğrenecek şekilde düzenlenmektedir. Verilerin çözünürlüğü, farklı aşamalarda model boyunca ilerledikçe azalmaktadır.

V-Net’in kodlama bölümünde, her aşamada özellik kanallarının sayısı ikiye katlanmakta ve her katman, önceki katmandan iki kat daha yüksek özellik seti hesaplamaktadır. Modelin ağ yapısı nedeniyle, özellik kanallarının sayısını iki katına çıkarmak için evrişimli yapı kullanılmıştır. Bilindiği gibi, klasik havuzlama yöntemleri bazen bölümlenme işlemi sırasında önemli ayrıntıları göz ardı etmektedir, bu nedenle V-NET ağındaki evrişimli yapı bundan kaçınmak için kullanılmaktadır.

Aşağı yöndeki örnekleme ile girdi olarak iletilen verinin boyutu küçültülmekte ve alıcı kısmına iletmektedir (Zeiler&Fergus, 2014). Aşağı yönde örnekleme, girdi olarak sunulan sinyalin boyutunu azaltmamıza ve sonraki ağ katmanlarında hesaplanan özelliklerin alıcı alanını artırmamıza izin verir. Ağın sol kısmının aşamalarının her biri, bir önceki katmandan iki kat daha yüksek olan bir dizi özelliği hesaplar. Ağın sağ kısmı, iki kanallı bir hacimsel segmentasyon çıkarmak için gerekli bilgileri toplamak ve bir araya getirmek için özellikleri çıkarır ve daha düşük çözünürlüklü özellik haritalarının uzamsal desteğini genişletir. En son evrişimli katman, $1 \times 1 \times 1$ çekirdek boyutuna sahip olan ve giriş hacmi ile aynı boyutta çıktılar üreten softmax fonksiyonundan geçirilen bir katman yapısına dönüştürülür.

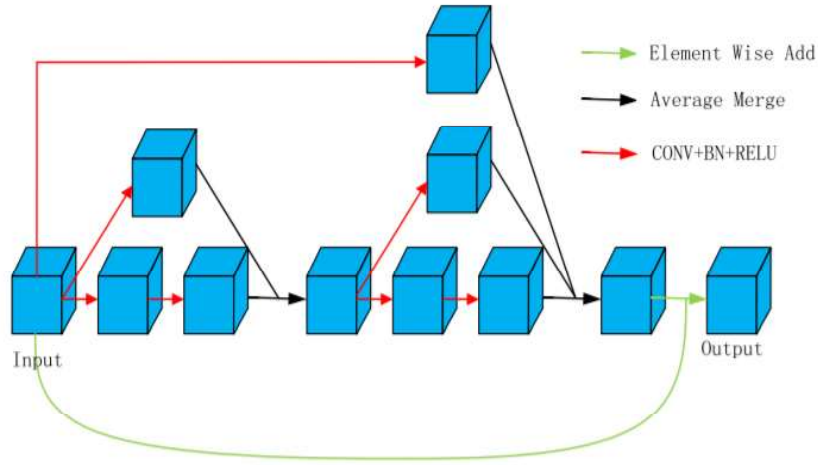
2.3. Multi Depth V-Net Mimarisi



Şekil 3. Multi Depth V-Net mimarisi

Şekil 3'te Multi Depth V-Net mimari yapısı gösterilmiştir. Derinlemesine denetlenen mekanizma, gizli katmanda ek yardımcı tahminler enjekte etmeyi ifade etmektedir. Ağdaki yukarı örnekleme modülünde derinlemesine denetlenen toplam üç şube kullanılmıştır. Derinlemesine denetlenen her dalda, öznetelik haritası ilk olarak öznetelik haritası giriş katmanı ile aynı çözünürlüğe geri yüklenene kadar ters evrişimle (çekirdek boyutu $3 \times 3 \times 3$) genişletilmiştir. Özellik haritasının boyutu, her ters evrişim işleminden sonra iki katına çıkmaktadır. Sonraki adımda her şubeye kayıp fonksiyonu uygulanmıştır. Ağ eğitilirken, derin denetim dalı ve ana daldaki kayıp fonksiyonunun ağırlıklı toplamının en aza indirilmesi gerekir (Ronneberger vd., 2015).

Derinlemesine denetlenen mekanizma, eğitim örneklerin yetersiz olması durumunda güçlü bir düzenleme işlevi görebilmekte ve ağın yakınsama hızını artırmaktadır (Chengqin vd., 2019).



Şekil 4. Çok derinlikli füzyon bloğunun ayrıntılı diyagramı.

(Siyah çizgi, farklı derinliklerdeki özellik haritalarını birleştirmek için eleman bazlı ortalama işlemlerini göstermektedir. Yeşil çizgi ise artık bir blok gibi çalışan, eleman bazlı ekleme ile birleştirme işlemleri anlamına gelmektedir.) Buradaki yapıda artık özellik haritaları füzyonu kullanılmıştır. Çok derinlikli füzyon bloğunun yapısı Şekil 4'te gösterilmektedir. Evrişim çekirdeklerinin boyutu, $3 \times 3 \times 3$ 'e ve adım 1'e ayarlanmıştır (Larson vd., 2016).

Teorik olarak, evrişim işlemi ne kadar çok uygulanırsa, özellik haritasının alacağı daha büyük bir alıcı alan meydana gelmektedir. Örneğin, her $3 \times 3 \times 3$ evrişim işlemine Adım 1 uygulanırsa, iki evrişim işleminden sonra özellik haritasındaki her noktanın alıcı alanı $5 \times 5 \times 5$ olacaktır. Daha sığ özellik haritası, görüntü hakkında daha ayrıntılı bilgi yakalayabildiğinden özellik haritalarını

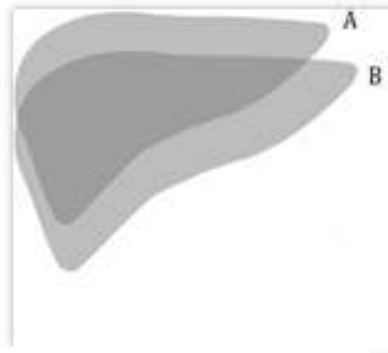
çeşitli derinliklerle sürekli olarak birleştirerek bağlam bilgisini yakalamak için daha geniş bir alıcı alan elde edebildiğinden, yeni bir özellik haritası uygulanmaktadır.

Bilgi, özellik haritalarını çeşitli derinliklerle sürekli olarak birleştirdiği için yeni özellik haritası hem yerel hem de küresel bilgileri içerecektir. Çok derinlikli füzyon bloğu basit bloklar ile karşılaştırıldığında, daha ayrıntılı bilgileri yakalayabilmektedir. Bu mimari, her derin özellik haritası oluşturulduğunda yüzeysel özellik haritalarından ayrıntılı bilgilerin alınmasını sağlar. Son olarak, uzun ve kısa yolların bu kombinasyonu daha hızlı tahminler elde edebilir ve gradyanları etkili bir şekilde yayabilirken, daha derin yollar daha iyi sonuçlar elde edebilir.

Ağın kod çözücü bölümünde iki kanallı hacimsel segmentasyon sağlanması amaçlanmaktadır. Bu nedenle gerekli bilgilerin elde edilmesi için özellik haritalarının desteği sağlanmaktadır. Ağ mimarisinin kodlayıcı bölümündeki her katmandan sonra girişlerin boyutunu artırmak için bir saptırma işlemi ve kod çözücü bölümündeki boyutları azaltmak için ise aynı işlemler ters yönde gerçekleştirilmektedir. Kodlayıcı fazının her aşamasından çıkarılan sinir ağının özellikleri, kod çözücü fazına aktarılır. Bu aktarım işlemi, kodlayıcı bölümünde kaybolacak küçük ayrıntıları toplamamıza ve segmentasyon için tahmini kaliteyi artırmamıza yardımcı olmaktadır (Sudre vd., 2017).

2.4. Değerlendirme Ölçütleri

Bu çalışmada tıbbi segmentasyon için önemli bir ölçüt olan zar benzerlik katsayısı (dice smilarity coefficient) değerleri referans alınmıştır. Şekil 5'te zar katsayısına ilişkin yapı gösterilmektedir (Chen vd., 2018).



Şekil 5. Zar benzerlik katsayısı

Zar katsayısı ölçütü, görüntü segmentasyon için gerçek yüzey alanı ile bizim hesapladığımız alan arasındaki farkın bir ölçüsüdür (Heller vd., 2019). Zar katsayısı hesabı Eşitlik 1'de verilmiştir.

$$\text{Dice}(A, B) = \frac{2|A \cap B|}{|A| + |B|} \quad (1)$$

3. Araştırma Bulguları

Görüntüleme ve kesin kanıt etiketleri anonimleştirilmiş bir NIFTI formatında sunulmuştur. Veri kümesindeki BT görüntüleri 16x256x256 olarak yeniden boyutlandırılmış ve piksel değerinin 0 ile 1 arasında normalleştirilmesi için 255 değerine bölünmüştür.

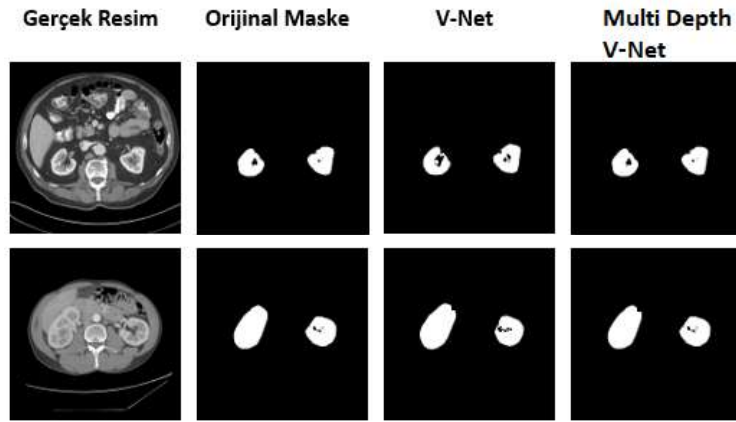
Veri seti toplam 210 hastadan alınan BT görüntülerden oluşmaktadır. 195 hasta verisi eğitim için, 15 hasta verisi ise test amaçlı kullanılmak üzere ayarlanmıştır. Eğitim ve test için veri ayırma işlemi rastgele olacak şekilde düzenlenmiştir. Model, öğrenme katsayısı 0.001 olarak ayarlanmış olan Adam Optimizer tarafından eğitilmiştir. Uygulanan modelin eğitimi NVIDIA Tesla V100 (32 GB, NVLink) GPU'lu bilgisayar sisteminde yaklaşık 120 saat sürmüştür ve eğitim sırasında TensorFlow kütüphanesinin özellikleri kullanılmıştır.

Yapılan bu çalışmada, oluşturulmuş olan ağ mimari modellerinin KiTS19 eğitim veri seti üzerinde çalıştırılması ile eğitim ve test sonuçlarından elde edilen Zar Benzerlik Katsayıları (dsc) Değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Doğrulama ve test sonuçları, mevcut V-Net modellerinin belirli bir başarı oranına ulaştığını göstermektedir. Ancak modeller incelendiğinde Multi Task V-Net modelinin daha yüksek zar katsayısına ulaştığı için klasik V-net modeline göre başarılı görünmektedir.

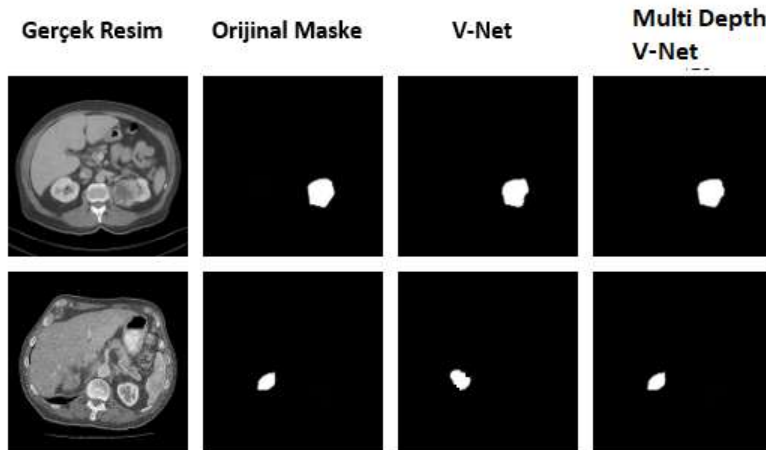
Tablo 1. Böbrek ve tümör etiketleri için test ve doğrulama sonuçları

Model	Böbrek zar katsayısı		Tümör zar katsayısı		Bileşik zar katsayısı
	dsc val.	dsc test	dsc val.	dsc test	Test
V-Net	0.855	0.944	0.902	0.830	0.887
Multi Depth V-Net	0.874	0.949	0.913	0.841	0.895

V-Net ve Multi Depth V-Net modellerinin böbrek segmentasyonu için kullanılan orijinal görüntüleri, maskeleri ve segmentasyon sonuçları Şekil 6.'da verilmiştir. V-Net modelleri yüksek eğitim ve test başarısına sahip olmasından dolayı sonuçlar birbirine çok yakın gözükmektedir. Ancak daha ayrıntılı incelenmesi durumunda Multi Depth V-Net modelinin daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

**Şekil 6.** Böbrek segmentasyon sonuçları

V-Net ve Multi Depth V-Net modellerinin böbrek tümör segmentasyonu için kullanılan orijinal görüntüleri, maskeleri ve segmentasyon sonuçları Şekil 7.'de verilmiştir. Tümör tespitleri için yapılan manuel segmentasyon sonuçları ile karşılaştırıldığında, Multi Task-V-Net modelinin V-Net modele göre daha başarılı olduğu görülmektedir.

**Şekil 7.** Tümör segmentasyon sonuçları

4. Tartışma ve Sonuçlar

Oluşturulan V-Net modeli ile Multi Depth V-net modelleri aynı ağ katmanları ve aynı parametreler kullanılarak test edilmiştir. Tasarlanmış her bir model için eğitim ve test işlemleri TÜBİTAK kurumunun truba sunucuları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Her iki ağ modeli de yaklaşık 120 saat süresince 100000 adım da eğitilmiştir.

Eğitim tamamlandığında her iki modelinde böbrek ve tümör segmentasyonu için belirli bir başarı seviyesine ulaştığı görülmektedir. Multi Depth V-net model, klasik V-Net modele göre mimaride yapılan iyileştirmeler sayesinde böbrek ve tümör

segmentasyonu için zar katsayısı hesabı dikkate alındığında daha başarılı olmuştur. Modelin ne kadar derin katman yapısına sahip olacağı son derece önemlidir ve uzman kişilerin yardımıyla belirlenmesinde fayda vardır. Çünkü aşırı derinlik ağı yormakta ve gereksiz işlem yüküne sebep olmaktadır. Bunu engellemek için mevcut V-Net modelleri üzerinde iyileştirmeler yapılabilir ya da hybrid bir sistem üzerinde çalışılabilir. Çalışılacak olan yeni ağ yapıları ile mevcut zar katsayısı hesabı için daha yüksek başarı oranları elde edilebileceği düşünülmektedir. İlave olarak gerçekleştirilecek modeller sayesinde esnek bir sistem mimarisinin elde edilemesiyle kanser ve segmentasyon tespiti için diğer bütün organ ve dokularda da kullanılabilir. Çoklu organ ve doku segmentasyonu içinde uyarlanabilir esnek sistemler oluşturulmasına katkı sağlayabilecektir.

Donanım ihtiyacı, eğitim sürelerinin uzun sürmesi gibi uygulamada görünen birtakım zorluklar olarak halen karışımımıza çıkmaktadır. Bunun için kullanılan optimizasyon yöntemleri ve ağ parametreleri üzerine birtakım iyileştirmeler yapılabilir.

Referanslar

Cancer Imaging Archive. Retrieved from. <https://wiki.cancerimagingarchive.net/pages/viewpage.action?pageId=61081171> , Ağustos, 2020.

Chen,S., Holger,R. Hirohisa,O., Masahiro, H., Yuichiro,,M., Kazunari, M.(2018). “On the influence of Dice loss function in multi-class organ segmentation of abdominal CT using 3D fully convolutional networks”. Open access: arXiv:1801.05912v1.

Chengqin Ye; Wei Wang; Shanzhuo Zhang; Kuanquan Wang. (2019). Multi-Depth Fusion Network for Whole Heart CT Image Segmentation.(IEEE).

Chow, WH., Devesa, SS., Warren, JL., et al. (1999). *Rising incidence of renal cell cancer in the United States*”, JAMA ,281:1628-31.

G. Larsson, M. Maire, and G. Shakhnarovich. (May 2016). “FractalNet: Ultra-deep neural networks without residuals.” [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1605.07648>.

Heller N., Isensee, F.,Klaus, H., et al., “The state of the art in kidney and kidney tumor segmentation in contrast-enhanced CT imaging: Results of the KiTS19 Challenge”, 2019.

Heller, N., Sathianathen, N., Kalapara, A., et al., (2019).” The KiTS19 Challenge Data: 300 Kidney Tumor Cases with Clinical Context”, CT Semantic Segmentations, and Surgical Outcomes, Minnesota University.

Isensee, F.; Jäger, P.F.; Kohl, S. A.; Petersen, J.; Maier-Hein, K.H.(2019). Automated Design of Deep Learning Methods for Biomedical Image Segmentation, Open Access: arXiv preprint arXiv:1904.08128.

Jemal, A., Siegel, R., Xu, J, Ward, E. (2010). “*Cancer statistics*”, CA Cancer J Clin. Vol. 60: pp. 277–300.

Li, C.; Tan, Y.; Chan, W.; Luo, X.; Yulin, H.; Gao, Y.; Li, F. (2020). ANU-Net: Attention- based Nested U-Net To exploit full resolution features for medical image segmentation. Computers & Graphics, 90, 11-20. [CroosRef]

Milletari F., Navab, N., Ahmadi, S.A.(2016). “V-net: fully convolutional neural networks for volumetric medical image segmentation”. In: 2016 Fourth International Conference on 3D Vision (3DV), IEEE, pp. 565–571.

Nithya,A.; Appathurai, A.; Venkatadric, N.; Ramjia, D.R.; Anna Palagan, C, (2020). Kidney disease detection and segmentation using artificial neural network and multi-kernel k-means clustering for ultrasound images, [CroosRef]

Ronneberger O., Fischer P., Brox T. (2015).” *U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation*”, In: Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention–MICCAI, pp. 234–241.

Sudre, C.H., Li W., Vercauteren, T., Ourselin, S., Cardoso, M.J. (2017). “Generalized Dice overlap as a deep learning loss function for highly unbalanced segmentations”, Deep Learning in Medical Image Analysis and Multimodal Learning for Clinical Decision Support. DLMIA, Lecture Notes in Computer Science, vol.10553, pp.240–248.

Türk F., Lüy M., Barişçi N. (2020). Kidney and Renal Tumor Segmentation Using a Hybrid V-Net-Based Model. *Mathematics* 2020, 8(10), 1772. [CroosRef]

Zeiler M.D., Fergus R., (2014). “*Visualizing and understanding convolutional networks*”. In: Computer vision–ECCV, pp. 818–833.

Zhao,W.; Jiang, D.; Queralt, J.P.; Westerlund, T. (2020). MSS U-Net: 3D segmentation of kidneys and tumors from CT images with a multi-scale supervised U-Net Informatics in Medicine, 19, 100357. [CroosRef]



Hipertansiyon Tahmini İçin Temel Bileşen Analizinin Kullanımı

Principal Component Analysis Using For Estimating Hypertension

Halil Murat Ünver¹  Yunus Kökver²  Aydın Çiftçi³ 

¹Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Müh. Bl. Kırıkkale

²Ankara Üniversitesi Elmadağ Meslek Yüksekokulu Elmadağ Ankara

³Kırıkkale Üniversitesi, Tıp Fakültesi İç Hastalıkları ABD Kırıkkale

Başvuru/Received: 06/02/2020

Kabul / Accepted: 02/12/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2020

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2020

Öz

Amaç: Otuz yaş ve üzerindeki 150 hastadan, hipertansiyona etki etmesi muhtemel bilgilerden; cinsiyet, yaş, lipid profili, trigliserid, vücut kütle indeksi, ürik asit ve sigara kullanımı verileri toplanmış ve bir hipertansiyon veritabanı oluşturulmuştur. Bu kişilerden 65'i sağlıklı, geriye kalan 85 kişi ise hipertansiyon hastasıdır. Bu veritabanından hipertansiyon hastalığının Temel Bileşen Analizi kullanılarak tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

Gereç ve Yöntem: Naive Bayes, Çok Katmanlı Algılayıcı Ağ (ÇKA), Karar Tablosu ve C4.5 sınıflandırma algoritmaları uygulanmış, ardından Temel Bileşenler Analizi uygulanarak hipertansiyon veritabanının boyutu indirgenmiş ve aynı sınıflandırma algoritmaları tekrar uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bulgular: Aynı şartlarda işleme sokulan algoritmalarından en başarılı sonucu %88 doğruluk oranıyla Naive Bayes sınıflandırıcısı vermiştir. Naive Bayes sınıflandırıcısını sırasıyla %85,33 başarı oranıyla Karar Tablosu algoritması, %82,67 başarı oranıyla ÇKA algoritmaları takip etmiştir. Hipertansiyon veritabanına TBA analizi uygulanıp, aynı şartlarda aynı algoritmalar tekrar işleme sokulup, TBA uygulanmayan sonuçlarla kıyaslandığında ise, C4.5 algoritması normalden %4 daha başarılı sonuç vererek en başarılı algoritma olmuştur. C4.5 algoritmasını sırasıyla %2,67 daha başarılı sonuç veren Karar Tablosu algoritması ve %1,33 daha başarılı sonuç veren ÇKA izlemiştir.

Sonuç: Naive Bayes sınıflandırıcı haricindeki tüm algoritmalarda Temel Bileşenler Analizi'nin sınıflandırma başarısını artırdığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler

"Hipertansiyon, temel bileşen analizi, veri madenciliği, karar ağacı"

Abstract

Aim: 150 patients which aged 30 years and over were exposed to possible hypertension; age, gender, lipid profile, body mass index, triglyceride, cigarette use and uric acid data are collected and hypertension database are created. 65 people is healthy, and the remaining one is suffering from hypertension. It is aimed to estimate the hypertension disease from this database using the Principal Component Analysis.

Material and Method: Decision Table, Naive Bayes, C4.5 and Multilayer Perceptron Network(MLP) classification algorithms are applied to this database, then the size of the hypertension database is reduced by applying Principal Component Analysis and the same methods are applied again and the results are compared.

Results: The most successful result of the algorithms that were processed under the same conditions gave Naive Bayes classifier with 88% accuracy. Naive Bayes classifier was followed by the Decision Table algorithm with success rate of 85.33%, and ÇKA algorithms with success rate of 82.67%. If the TBA analysis is applied to the hypertension database and the same algorithms are re-processed under the same conditions and the TBA is compared to the untreated results, the C4.5 algorithm is normally the most successful algorithm with 4% more successful results. The Decision Table algorithm, which yielded C4.5 algorithm with 2.67% more success rate respectively, and ÇKA which has a more successful result than 1.33%.

Conclusion: Algorithms except the Naive Bayes algorithm, improved their classification accuracy rate.

Key Words

"Hypertension, principal component analysis, data mining, decision tree logic,"

1. Giriş

Hipertansiyon rahatsızlığı, günümüzde birçok kişide gözlenen önemli bir sağlık problemidir. Hipertansiyon sinsi bir şekilde herhangi ciddi bir belirti oluşturmadan kişinin başta böbrekleri olmak üzere, kalp ve diğer organlarına ciddi zararlar verebilir. Her yıl hipertansiyon komplikasyonlarına bağlı olarak 9,4 milyon insan ölmektedir. Kalp rahatsızlıklarına bağlı ölümlerin yaklaşık %45'inden, inmeye bağlı ölümlerin ise yaklaşık %51'inden hipertansiyon doğrudan sorumludur. Hipertansiyona maruz kalma sıklığı yaşlanmayla beraber artmaktadır. İlerleyen zamanlarda birçok kişide rutin yapılan ölçümlerde rastlanabilir. Hipertansiyonun organlarda meydana getirdiği hasar ve ortaya çıkan komplikasyonların tedavi maliyetlerinin yüksek olması, hipertansiyonun erken teşhisinin önemini ortaya koymaktadır (*A global brief on hypertension | A global brief on Hyper tension*, 2013) .

Hipertansiyonu olan insanların yaklaşık olarak %95'inde bir neden olmaz, sadece risk faktörlerinden bahsedilebilir. Bu gruba primer hipertansiyon denilmektedir; %5'lik grupta kalan insanlarda ise hipertansiyonu başlatan bir neden vardır. Sekonder hipertansiyon olarak adlandırılan bu grubun büyük kısmını böbrek ve böbrek damar hastalıkları oluşturmaktadır (Carretero & Oparil, 2000).

Hipertansiyon ile ilgili literatürde birçok çalışma mevcuttur. Sınıflandırıcı algoritmalarla yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Yapılan çalışmada karar ağacı algoritmalarından CHIAD, C4.5, C5.0 kullanılmış, 127886 kayıt kullanılarak hipertansiyon tahmininde en etkili değişkenlerin vücut kütle indeksi, idrar proteini, kan glikozu, kolesterol değerleri ve yaş olduğu saptanmıştır (Chae, Ho, Cho, Lee, & Ji, 2001).

Diğer bir çalışmada, 15-64 yaş aralığındaki erkeklerin, belirlenen 5 tedavi çeşidinin hangi yaş aralığında daha etkin sonuç verdiği analiz için veri madenciliği algoritmaları kullanılmıştır (Almazayad, Ahamad, Siddiqui, & Almazayad, 2010).

Hipertansiyon hastalığı riskini tahmin etmek amacıyla yapılan çalışmada (Ture, Kurt, Turhan Kurum, & Ozdamar, 2005), sınıflandırma teknikleri performansı karşılaştırılmıştır. Retrospektif olarak yapılan çalışmada 3 karar ağacı, 4 istatistiksel yöntem, 2 yapay sinir ağı kullanılmış ve performansları karşılaştırılmıştır.

Siddiqui ve ark. (Siddiqui & Aljumah, 2014), Suudi Arabistan'da hipertansiyon hastaları üzerinde yapmış oldukları çalışmada veri madenciliği sınıflandırma tabanlı teknikleri kullanmışlar ve hipertansiyonla mücadelede en iyi yöntemin sigarayı bırakmak olduğunu görmüşlerdir. Sigaradan sonra sırasıyla en etkili mücadele yöntemlerinin egzersiz, diyet, kilo düzeni ve ilaç kullanımı olduğu belirlenmiştir.

Türk ve ark.'nın (Türk, Barışçi, Çiftçi, & Ekmekçi, 2015) yapmış oldukları çalışmada, 30 yaş ve üzeri 150 kişiden aldıkları verilerden, hipertansiyon sınıflandırması yapmışlar ve Multi Layer Perceptron ve Jordan Elman Neural Networks algoritmalarının başarısını karşılaştırmışlardır. Hipertansiyon tahmininde Jordan Elman Neural Networks algoritmasının daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Kökver ve ark.'nın (KÖKVER, BARIŞÇI, ÇİFTÇİ, & EKMEKÇİ, 2014) yaptıkları çalışmada hipertansiyon sınıflandırması için C4.5, Naive Bayes ve Çok Katmanlı Algılayıcı Ağlar kullanılmış ve C4.5 algoritmasının sınıflandırma başarısının daha iyi olduğu görülmüştür.

Çalışmanın kalan kısımları; materyal ve metot, bulgular, tartışma ve sonuç bölümlerinden oluşmaktadır.

2. Gereç ve Yöntem

Sistolik(yüksek) kan basıncının 140 mmHg ve üstü, diastolik (düşük) kan basıncımsa 90 mmHg ve üstü olması durumu hipertansiyon olarak tanımlanır (Alderman, 2004; Chalmers et al., 1999). Hipertansiyon hastalığına doğrudan veya dolaylı olarak birçok etken sebep olabilir. Bu çalışmada hipertansiyona en çok etki edebilecek parametreler 2 uzman hekim tarafından belirlenmiştir. Bu parametreler aşağıda açıklamalarıyla birlikte verilmiştir:

Yaş ve Cinsiyet: Çalışmada 30 yaş ve üzeri Kadın ve Erkeklerden veri alınmıştır.

Body Mass Index (BMI): Bir kişinin boyunun, kilosuna göre normal olup olmadığını gösteren bir kriterdir. Kişinin kilosunun, boyunun karesine bölünmesiyle elde edilir. Bu durum, Eşitlik 1'de gösterilmiştir.

$$BMI = \frac{\text{ağırlık(kg)}}{\text{uzunluk(m)}^2} \quad (1)$$

Sigara Kullanımı: Günlük tükettiği paket sayısı ile, sigara içtiği yıl sayısının çarpımıyla elde edilmiştir.

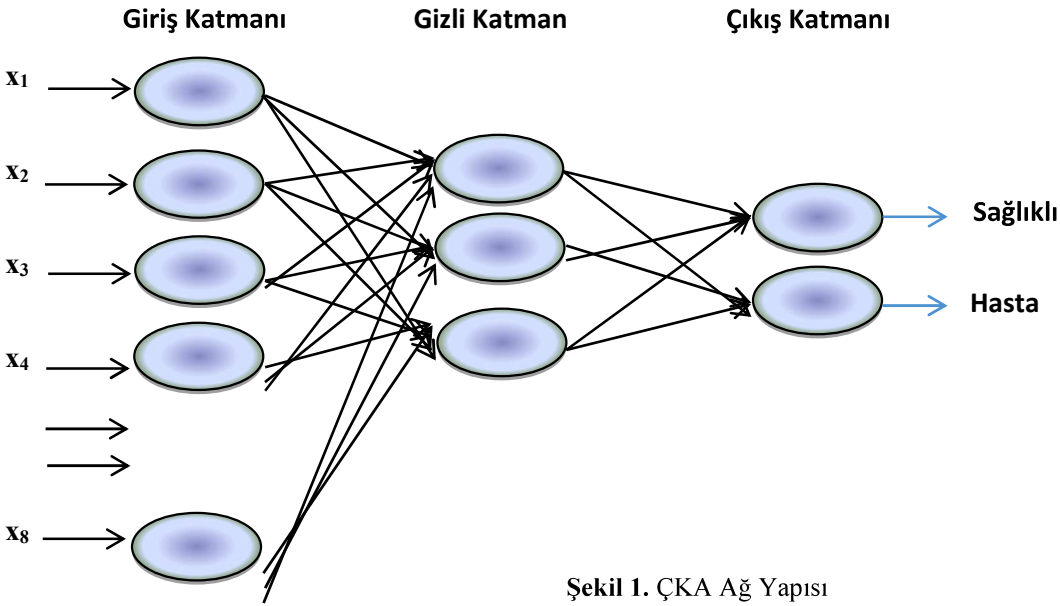
Ürik Asit: Ürik asit yüksekliği, hipertansiyona ve böbrekle bağlantılı damarlarda hasara neden olur.

Lipid Profili: Lipid profile olarak trigliserid, HDL ve LDL değerleri alınmıştır.

2.1. Çok Katmanlı Algılayıcı Ağı (ÇKA)

ÇKA, doğrusal olmayan olayları öğrenme yeteneğine sahip bir ağıdır. Bu ağ modeli özellikle mühendislik problemlerini olmak üzere birçok uygulamada sıkça kullanılmaktadır (Demuth, Beale, Jess, & Hagan, 2014; Sancho-Gómez, García-Laencina, &

Figueiras-Vidal, 2009). Ağın yapısı bir adet giriş katmanı, bir veya daha fazla sayıda ara katman ve bir adet çıkış katmanından oluşmaktadır (Haykin, 2007). Ağın yapısı Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. ÇKA Ağ Yapısı

Giriş Katmanı: Bu katmandaki nöronlar, dış dünyadan gelen bilgileri alır. Bu katmandaki her bir nöron, bir sonraki katmandaki tüm nöronlara bağlıdır. Bu nöronlardaki bilgiler, işleme tabi tutulmadan ilk olarak gizli katmana gönderilir (Bishop, 1995).

Gizli Katman: Gizli katmandaki her nöron önceki katman nöronlarının çıktılarını alır ve ağırlıklı toplamını, diğer bir deyişle net bilgi sinyalini oluşturur. Bu sinyal daha sonra bir sonraki katmandaki nöronlar tarafından kullanılmak üzere, bu iletim fonksiyonuna göre o nöronun çıkış sinyaline dönüştürülür.

Çıkış Katmanı: Çıkış katmanındaki her bir nöron, son gizli katmandan gelen bilgi sinyallerinin ağırlıklı toplamı olan bir net bilgi sinyali oluşturur. Bu net bilgi daha sonra bir etkinleştirme işlevinden geçirilir ve ağın bir çıktı sinyali elde edilir. Dış dünya bilgisi genellikle analog veridir, bu bilginin sayısallaştırılması ve bu sayısal bilginin [0, 1] ölçeğine dönüştürülmesi gerekir. Gizli katmanlarda ve çıkış katmanındaki nöronların çıktısını hesaplamak için, girdi net fonksiyonundan hesaplanmalıdır, bunun için ağırlık ve bilgi çarpımı kullanılır.

Bu durum Eşitlik 2'de verilmiştir.

$$Net_j = \sum_{i=1}^n W_{ij} F_i \quad (2)$$

Burada Net_j bu katmanın j-inci işleminin net giriş sinyali bilgisini ifade eder. F_i birinci katmandan i-inci nöronun çıkış bilgi sinyalidir ve W_{ij} önceki katmandaki i inci nöron ile o katmanın j inci nöronunun ağırlığıdır.

2.2. C4.5 Algoritması

C4.5 algoritması, bilgi entropisi kavramını kullanarak bir eğitim veri setinden karar ağacı üretir. Küçük veya basit karar ağaçlarını keşfetmeye çalışır (Azuaje, 2006). Temel durumlara göre algoritmanın eylemleri aşağıdaki gibidir:

- Listenin tüm örnekleri aynı sınıfta olduğunda, karar ağacı için o sınıfı seçmemizi söyleyen sadece bir yaprak düğüm oluşturur.
- Hiçbir özellik bir bilgi kazancı sağlamazsa, sınıfın beklenen değerini kullanarak ağaçtan daha yukarıya bir karar düğümü oluşturur.
- Daha önce görülmemeyen bir sınıfla karşılaşıldığında, beklenen değeri kullanarak ağaçtan daha yukarıya bir karar düğümü oluşturur (Sehn Körting & Sehn Korting).

2.3. Naive Bayes Algoritması

Veritabanı içerisindeki verilerin, önceden belirlenmiş sınıflara ait olma ihtimallerini tahmin eden bir sınıflandırıcıdır. İstatistikteki Bayes teoremine dayanmaktadır. Bu teorem; belirsizliğe sahip bir durum için model oluşturularak, bu durum ile ilgili gerçekçi gözlemler neticesinde belirli sonuçlar elde edilmesine imkan sağlar. Belirsizlik durumlarında karar verme bakımından çok başarılıdır (J. Wang, 2010).

Bayes Kuralı;

A ve B rastgele sayılar;

$$P(A | B) = P(B | A)P(A) / P(B) \quad (3)$$

P(A) : A olayının müstakil olasılığı

P(B) : B olayının müstakil olasılığı

$P(A | B)$: B olayının olduğu bilindiği zaman A olayının olma olasılığı
 $P(B | A)$: A olayının olduğu bilindiği zaman B olayının olma olasılığı

2.4. Karar Tablosu Algoritması

Karar tablosu algoritması sınıflandırma yapmak sebebiyle bir karar tablosu oluşturmaktadır. Eğitim setinin özneliklerine göre belirlenen karar tablosunu kullanarak kural tabanlı sınıflandırma yapar (G. Wang, Yu, COMPUTERS, & 2002, n.d.). Karar Tablosu; şartlar setini ve mantık tablo formatında kolayca ifade edilebilir olduğunda onların iş sonuçlarını göstermek için kullanılır. Karar Tablosu aynı zamanda ve farklı şartlar altında farklı işler içeren işlemlerin tutarlılığını ve bütünlüğünü doğrulamak için de kullanılır. Karar Tablosu, çok kompleks ve geniş şart setleri için Karar Ağaçları'ndan daha iyi çalışır.

2.5. Temel Bileşenler Analizi

Temel Bileşenler Analizi (TBA), sınıflandırma, imaj sıkıştırma vb. alanlarda kullanılan, bir değişkenler setinin varyans-kovaryans yapısını, lineer birleşimleri vasıtasıyla açıklayarak, boyutunun indirgenmesi ve yorumlanmasını gerçekleştiren, çok değişkenli istatistiksel bir yöntemdir. TBA, veri seti içerisindeki önemli bilgileri ortaya çıkarmada etkili bir yöntemdir. Verilerdeki genel özellikleri bulup, boyut sayısının azaltılmasını ve bu şekilde verinin sıkıştırılmasını sağlamaktadır (Abdi & Williams, 2010).

TBA'nın çalışma yöntemi 4 adımda belirlenmektedir.
 X vektörünün m ortalama vektörünün hesaplanması:

$$i = 1, 2, \dots, N \text{ olmak üzere, } m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad (4)$$

Kovaryans matrisinin hesaplanması:

$$E = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - m)(X_i - m)^T \quad (5)$$

Burada X, 1'den N'e kadar bir matristir. E beklenti operatör işleci ve T ise transpozunu temsil etmektedir.

Kovaryans matrisinin öz değerlerinin hesaplanması ve genel form biçimli sıralanışı:

$$\Sigma - \lambda I = 0 \quad (6)$$

Burada I özdeşlik matrisini temsil eder ve NxN ölçülerindedir.

Son olarak ise TBA'nın her temel bileşeninin öz vektörlerinin oluşturulması ile yöntem tamamlanmaktadır.

3. Bulgular

Hipertansiyon hastalığına etki eden faktörler, 2 tane alanında uzman hekim ile yapılan ortak bir çalışma ile belirlenmiş ve bu faktörlerin; cinsiyet, yaş, vücut kütle indeksi, lipit profili, trigliserit, ürik asit ve sigara kullanımı olması gerektiği vurgulanmıştır. Veriler alınırken, kişilerin 30 yaş ve üzerinde olmasına, hamile olmamasına ve ilaç tedavisi başlamamış olmasına özen gösterilmiş, 150 kişiden veriler alınmış ve veritabanına sağlıklı ve hasta olarak 2 sınıfta kaydedilmiştir. Toplanan veriler, Weka veri madenciliği programı kullanılarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma için kullanılacak verilerin dağılımı Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Sınıflandırma için kullanılacak verilerin dağılımı

Sınıf	Sayı
Sağlıklı	65
Hasta	85
Toplam	150

150 adet veriden 85 adedi "Hasta" olarak, kalan 65 veri ise "Sağlıklı" olarak sınıflandırmaya girmiştir. Test seçeneği olarak yüzde ayırma yöntemi uygulanmıştır. Verilerin yarısı eğitim için, yarısı da test verisi olarak kullanılmıştır.

Tablo 2, Tablo 3, Tablo 4 ve Tablo 5'de sırasıyla ÇKA, C4.5, Naive Bayes ve Karar Tablosu sınıflandırıcısının hipertansiyon tahmini için Karmaşıklık Matrisi verilmiştir.

Tablo 2. ÇKA için karmaşıklık matrisi

a	b	Sınıf
38	10	a=Hasta
3	24	b=Sağlıklı
39	9	a= Hasta – TBA ile
3	24	b= Sağlıklı - TBA ile

Tablo 3. C4.5 için karmaşıklık matrisi

a	b	Sınıf
34	14	a= Hasta
4	23	b= Sağlıklı
36	12	a= Hasta – TBA ile
3	24	b= Sağlıklı - TBA ile

Tablo 4. Naive Bayes için karmaşıklık matrisi

a	b	Class
41	7	a= Hasta
2	25	b= Sağlıklı
42	6	a= Hasta – TBA ile
5	22	b= Sağlıklı - TBA ile

Tablo 5. Karar tablosu için karmaşıklık matrisi

a	b	Class
41	7	a= Hasta
4	23	b= Sağlıklı
45	3	a= Hasta – TBA ile
6	21	b= Sağlıklı - TBA ile

Tablo 6, Tablo 7, Tablo 8 ve Tablo 9'da sırasıyla ÇKA, C4.5, Naive Bayes ve Karar Tablosu sınıflandırıcısının detaylı doğruluk (Detailed Accuracy) değerleri verilmiştir.

Tablo 6. ÇKA için Detaylı Doğruluk Tablosu

Doğruluk	TP Oranı	FP Oranı	Hassasiyet	F-Ölçütü	Roc Alanı	Sınıf
%82,67	0,792	0,111	0,927	0,854	0,941	a=Hasta
	0,889	0,208	0,706	0,787	0,941	b=Sağlıklı
	0,827	0,146	0,847	0,83	0,941	Ağırlıklı Ortalama
%84	0,813	0,111	0,929	0,867	0,942	a=Hasta-TBA ile
	0,889	0,188	0,727	0,8	0,942	b=Sağlıklı-TBA ile
	0,84	0,139	0,856	0,843	0,942	Ağırlıklı Ortalama - TBA ile

Tablo 7. C4.5 için detaylı doğruluk tablosu

Doğruluk	TP Oranı	FP Oranı	Hassasiyet	F-Ölçütü	Roc Alanı	Sınıf
%76	0,708	0,148	0,895	0,791	0,78	a=Hasta
	0,852	0,292	0,622	0,719	0,78	b=Sağlıklı
	0,76	0,2	0,796	0,765	0,78	Ağırlıklı Ortalama
%80	0,75	0,111	0,923	0,828	0,819	a=Hasta-TBA ile
	0,889	0,25	0,667	0,762	0,819	b=Sağlıklı-TBA ile
	0,8	0,161	0,831	0,804	0,819	Ağırlıklı Ortalama - TBA ile

Tablo 8 (devam). Naive Bayes için detaylı doğruluk tablosu

Doğruluk	TP Oranı	FP Oranı	Hassasiyet	F-Ölçütü	Roc Alanı	Sınıf
%88	0,854	0,074	0,953	0,901	0,945	a=Hasta
	0,926	0,146	0,781	0,847	0,945	b=Sağlıklı
	0,88	0,1	0,891	0,882	0,945	Ağırlıklı Ortalama

Tablo 8. Naive Bayes için detaylı doğruluk tablosu

Doğruluk	TP Oranı	FP Oranı	Hassasiyet	F-Ölçütü	Roc Alanı	Sınıf
	0,875	0,185	0,894	0,884	0,922	a=Hasta-TBA ile
%85,33	0,815	0,125	0,786	0,8	0,922	b=Sağlıklı-TBA ile
	0,853	0,164	0,855	0,854	0,922	Ağırlıklı Ortalama - TBA ile

Tablo 9. Karar tablosu için detaylı doğruluk tablosu

Doğruluk	TP Oranı	FP Oranı	Hassasiyet	F-Ölçütü	Roc Alanı	Sınıf
	0,854	0,148	0,911	0,882	0,9	a=Hasta
%85,33	0,852	0,146	0,767	0,807	0,9	b=Sağlıklı
	0,853	0,147	0,859	0,855	0,9	Ağırlıklı Ortalama
	0,938	0,222	0,882	0,909	0,9	a=Hasta-TBA ile
%88	0,778	0,063	0,875	0,824	0,9	b=Sağlıklı-TBA ile
	0,88	0,165	0,88	0,878	0,9	Ağırlıklı Ortalama - TBA ile

Sınıflandırma algoritmalarının TBA'lı ve TBA'sız karşılaştırmalı detaylı analizi Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Algoritmaların Detaylı Analizi

Algoritma	Doğruluk	TP Oranı	FP Oranı	Hassasiyet	F-Ölçütü	Roc Alanı
ÇKA	%82,67	0,827	0,146	0,847	0,83	0,941
ÇKA-TBA ile	84 %	0,84	0,139	0,856	0,843	0,942
C4.5	%76	0,76	0,2	0,796	0,765	0,78
C4.5- TBA ile	%80	0,8	0,161	0,831	0,804	0,819
Naive Bayes	%88	0,88	0,1	0,891	0,882	0,945
Naive Bayes-TBA ile	%85,33	0,853	0,164	0,855	0,854	0,922

Tablo 10 (devam). Algoritmaların Detaylı Analizi

Algoritma	Doğruluk	TP Oranı	FP Oranı	Hassasiyet	F-Ölçütü	Roc Alanı
Karar Tablosu	%85,33	0,853	0,147	0,859	0,855	0,9
Karar Tablosu-TBA ile	%88	0,88	0,165	0,88	0,878	0,9

Tablo 10'a göre, aynı şartlarda işleme sokulan algoritmalarından en başarılı sonucu %88 doğruluk oranıyla Naive Bayes sınıflandırıcısı vermiştir. Naive Bayes sınıflandırıcısını sırasıyla %85,33 başarı oranıyla Karar Tablosu algoritması, %82,67 başarı oranıyla ÇKA algoritmaları takip etmiştir. Hipertansiyon sınıflandırmada en başarısız algoritma ise %76 başarı oranıyla C4.5 algoritması olmuştur. Hipertansiyon veritabanına TBA analizi uygulanıp, aynı şartlarda aynı algoritmalar tekrar işleme sokulup, TBA uygulanmayan sonuçlarla kıyaslandığında ise, C4.5 algoritması normalden %4 daha başarılı sonuç vererek en başarılı algoritma olmuştur. C4.5 algoritmasını sırasıyla %2,67 daha başarılı sonuç veren Karar Tablosu algoritması ve %1,33 daha başarılı sonuç veren ÇKA izlemiştir. En başarısız sınıflandırmayı ise normalden %2,67 daha düşük başarı oranıyla Naive Bayes algoritması vermiştir.

4. Tartışma

Kişilerdeki risk faktörleri ve laboratuvar parametrelerini içeren algoritmalar oluşturarak giderek sıklığı artan hipertansiyonun erken tanı ve tedavisi için bir sistem oluşturma amacı ile yapılan çalışmamızda daha önce yapılan çalışmalar ile paralel sonuçlar elde edilmiştir. Tüm dünyada sıklığı giderek artan, önemli oranda morbidite ve mortaliteye neden olan diyabet, kanser, kalp hastalıkları vs. gibi pek çok hastalığın erken tanınmasına yönelik çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalardan amaç hastalık ile ilgili daha erken ipuçları bularak erken tanı konulması ve erken tedaviye başlanmasıdır. Hatta en ideal amaç tanı koymadan önceki aşamada bu hastalığın gelişme riskinin hesaplanması ve riski fazla olan bireylerde hastalık gelişimini önlemeye yönelik önlemlerin alınmasıdır (Abd El Baky Mahmoud, Shaaban, & Ali Ramzy, 2018; Li et al., 2018; Tang & Zhou, 2019).

Sınıflandırma bazlı çalışmalar az sayıdadır. Aynı veritabanı kullanılarak yapılan çalışmalardan, Türk ve arkadaşları'nın yapmış olduğu (Türk et al., 2015), 30 yaş üzeri hiç ilaç kullanmayan ve sistemik bilinen hastalığı olmayan kişiler ile sağlıklı kontrollerin karşılaştırıldığı çalışmalarında, katılımcıların cinsiyet, yaş, boy, kiloları, HDL, LDL, trigliserit, ürik asit düzeyleri ölçüldü, sigara kullanımı sorgulandı. Çalışmanın amacı sağlam ve hasta kişilerin verilerini bilgisayar ortamında karşılaştırarak, sağlıklı kişilerde hastalığa yol açabilecek parametreler konusunda risk analizi ve sınıflandırması yapmaktı. Bunların 65'i normal, 85'i hastalardan oluşmaktaydı. Bu veriler, kantitatif analiz yöntemlerini işleyerek sınıflandırıcılara aktarıldı. Her bir hastadan elde edilen verilere Yapay Sinir Ağı (YSA) modelleri uygulandı. Elde edilen sonuçlar normal ya da hasta olarak sınıflandırdı. Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) nöral ağı kullanılarak, hastaların %80,4'ü ve normal bireylerin %81,8'i doğru olarak sınıflandırılmıştır. Jordan Elman nöral ağını kullanarak, hastaların %85,3'ü ve normal bireylerin %87,8'i doğru sınıflandırılmıştır. Hasta ve sağlıklı sınıflandırması ayrı ayrı hesaplanmış ve hasta sınıflandırmasındaki en yüksek doğruluk oranı %85,3 olarak hesaplanırken, sağlıklı sınıflandırmasındaki en yüksek doğruluk oranı %87,8 olarak hesaplanmıştır. Çalışmada veri tabanının hangi oranda eğitim setine ayrıldığından bahsedilmemiştir.

Yine aynı veri tabanını kullanan çalışmalardan, Kökver ve arkadaşları'nın yapmış olduğu çalışmada (KÖKVER et al., 2014), 150 adet veri, veri madenciliği sınıflandırıcılarıyla incelenmiştir. Veriler yine normal veya hasta olacak şekilde iki sınıfta incelenmiştir. Ayrıca sınıflandırma sonuçlarına göre bir karar ağacı oluşturularak, hipertansiyona doğrudan ve dolaylı olarak etki eden faktörler belirlenmiştir. Sınıflandırma algoritmalarından Naive Bayes, C4.5 ve Çok Katmanlı Algılayıcının (MLP) kullanıldığı çalışmada, C4.5 algoritmasının daha başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Hipertansiyon sınıflandırmasındaki en yüksek doğruluk oranı %91,67 olarak hesaplanmış fakat, söz konusu çalışmada veri setinin %76'sı eğitim için, geri kalan %24'ü test verisi olarak kullanılmıştır. Yani 150 adet veriden 36 tanesi ile sistem test edilmiştir. Bizim çalışmamızda ise 75 tane veri ile sistem test edilmiş ve daha fazla veri ile optimum bir sonuca ulaşılmıştır. Yapılan bu çalışmada en yüksek doğruluk oranı %88 olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmanın bir diğer avantajı ise, hesaplanan doğruluk oranlarının TBA yöntemi kullanılarak daha da iyileştirilebilmiş olmasıdır.

5. Sonuç

Bu çalışmada, 30 yaş ve üzerindeki 150 kişiden, hipertansiyona etki etmesi muhtemel bilgilerden cinsiyet, yaş, trigliserid, lipid profili, ürik asit, vücut kütle indeksi ve sigara kullanımı verileri toplanmış ve bir hipertansiyon veritabanı oluşturulmuştur. Uygulanan algoritmalarından en başarılı sonucu veren sınıflandırıcı %88 ile Naive Bayes olmuştur. Ardından Temel Bileşenler Analizi (TBA) uygulanarak hipertansiyon veritabanının boyutu indirgenmiş ve aynı sınıflandırma algoritmaları tekrar uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu durumda C4.5 algoritması TBA uygulanmadan önceki durumuna göre %4 daha başarılı sonuç vererek en başarılı algoritma olmuştur. Naive Bayes sınıflandırıcı haricindeki tüm algoritmalarda Temel Bileşenler Analizi'nin sınıflandırma başarısını artırdığı görülmüştür.

İleriki yıllarda bu tür çalışmaların artacağını, kişilerin daha hastalanmadan erken tanıların konulacağını, belki de hastalık riski olan kişilerin önceden risk analizlerinin yapılarak gerekli önlemler ile hiç hastalık gelişmeyebileceği veya bu ihtimalin çok az olacağını öngörmekteyiz.

Maddi Destek ve Çıkar İlişkisi

Bu çalışma 2011/71 numaralı Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi olarak desteklenmiştir. Yazarların çıkara dayalı bir ilişkisi yoktur.

Referanslar

- A global brief on hypertension | A global brief on Hyper tension.* (2013). Retrieved from http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/79059/1/WHO_DCO_WHD_2013.2_eng.pdf?ua=1
- Abd El Baky Mahmoud, M., Shaaban, M. A. A., & Ali Ramzy, A. (2018). Clinical role of serum Copeptin in acute coronary syndrome. *Egyptian Heart Journal*, 70(3), 155–159. <https://doi.org/10.1016/j.ehj.2018.04.008>
- Abdi, H., & Williams, L. J. (2010, July 1). Principal component analysis. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/wics.101>
- Alderman, M. H. (2004). JNC 7: Brief summary and critique. In *Clinical and Experimental Hypertension*. <https://doi.org/10.1081/CEH-200032158>
- Almazayad, A. S., Ahamad, M. G., Siddiqui, M. K., & Almazayad, A. S. (2010). Effective hypertensive treatment using data mining in Saudi Arabia. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, 24(6), 391–401. <https://doi.org/10.1007/s10877-010-9260-2>
- Azuaje, F. (2006). Witten IH, Frank E: Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques 2nd edition: San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers; 2005:560. ISBN 0-12-088407-0, £34.99. *BioMedical Engineering OnLine*. <https://doi.org/10.1186/1475-925X-5-51>
- Bishop, C. (1995). Neural networks for pattern recognition. Retrieved from <https://books.google.com/books?hl=tr&lr=&id=T0S0BgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Bishop+C.+Neural+Networks+for+Pattern+Recognition+1995%3B+Oxford+Univ.+Press,+N+Y.&ots=jN20qL8Dod&sig=2-F-ubwZLqvUINsroDpVxQ1Dt6w>
- Carretero, O. A., & Oparil, S. (2000). Essential Hypertension. *Circulation*, 101(3), 329–335. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.101.3.329>
- Chae, Y. M., Ho, S. H., Cho, K. W., Lee, D. H., & Ji, S. H. (2001). Data mining approach to policy analysis in a health insurance domain. *International Journal of Medical Informatics*, 62(2–3), 103–111. [https://doi.org/10.1016/S1386-5056\(01\)00154-X](https://doi.org/10.1016/S1386-5056(01)00154-X)
- Chalmers, J., MacMahon, S., Mancia, G., Whitworth, J., Beilin, L., Hansson, L., ... Clark, T. (1999). 1999 World Health Organization-International Society of Hypertension Guidelines for the management of hypertension. Guidelines sub-committee of the World Health Organization. *Clinical and Experimental Hypertension (New York, N.Y. : 1993)*, 21(5–6), 1009–1060. <https://doi.org/10.3109/10641969909061028>
- Demuth, H., Beale, M., Jess, O. De, & Hagan, M. (2014). Neural network design. Retrieved from <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=2721661>
- Haykin, S. (2007). Neural networks: a comprehensive foundation. Retrieved from <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=1213811>
- KÖKVER, Y., BARIŞÇI, N., ÇİFTÇİ, A., & EKMEKÇİ, Y. (2014). DETERMINING AFFECTING FACTORS OF HYPERTENSION WITH DATA MINING TECHNIQUES. *Qualitative Studies*, 9(2), 15–25. <https://doi.org/10.12739/NWSA.2014.9.2.1A0352>
- Li, J., Wang, L., Wang, Q., Xin, Z., Liu, Y., & Zhao, Q. (2018). Diagnostic value of carotid artery ultrasound and hypersensitive C-reactive protein in Type 2 diabetes mellitus patients with acute myocardial infarction in Chinese population. *Medicine (United States)*, 97(41). <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000012334>
- Sancho-Gómez, J. L., García-Laencina, P. J., & Figueiras-Vidal, A. R. (2009). Combining missing data imputation and pattern classification in a multi-layer perceptron. *Intelligent Automation and Soft Computing*, 15(4), 539–553. <https://doi.org/10.1080/10798587.2009.10643048>
- Sehn Körting, T., & Sehn Korting, T. (n.d.). *C4.5 algorithm and Multivariate Decision Trees GeoDMA-Geographic Data Mining Analyst View project Brazil Data Cube View project C4.5 algorithm and Multivariate Decision Trees*. [researchgate.net](https://www.researchgate.net/publication/267945462). Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/267945462>
- Siddiqui, M. K., & Aljumah, A. A. (2014). Hypertension Interventions using Classification Based Data Mining. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 7(17), 3593–3602. Retrieved from <http://www.mayoclinic.com/health/high->
- Tang, L., & Zhou, X. J. (2019). Diffusion MRI of cancer: From low to high b-values. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*,

49(1), 23–40. <https://doi.org/10.1002/jmri.26293>

Ture, M., Kurt, I., Turhan Kurum, A., & Ozdamar, K. (2005). Comparing classification techniques for predicting essential hypertension. *Expert Systems with Applications*, 29(3), 583–588. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2005.04.014>

Türk, F., Barişçi, N., Çiftçi, A., & Ekmekçi, Y. (2015). Comparison of Multi Layer Perceptron and Jordan Elman Neural Networks for Diagnosis of Hypertension. *Intelligent Automation and Soft Computing*, 21(1), 123–134. <https://doi.org/10.1080/10798587.2014.959312>

Wang, G., Yu, H., COMPUTERS, D. Y.-C. J. O., & 2002, undefined. (n.d.). Decision table reduction based on conditional information entropy. *Cjc.Ict.Ac.Cn*. Retrieved from <http://cjc.ict.ac.cn/eng/qwjse/view.asp?id=1076>

Wang, J. (2010). *Encyclopedia of Data Warehousing and Mining, Second Edition*. *Encyclopedia of Data Warehousing and Mining, Second Edition*. Information Science Reference. <https://doi.org/10.4018/978-1-60566-010-3>



Kablosuz Sensör Ağlarında Konum Belirlemede Parçacık Sürü Optimizasyonu, Yarasa Algoritması, Diferansiyel Gelişim Algoritması ve Ateşböceği Algoritması Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Comparison of Particle Swarm Optimization, Bat Algorithm, Differential Evolution Algorithm and Firefly Algorithm Methods in Localization of Wireless Sensor Networks

Ahmet Sami Doğru , Tolga Eren 

Kırıkkale Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 27/10/2020

Kabul / Accepted: 02/12/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2020

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2020

Öz

Kablosuz sensör ağlarında konumlandırma birçok alanda her geçen gün önemli bir konu haline gelmektedir. Askeri uygulamalar, acil yardım, coğrafi takip gibi uygulamalarda sensörlerin yerini hata payı en düşük ve hızlı bir şekilde bulmak çok önemlidir. Kablosuz sensör ağlarında (KSA), konum tespiti çok yönlü bir optimizasyon sorunu olarak belirtilmektedir. KSA'ların kompleksliğine göre optimizasyon metotlarının verimi değişkenlik göstermektedir. Bu çalışmada, Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Yarasa Algoritması (YA), Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) ve Ateşböceği Algoritması (AA) yöntemleri KSA'larda konum belirleme sorununun çözülmesi hedefi ile kıyaslanmıştır. Önerilen yöntemler, doğada bulunan canlıların karakteristiğinden ilham alınarak keşfedilmiş optimizasyon yöntemleridir. Bu çalışmada sezgisel optimizasyon yöntemlerinden olan PSO, YA, DGA ve AA Matlab ortamında bir örnek düğüm dağılımına uygulanmış olup sonuçlar gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler

"Kablosuz sensör ağları, Konum belirleme, Parçacık sürü optimizasyonu, Yarasa algoritması, Diferansiyel gelişim algoritması, Ateşböceği algoritması"

Abstract

Positioning in wireless sensor networks is becoming an important issue in many areas every day. It is very important to find the location of the sensors quickly and with low error rate in applications such as military applications, emergency assistance, geographic tracking. In wireless sensor networks (WSN), location detection is cited as a multidimensional optimization problem. The efficiency of optimization methods varies according to the complexity of WSN's. In this article, Particle Swarm Optimization (PSO), Bat Algorithm (BA), Differential Evolution Algorithm (DEA) and Firefly Algorithm (FA) methods were compared with the goal of solving the positioning problem in WSN. The proposed methods are optimization methods that are inspired by the characteristics of living beings in nature. In this study, heuristic optimization methods PSO, BA, DEA and FA were applied to a sample node distribution in Matlab environment and the results were observed.

Key Words

"Wireless sensor networks, Localization, Particle swarm optimization, Bat algorithm, Differential evolution algorithm, Firefly algorithm."

1. Giriş

Günümüzde KSA’larda bulunan sensörlerin konum bulma yöntemi etkin bir inceleme konusu olmuştur. KSA’lar ısı, ışık, gürültü, nem gibi çevredeki değişimleri izlemek için beraber hareket eden sensörlerden oluşan kablosuz ağ elemanıdır. KSA’larda, küçük ebatlı, daha az enerji tüketen sensör düğümleri bulunur. Bu düğümlerde, yaygın olarak sensör aracılığı ile bir ortam değişikliğini tespit edebilme, bilgiyi geliştirme ve diğer sensörlerle iletişim kurabilme özellikleri mevcuttur. KSA yapısı içinde konumu tespit edilmemiş birçok sensör bulunur. Bununla birlikte konumunu bilen az sayıda sensör de vardır; bunlara referans düğüm (anchor, çapa) denir. Referans düğümler konumlarını GPS yöntemi ile ya da farklı işlemlerle bulurlar. KSA’larda sensör adedi çok yüksek olduğundan konum tespiti için GPS ya da farklı metotlar kullanılamamaktadır. Bunun için konumu bilinmeyen sensörler, referans düğümleri ve diğer sensörler aracılığı ile konumunu tespit etmeye çalışırlar. Sensörlerin, referans düğümlerinin yanında, diğer normal sensörlerden destek alarak yerlerini bulmaları, iş birliğine dayalı konum belirlemede yeni bir paradigmatik metot olarak ortaya çıkmıştır (Akyildiz vd., 2002; Wymeersch vd., 2009; Patwari vd., 2005; Eren, 2017; Eren, 2016; Eren, 2011; Eren vd., 2004; Aspnes vd., 2006).

Son zamanlarda yapılan çalışmalarda sensör düğümlerinin konum tespiti yapılırken farklı algoritmalar kullanılmıştır. Bütün bu KSA konum bulma algoritmaları ilk olarak konumu bilinmeyen sensör düğümlerinin yerini bulurken ortak özellikler gösterir. Konum belirleme probleminde, çözüm aşamasında kullanılan optimizasyon algoritmaları arasında, sezgisel yöntemler de bulunmaktadır. Literatürde KSA’larda konum belirleme problemini çözerken optimizasyon yöntemlerini uygulayan çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

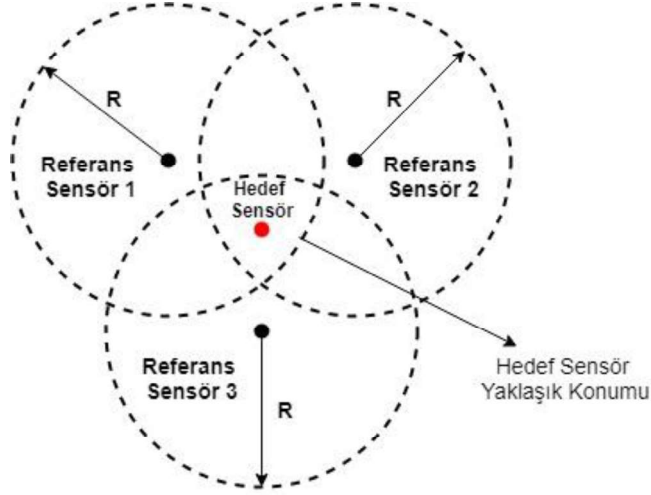
D. Li ve X. Wen, (2015) yaptıkları çalışmada KSA’larda konum belirleme problemini çözerken, hassasiyeti artırılmış iki aşamalı bir PSO algoritması kullandılar ve çıkan sonuçları klasik PSO ve HPSO metotlarıyla karşılaştırdılar. N. Bozkurt, (2015) yüksek lisans tezinde, KSA’larda konumlandırma için kullanılan mesafe ölçme tekniklerinden birisi olan Sinyal Alım Gücü (Received Signal Strength- RSS) yöntemini konum tahmininde kullandı. Q. Zhang vd., (2008) yaptıkları çalışmada KSA’larda konum belirleme problemini Genetik Algoritma (GA) kullanarak incelediler. N. Barak vd., (2016) konumlandırma için klasik PSO yönteminden daha iyi sonuçlara ulaşan farklı bir PSO algoritması kullandılar. A. Gopakumar ve L. Jacob, (2008) KSA’larda konum belirleme için klasik PSO metodunu kullandılar. P. Namin ve M. Tinati, (2011) KSA’larda konumlandırma problemini iki kademeli uzaklığa dayanan PSO algoritması ile çözdüler. J. Lv vd., (2012) KSA’larda konumu bilinmeyen sensörlerin yerini dağıtılmış PSO metodu ile incelediler ve önerilen yöntemin diğer algoritmalarından daha iyi sonuç verdiğini belirttiler. Kumar vd., (2012) KSA’larda konum belirleme için H-Best Particle Swarm Optimization (HPSO) ve Biogeography Based Optimization (BBO) yöntemlerini kullanarak sonuçları incelediler. Kulkarni ve Venayagamoorthy, (2010) sensörlerin konumunu belirlerken PSO ve Bacterial Foraging Algorithm (BFA) yöntemlerini karşılaştırdılar. Kulkarni vd., (2009) KSA’larda konumlandırma problemi için PSO ve BFA yöntemlerini incelediler. Shieh vd., (2016) GA, PSO, Grey Wolf Optimizer (GWO), Firefly Algorithm (FA) ve Brain Storm Optimization (BSO) yöntemlerini kullanarak konum belirleme problemini inceleyip sonuçları karşılaştırdılar. Kulkarni ve Venayagamoorthy, (2011) KSA’larda sensörleri optimum dağıtma, konum belirleme ve bilgi alma konularını PSO yöntemi ile incelediler. Özsağlam ve Çunkaş, (2008) PSO, GA ve DGA yöntemlerini bazı fonksiyonlar kullanarak karşılaştırma yaptılar. İnceleme sonucu PSO’nun diğer iki algoritmadan daha etkin sonuçlar verdiğini belirttiler. Doğru vd., (2019) KSA’larda konum belirleme problemini PSO ve YA kullanarak çözdüler. Çalışmada farklı iletim yarıçapları altında PSO’nun YA’dan daha iyi sonuçlar verdiğini belirttiler. Keskinürk, (2006) yaptığı çalışmada DGA’nın etkin sonuçlar üretebilen popülasyon temelli bir yöntem olduğunu belirtti. Ayrıca GA ile DGA’yı bir probleme uygulayarak sonuçları incelemiştir. Kurtulmuş, (2019) yüksek lisans tezinde DGA yöntemini en az risk ve en çok kar getiren bir portföye uygulayarak en iyi sonucu DGA’nın verdiğini belirtti. Demirdelen, (2018) kuru tip transformörü DGA ile yeniden tasarlayarak etkin bir şekilde verimini artırdı ve uyguladığı yöntemin performans analizini anlattı. Gandomi vd., (2011) yaptıkları çalışmada 6 farklı yapısal probleme optimizasyon yöntemleri uygulayarak AA’nın GA, PSO ve DGA’dan daha iyi sonuçlar verdiğini incelediler. Kızılkaplan vd., (2020) Çiçek Tozlaşma Algoritması (FPA) ve Guguk Kuşu Arama Algoritmasını (CSA) kullanarak KSA’larda konum belirleme problemini çözmüşlerdir. Ayrıca algoritmaları kuantum yöntemi ile inceleyerek farklı sonuçlar almışlardır. Eren, (2019) KSA’larında toplanan bilgilerin mevcut konumları ile alındığında faydalı olduğunu belirtmiş olup düğümler arası işbirliğine dayalı konum bulmanın önemini anlatmıştır. Bayrakdar, (2020) KSA’larda gecikmeye duyarlı CSMA ortam erişim yönteminin performansını incelemiştir. Bayrakdar, (2019a) KSA’larda kullanılan TDMA erişim yönteminin karasal ağlarda daha ön planda olduğunu ortaya koymuştur. Bayrakdar, (2019b) yaptığı çalışmada yeraltı KSA’larda bulanık mantık yöntemini, toplayıcı istasyon karar işlemleri için önermiştir. Bu yöntem ile toplayıcı istasyon için en uygun seçimin yapıldığını ve enerji tüketiminin en az seviyede olduğunu belirtmiştir. Bayrakdar, (2019c) yaptığı çalışmada KSA’da bir bölgeyi en az sayıda düğüm ile kapsamak için farklı bir yöntem sunmuş olup başarı sağlamıştır. Bayrakdar, (2019d) yeraltı KSA’larda veri iletimi için sezme tabanlı CSMA erişim yöntemini kullanmış ve enerji tüketimini düşük seviyede tutarak performansı arttırdığını belirtmiştir. Bayrakdar, (2019e) yaptığı çalışmada yeraltı KSA’larda derinlik faktörünün sinyal iletiminde neden olduğu kayıpları incelemiş ve farklı sinyal gönderme tekniklerine dikkat çekmiştir. Bayrakdar, (2019f) sualtı KSA’larda ortam erişim yöntemi olarak Aloha tekniği seçmiş olup bu tekniğin düşük maliyetli ve daha etkin olduğunu belirtmiştir.

KSA’larda bazı uygulamalarda sensörler tarafından toplanan bir bilginin konumunun bilinmemesi o bilgiyi anlamsız kılar. Aldığımız bilginin konumu ile birlikte öğrenilmesi uygulama açısından çok önemlidir. Bu çalışmada toplanan kısıtlı bilgilerle sensör düğümlerinin gerçek konumu tahmin edilmeye çalışılmıştır. Konum tespiti yapılırken sezgisel algoritmalarından PSO, YA, DGA ve AA yöntemleri kullanılarak performansları karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde KSA 'larda konum belirleme işleminin nasıl hesaplandığı anlatılmıştır. Üçüncü bölümde sezgisel algoritmalar dört başlık altında incelenmiştir. Dördüncü bölümde algoritma parametreleri ve konum tahminindeki hata hesabı anlatılmıştır. Beşinci bölümde sezgisel algoritmaların probleme uygulanması sonucu edinilen bulgular incelenmiştir. Sonuç bölümünde öneriler sunulmuştur.

2. KSA'larda Konum Belirleme Problemi

KSA'larda konum belirleme problemi mevcut bir KSA'da konumunu bilmediğimiz sensörlerin yerinin tespit edilmesi işlemidir. KSA'larda sensörlerin yerini düşük hata ile tespit etme işlemi önemli bir husustur. Konum belirleme için farklı ölçüm teknikleri kullanılır. Uzaklığa dayalı ölçüm metodu kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntemde yerini bulmak istediğimiz sensörün komşularına olan mesafesi hesaplanır ve en az 3 adet konumunu bildiğimiz sensör aracılığı ile bu sensörün yeri tespit edilebilir (Doğru vd., 2019).



Şekil 1. KSA'da Uzaklığa Dayalı Konum Belirleme

KSA'larda konum belirlenirken referans düğümler m adet ve hedef sensörler n adet kabul edilir. Referans düğümlerin koordinatları (x_i, y_i) olur.

$$x_i = [x_1, \dots, x_m], \quad y_i = [y_1, \dots, y_m] \quad (1)$$

Tahmin edilen hedef düğümlerin koordinatları (x_j, y_j) olur.

$$x_j = [x_1, \dots, x_n], \quad y_j = [y_1, \dots, y_n] \quad (2)$$

Referans düğümleri ile hedef düğümler arasındaki hesaplanan mesafeye gerçek uzaklık (d_i) denir. Hedef düğümün koordinatları (x, y) , i . referans düğümün koordinatları (x_i, y_i) olduğunda eşitlik aşağıdaki gibidir.

$$d_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \quad (3)$$

Hesaplanan gerçek uzaklığa gürültü (n_i) eklenir ve yaklaşık uzaklık (d_{in}) hesaplanır. Hedef sensör ile i . referans düğüm arasındaki yaklaşık uzaklığın denklemi aşağıdaki gibidir.

$$d_{in} = d_i + n_i \quad (4)$$

KSA'larda konum tespiti bir optimizasyon problemidir. Hedef gerçek ile tahmini olarak hesaplanan uzaklığın arasındaki farkı yani hata oranını en aza indirmektir. Belirlenen hedef fonksiyonu aşağıdaki gibidir (Aloor ve Lillykutty, 2008).

$$f(x, y) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} - d_{in})^2 \quad (5)$$

3. Kullanılan Optimizasyon Algoritmaları

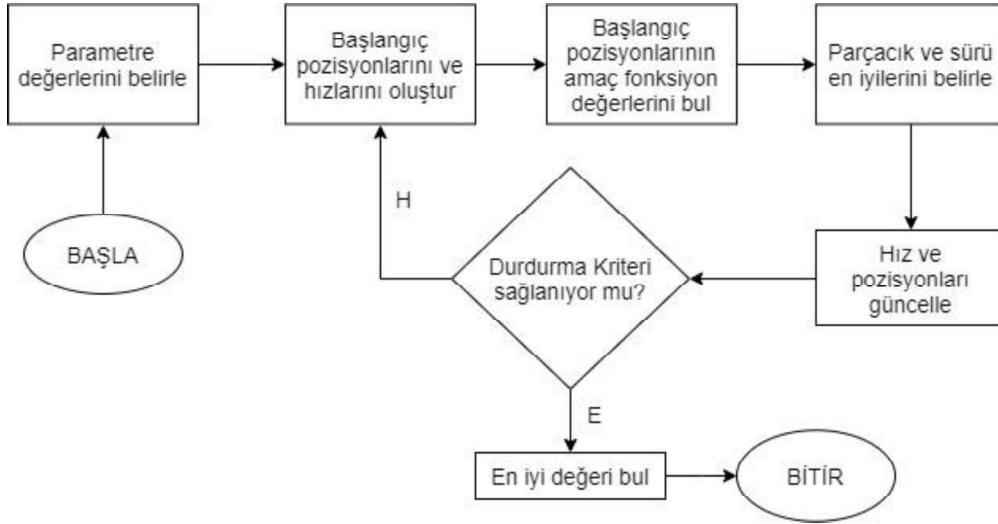
3.1. Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO)

Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Kennedy ve Eberhart (1995) tarafından keşfedilen balıklar ile kuşların sürü şeklindeki davranışından esinlenen bir optimizasyon yöntemidir. Genellikle sürü zekâsını ilke edinir. PSO 1995'te literatüre sunulduktan sonra üzerinde birçok iyileştirmeler yapılmıştır. Temel PSO 'da bulunan çoğu değişiklik PSO'nun yakınsama hızını artırmaya ve sürü davranışının farklılaşmasına yöneliktir (Karaboğa, 2004).

PSO algoritması amaç fonksiyonundaki değişimleri hesaplamak için matematiksel işlemlere ihtiyaç duymayan bir optimizasyon algoritmasıdır. Algoritmanın ilk keşfedilen bölümünde sadece lineer olmayan optimizasyon problemleri için çözüm bulunabiliyordu. Daha sonra metod geliştirilerek daha kompleks mühendislik problemlerini çözmek için uygulandı.

PSO 'nun ortaya çıkışı kuş ve balık sürülerinin hareketi ile olmuştur. Kuşların hareket ettikleri ortamda, konumunu bilmedikleri bir cisim gelişi güzel hareket ederek arayıp bulmaları, bir sorunu çözmeye benzer. Kuşlar bu cisim bulurken o cisme en yakın duran kuşa yakın olmak isterler. PSO 'nun temeli, sürüdeki kuşlar arasında gerçekleşen veri iletişimini iletlemektir. Bu algorithmada bireylere parçacık ismi verilir. Parçacıklardan oluşan gruba sürü denir (Kennedy ve Eberhart, 1995).

PSO 'da bulunan bir birey, önceki davranışlarından esinlenerek yerini sürünün en iyisine doğru belirler. PSO 'daki amaç, sürüdeki herkesin sürü en iyisine olan yaklaşma isteğidir. Her birey en iyiye yaklaşmaya çalışır. Bu yaklaşma olayı rastgele gelişir. Sürü içerisinde bulunan bir bireyin sonraki hareketinde gideceği yer genellikle önceki yerinden daha iyi olur. Sürüdeki hareketler istenen duruma gelinceye kadar devam eder. Şekil 2'de PSO 'nun akış diyagramı görülmektedir.



Şekil 2. PSO Akış Diyagramı

Algoritmanın, problem boyutu, popülasyon sayısı, atalet ağırlığı gibi belli başlı parametreleri vardır. Başlangıç iterasyonunda rastsal değerler alınarak süreç başlatılır. Alt ve üst sınır değerleri arasında rastgele değerler alınarak başlangıç popülasyonu oluşturulur ve amaç fonksiyon değerleri hesaplanır. Sonra karşılaştırmalar yapılarak sürü en iyisi bulunur. Sonraki adım hız vektörünün hesaplanmasıdır. Hız vektörü işlemi denklem 6 'daki gibidir. Hız vektörü hesaplandıktan sonra bazı bireylerde alt ve üst sınırlar aşılabılır. Aşan değerler alt ve üst sınır değerlerine ayarlanır (Çetin, 2011).

$$V_i^{k+1} = (w^{k+1} * V_{ij}^k) + c_1 * r_1 (p_{ij}^k - x_{ij}^k) + c_2 * r_2 (g_{ij} - x_{ij}^k) \quad (6)$$

Denklemden yer alan r_1 ve r_2 , 0,1 aralığında dağılmış rastgele bir sayıyı, c_1 ve c_2 ise kişisel öğrenme ve global öğrenme değişken değerlerini ifade eder. Sonraki işlem bireyin önceki konumu ile hesaplanan hız vektörünün toplanarak yeni konumun bulunması işlemidir (Çetin, 2011). Pozisyon güncelleme denklemi eşitlik 7'deki gibidir.

$$x_{ij}^{k+1} = x_{ij}^k + v_{ij}^{k+1} \quad (7)$$

Pozisyon güncelleme adımından sonra bazı bireylerde alt sınır ve üst sınır değerleri aşılabılır. Sınırları aşan değerler alt ve üst değerlere ayarlanır. Yeni oluşan konumların amaç fonksiyon değerleri hesaplanır. Sürü ve parçacık en iyileri yeniden bulunur. Bu işlemler durdurma kriterine kadar devam eder.

3.2. Yarasa Algoritması (YA)

Yarasa Algoritması (YA), Xin-She Yang tarafından 2010 yılında optimizasyon problemlerini çözmek amacıyla literatüre sunulmuştur. YA, yarasaların avlarını bulurken ve hareket ederken kullanmış oldukları yer belirleme yöntemini kullanır. Yarasa çıkardığı sesin nesnelere çarparak yankı yapması ve yankının geri dönüş zamanı ile konum belirler. Bu işleme ekolokasyon denir ve bir çeşit sonar olarak çalışır. YA yarasaların bu davranışından ilham alınarak geliştirilmiş bir sezgisel optimizasyon algoritmasıdır (Yang, 2010).

Ekolokasyon denilen iletişim ağı sayesinde yarasalar avlanır ve kendi aralarında iletişim kurarlar. Yarasa eko oluşturmak için yüksek ses dalgaları yayar ve yayılan bu dalgalar çeşitli seviyelerde geri döner. Yarasa bu ses seviyelerini algılayarak nesnenin konumunu belirler. YA 'nın yapısını geliştirmek ve yarasaların ekolokasyon özelliklerini gözlemlemek için bazı adımlar uygulanır (Ekinci, 2015):

- (a) Yarasalar avlarını veya tehlikeli engelleri tespit etmek için ekolokasyon özelliğini kullanır.
- (b) Yarasaların avını yakalaması için; v_i hızında, x_i pozisyonunda, sabit f_{\min} frekansında, r değişkenli dalga boyunda ve L_0 ses şiddeti ile gelişigüzel hareket ederler. Hedef nesne ile aralarındaki uzaklığa göre yaydıkları sinyallerin frekanslarını ayarlarlar. 0 ile 1 arasında r sinyal yayılım oranlarını düzenlerler.
- (c) Yarasaların sinyal şiddeti, frekansı ve sinyal yayılım oranları değişiklik gösterir.
- (d) L_m^{iter} sinyal şiddeti, L_0 üst sınırdan L_{\min} alt sınıra kadar değişebilir.

Optimizasyon boyunca her bireyin x_i pozisyonu ve v_i hızı, t zamanında x_i^t güncel pozisyon değerleri ve v_i^t güncel hızları aşağıda bulunan denklemlerden hesaplanır.

$$f_i = f_{\min} + (f_{\max} - f_{\min})a \quad (8)$$

$$v_i^t = v_i^{t-1} + (x_i^t - x^*)f_i \quad (9)$$

$$x_i^t = x_i^{t-1} + v_i^t \quad (10)$$

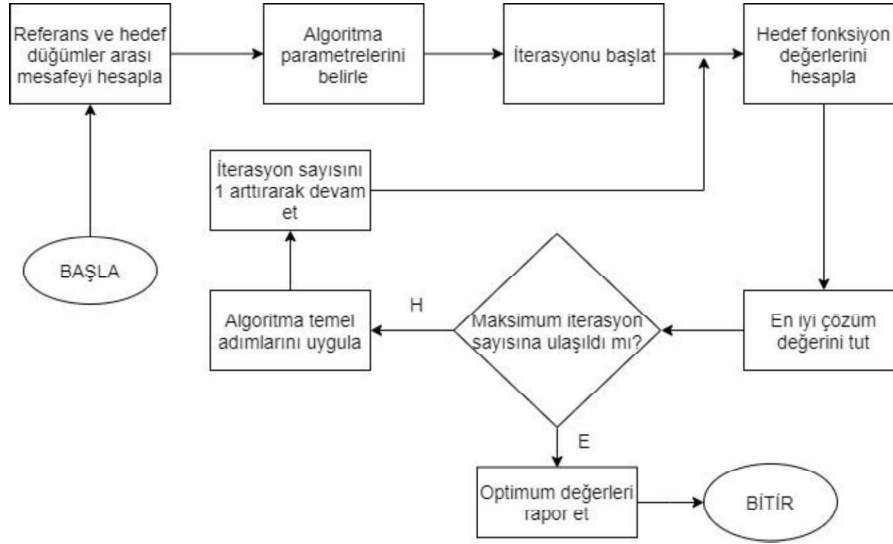
Denklem 8'de α , 0 ile 1 arasında rastgele alınmış bir vektörü, f_i yarasanın frekansı f_{\min} ve f_{\max} en küçük ve en büyük frekansları ve x^* popülasyondaki en iyi uygunluk değeridir. Hesaplanan sonuçlar içinden en iyi uygunluk değeri seçilir ve rastgele yapılan hesaplamalar sonunda yeni uygunluk değeri bulunur.

$$x_{new} = x_{old} + \varepsilon L^t \quad (11)$$

Denklem 11'de ε , 1 ile -1 arasında rastgele alınmış bir sayıyı ve L^t tüm bireylerin t zaman aralığındaki ortalama ses şiddetini ifade eder. Yarasaların ekolokasyon ile çıkardıkları sinyal şiddeti ve sinyal yayımlarının iterasyon sayısı ilerledikçe ve belirlenen hedefe yaklaşıldıkça tekrar hesaplanması gereklidir. Ses şiddeti (L), birey avına ulaştığında çoğunlukla azalır fakat sinyal yayılım oranı (r) yükselişe geçer.

$$A_i^{t+1} = \beta A_i^t, r_i^{t+1} = r_i^0 [1 - \exp(-\gamma t)] \quad (12)$$

Denklem 12'de β , 0 ile 1 arasında bir sabit sayı ve γ pozitif sabit değerdir. $t \rightarrow \infty$ iken ses şiddeti $L_i^t \rightarrow 0$ ve $r_i^t \rightarrow r_i^0$ olarak gerçekleşir. Şekil 3'te YA 'nın akış diyagramı görülmektedir.



Şekil 3. Yarasa Algoritması Akış Diyagramı

3.3. Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA)

Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) optimizasyon problemleri için Price ve Storn tarafından 1996 yılında geliştirilmiş kullanımı kolay, tekniği sağlam bir optimizasyon algoritmasıdır. Bu algoritma doğrusal olmayan ve türevi alınamayan sürekli fonksiyonları minimize etmek amacıyla yeni bir yaklaşım olarak sunulmuştur. Diğer optimizasyon metodlarından daha hızlı ve sonuca daha kesin bir şekilde ulaştığı belirtilmiştir (Storn ve Price, 1997).

DGA daimi verilere sahip problemlerde etkili çözümler sunan çalışma mantığı ile Genetik Algoritma (GA) 'ya benzeyen bir optimizasyon tekniğidir. Popülasyon tabanlı çalışır. (Keskintürk, 2006)

DGA sayısal optimizasyon yöntemleri için geliştirilmiş bir algoritmadır. Bu algoritma öncekilerden farklı olup kolay olmayan etkin bir mutasyon yöntemi uygulamaktadır. Önceleri tanımlı olan, olasılık dağılım fonksiyonuna dayalı olarak çalışan GA gibi gelişim tabanlı algoritmaların aksine DGA gelişigüzel olarak seçilen amaç vektör çiftlerinin farklarına dayanan bir mutasyon yöntemi kullanır. DGA 'da uygulanan basit mutasyon yöntemi algoritmanın başarısını arttırmakta ve onu daha güçlü yapmaktadır (Karaboğa, 2004).

DGA, diğer sezgisel algoritmalarından farklı olarak yeni popülasyon oluştururken önce mutasyon operatörü ile uygulamaya başlar. Mutasyon ve çaprazlama operatörü ile yeni nesiller oluşturulur. Mutasyon sayısı aynı olasılık dağılım fonksiyonu ile belirlenmez aksine mevcut popülasyon bireyleri arasındaki farklılardan oluşan fark vektörü aracılığıyla bulunur (Kurtulmuş, 2019).

Algoritmanın, boyut yani gen sayısı, popülasyon sayısı, çaprazlama oranı, ölçekleme faktörü gibi parametreleri bulunmaktadır. Popülasyon sayısı ve gen sayısı uygulayıcı tarafından belirlenir. Başlangıç popülasyonu alt ve üst sınır değerleri arasında rastgele olarak belirlenir. Belirlenen popülasyondaki her bir değer in amaç fonksiyon karşılığı hesaplanır.

$$\forall i \leq NP \wedge \forall j \leq D : x_{j,i,G=0} = x_j^{(a)} + rand_j[0,1] \cdot (x_j^{(u)} - x_j^{(a)}) \quad (13)$$

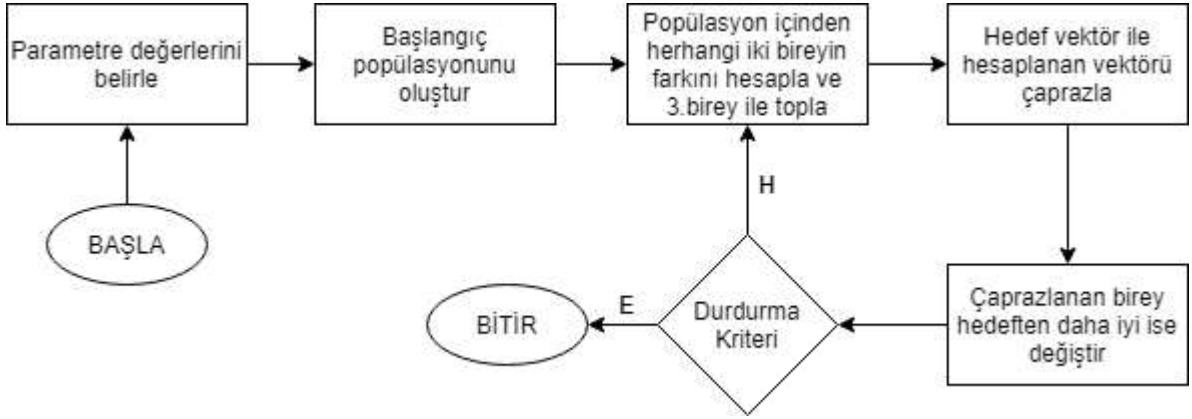
Denklem 13 'te yer alan NP popülasyon büyüklüğü, D gen sayısı, $x_{j,i,G}$ G jenerasyonunda i kromozomunun j geni, $x_j^{(u)}$ ve $x_j^{(a)}$ değişkenlere ait alt ve üst sınırları ifade eder. Daha sonra algoritma mutasyon adımı ile devam eder. Mutasyon işlemi için mutasyona uğrayacak kromozom hariç hepsi farklı rastgele üç adet kromozom seçilir. Kromozomlardan ikisinin farkı alınarak ölçekleme faktörü (F) ile çarpılır ve üçüncü kromozom ile toplanır (Keskintürk, 2006). Mutasyon işlemi denklem 14 'te gösterilmektedir.

$$\forall j \leq D : n_{j,i,G+1} = x_{j,r_3,G} + F \cdot (x_{j,r_1,G} - x_{j,r_2,G}) \quad (14)$$

Çaprazlama, mutasyon sonucu elde edilen kromozom ile mevcut kromozomdan birer gen alınarak yeni bir kromozom üretilmesi işlemidir. Algoritmada bu işlemi yapmak için CR (Çaprazlama Oranı) kullanılır. 0 ile 1 arasında rastgele üretilen sayı CR 'den küçük olursa gen mutasyona uğramış kromozomdan, aksi olursa mevcut kromozomdan alınır. Hedef belirlenen oranda genin mutasyona uğramış kromozomdan alınmasıdır (Keskintürk, 2006).

$$\forall j \leq D : n_{j,u,G+1} = \begin{cases} x_{j,n,G+1} & \text{eğer } rand[0,1] \leq RC \vee j = j_{rand} \\ x_{j,i,G} & \text{aksi durumda} \end{cases} \quad (15)$$

Daha sonra oluşturulan bu deneme kromozomunun amaç fonksiyon değeri hesaplanır. Bulunan değer mevcut kromozomdan daha iyi ise deneme kromozomu mevcut kromozomun yerine popülasyona atanır.



Şekil 4. Diferansiyel Gelişim Algoritması Akış Diyagramı

3.4. Ateşböceği Algoritması (AA)

Ateşböceği algoritması (AA), ateş böceklerinin karakteristik özelliklerinden esinlenerek 2008 yılında Xin-She Yang tarafından optimizasyon problemlerini çözmek amacıyla ortaya atılmıştır. Algoritma ateşböceğinin ışık verme özelliğine göre hareket etmesi esasına dayanır. Çekicilik parlaklıkla orantılı olup parlaklığı az olan ateşböceği parlaklığı daha fazla olana doğru hareket eder. Parlaklığı kendisinden fazla ateşböceği olmayan ortamda ateşböceği gelişigüzel hareket eder (Yang, 2008).

Son zamanlarda yapılan incelemelerde AA 'nın diğer algoritmalara göre daha etkin sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Algoritmanın çalışma prensibi herhangi bir çözüm kümesi kullanması ve denemeler boyunca ateşböcekleri arasındaki etkileşimi kullanarak sonuca gitmesidir. Tek boyutlu problemlerin yanı sıra çok boyutlu optimizasyon problemlerinde de iyi sonuçlar vererek uygulanabilmektedir (Demirdelen, 2018).

Ateşböceklerinin birbiri ile olan etkileşimi mesafeye bağlıdır. Mesafe arttıkça birbirleriyle olan etkileşim azalır. Bu etkileşimde görülen çeşitlilik ateşböceklerinin çok yönlü hareket etmesini sağlar. Ateşböceklerinin çok yönlü olması hareketliliğin artmasına neden olur ve arama uzayının daha etkin bir şekilde araştırılmasını sağlar. Algoritmada bulunan önemli sınırlamalar ile daha hassas ayarlamalar yapılabilir (Gandomi vd., 2011).

Algoritmanın popülasyon sayısı, boyutu, çekicilik katsayısı, ışık emme katsayısı gibi parametre değerleri belirlenir. Başlangıç popülasyonu alt ve üst limit değerleri arasında rastgele olarak belirlenir. Belirlenen popülasyondaki her bir değer için amaç fonksiyon değeri hesaplanır.

$$x_i = x_{min} + r(x_{max} - x_{min}) \quad (16)$$

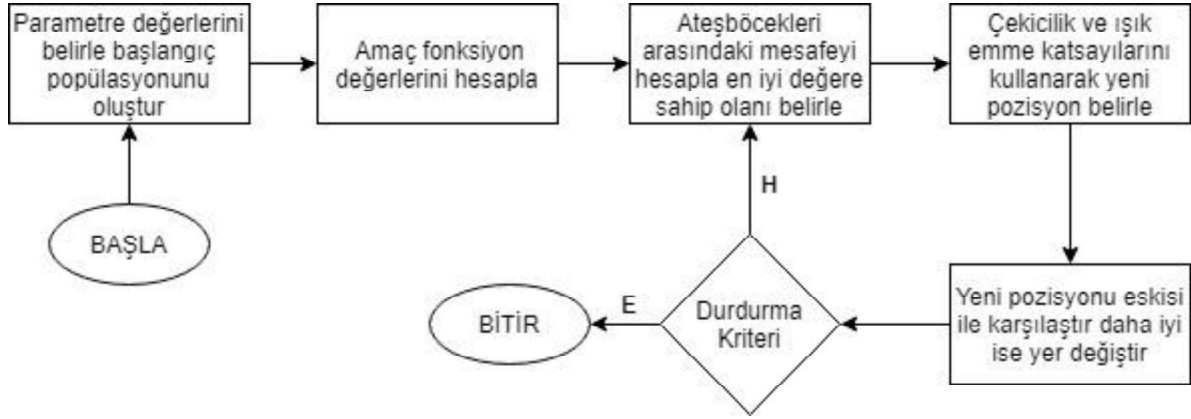
Denklem 16'da r, 0 ile 1 arasında rastgele seçilen bir sayıyı, x_{min} ve x_{max} alt ve üst sınır değerlerini ifade eder. Sıradaki işlemde ise i ve j noktalarındaki herhangi iki bireyin arasındaki mesafe denklem 17 kullanılarak hesaplanır.

$$r_{ij} = \|x_i - x_j\| \quad (17)$$

İki birey arası mesafe hesaplandıktan sonra ateşböceğinin yeni konumu denklem 18'e göre hesaplanır.

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j^t - x_i^t) + a_t \varepsilon_i^t \quad (18)$$

Denklemdaki β_0 çekicilik katsayısı, γ ışık emme katsayısı, x_j^t ve x_i^t i ve j noktalarında bulunan bireyleri, a_t 0 ile 1 arasında rassal bir sayıyı, ε_i^t alt üst sınırlara göre belirlenen bir değişkendir. x_i^{t+1} bireyin yeni konumu olup amaç fonksiyon değeri yeniden hesaplanır ve ilk konumuna göre daha iyi bir sonuca ulaşılır ise yeni konum olarak atanır.



Şekil 5. Ateşböceği Algoritması Akış Diyagramı

4. Simülasyon

Bu kısımda KSA’larda sensörlerin konumunun belirlenmesinde PSO, YA, DGO ve AA sezgisel optimizasyon yöntemleri kullanılmıştır. Kullanılan bu yöntemlerin performansları karşılaştırılmıştır.

4.1. Parametre Değerleri

Algoritmalarda kullanılan parametre değerleri Tablo 1, 2, 3 ve 4’te sunulmuştur. Algoritmalarda ortak olan parametreler için aynı değerler kullanılmıştır.

Tablo 1. PSO Algoritması Parametreleri

Parametreler	Değerler
Boyut Sayısı	2
Popülasyon Sayısı	20
Kişisel Öğrenme Katsayısı (c1)	1.5
Global Öğrenme Katsayısı (c2)	2
Atalet Ağırlık Katsayısı Oranı (wdamp)	0.99
İterasyon Sayısı	100

Tablo 2. Yarasa Algoritması Parametreleri

Parametreler	Değerler
Boyut Sayısı	2
Popülasyon Sayısı	20
Maksimum Frekans (f_{max})	2
Ortalama Ses şiddeti (L)	0.8
Sinyal Emisyon Hızı (r)	0.25
İterasyon Sayısı	100

Tablo 3. Diferansiyel Gelişim Algoritması Parametreleri

Parametreler	Değerler
Boyut Sayısı	2
Popülasyon Sayısı	20
Ölçekleme Faktörü alt sınırı (F_{min})	0.2
Ölçekleme Faktörü üst sınırı (F_{max})	0.8
Çaprazlama Oranı (CR)	0.2
İterasyon Sayısı	100

Tablo 4. Ateşböceği Algoritması Parametreleri

Parametreler	Değerler
Boyut Sayısı	2
Popülasyon Sayısı	20
Çekicilik Katsayısı (β_0)	2.0
Işık Emme Katsayısı (γ)	1.0
İterasyon Sayısı	100

4.2. Hata Hesaplaması

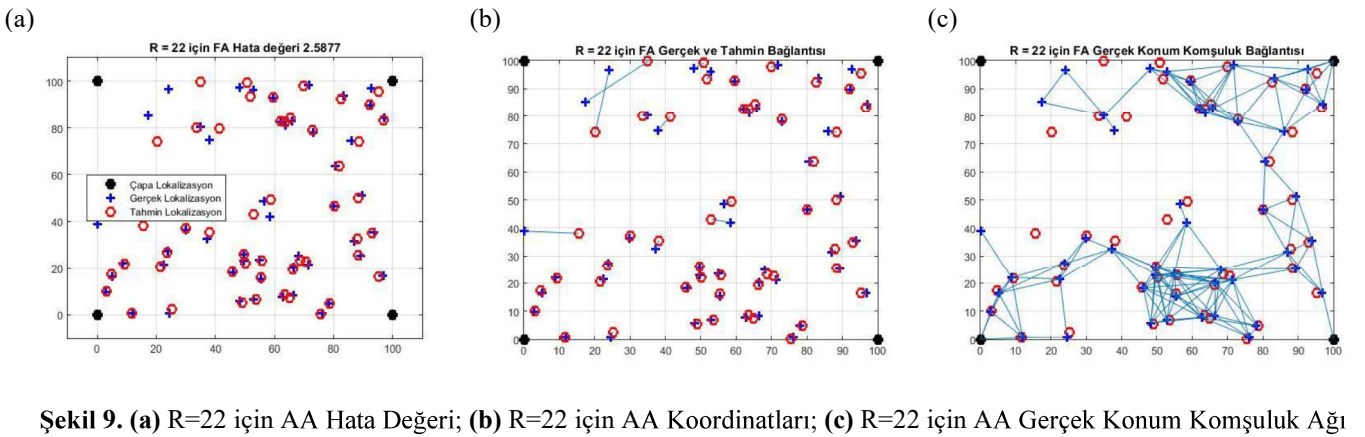
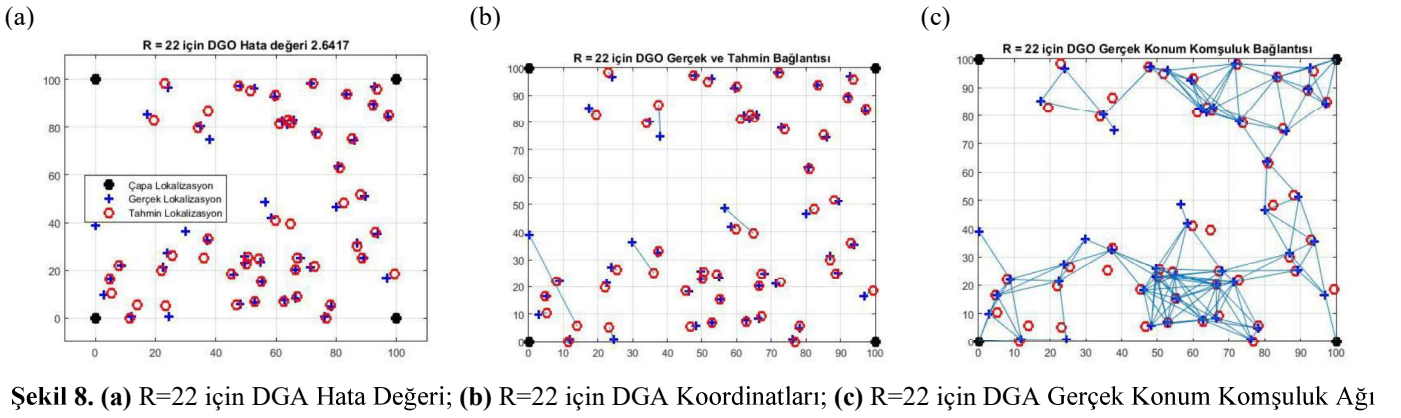
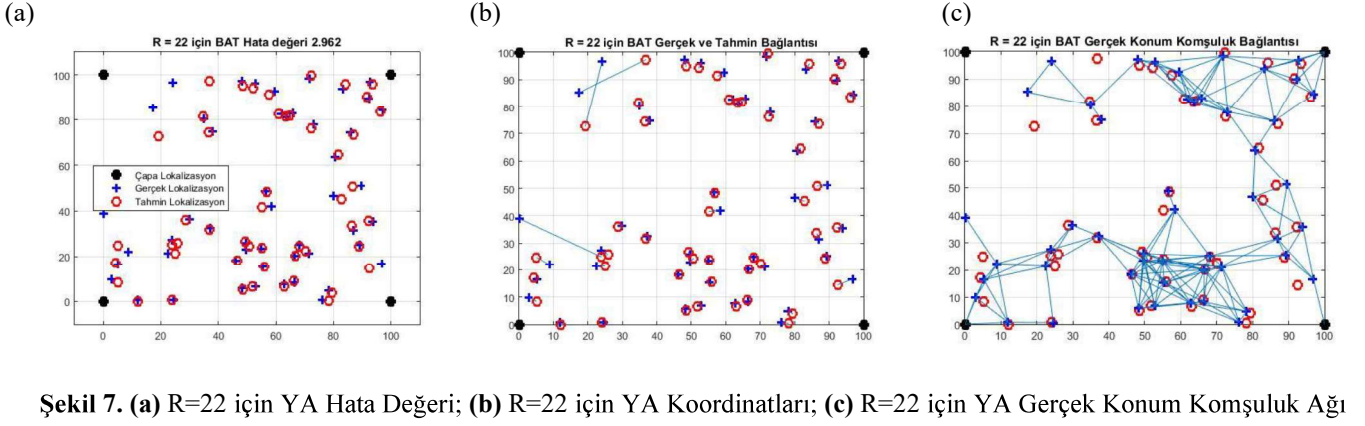
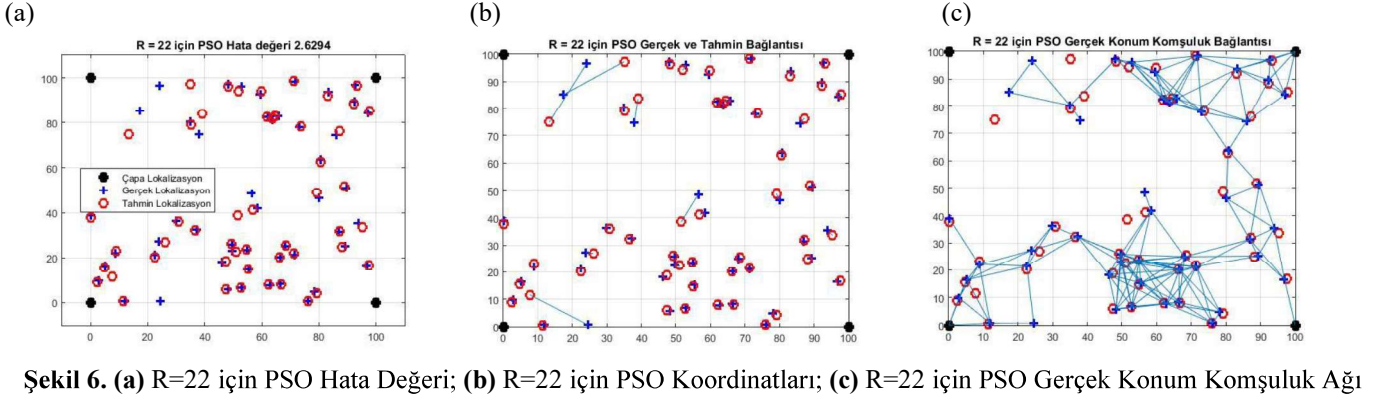
KSA'larda bir sensörün konumunu belirleyebilmek, o sensörün üç veya daha fazla referans sensörü ile iletim yarıçapı içerisinde haberleşebilmesi durumunda mümkün olabilir. Bu sebeple, daha çok sensörün yerini belirlemek için, sensörlerin iletim yarıçapı mesafesi büyük olmalıdır. Bu çalışmanın amacı yerini bilmediğimiz sensörlerin konumunu tespit etmek için optimizasyon algoritmaları kullanmaktır. Algoritmanın tahmin ettiği sensörler ile gerçek sensörlerin konumları arasındaki hatayı hesaplamak için eşitlik 13'teki hata fonksiyonu kullanılmıştır.

$$E = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt{(x_i - X_i)^2 + (y_i - Y_i)^2} \quad (19)$$

(N) hedef sensör sayısını, (X_i, Y_i) algoritma tarafından tahmin edilen sensör koordinatlarını, (x_i, y_i) ise gerçek sensör koordinatlarını belirtmektedir.

5. Bulgular

MATLAB programında 100x100 birimlik alanda köşelere yerleştirilmiş 4 adet referans düğüm ile 50 adet düğüm noktasının yer tespiti PSO, YA, DGA ve AA algoritmaları ile yapılmıştır. Her bir sensör düğümünün kapsama alan yarıçapı $R = 22$ birim alınmıştır. Tüm algoritma aynı düğüm koordinatlarının tespiti için çalıştırılmıştır. Simülasyon 1'e ait grafikler Şekil 6,7,8,9'da gösterilmiştir. Şekil 6a'da PSO için $R=22$ birim alınarak yapılan simülasyon görülmektedir. Burada mavi artı işaretleri, düğümlerin gerçek konumlarını belirtmektedir. Kırmızı yuvarlak işaretler ise düğümlerin PSO tarafından tahmin edilen konumlarını göstermektedir. Siyah yuvarlaklar, referans düğümlerinin (çapa) yerlerini göstermektedir. Şekil 6b'de düğümlerin gerçek konumları ile tahmin edilen konumları arasındaki uzaklıklar, açık mavi çizgilerle gösterilmiştir. Şekil 6c'de ise, $R=22$ için gerçekleşen ağ çizgesi (network graph) görülmektedir. Şekil 7a, 7b, 7c'de Yarasa Algoritmasının, $R=22$ birimde verdiği sonuçlar; Şekil 8a, 8b, 8c'de Diferansiyel Gelişim Algoritmasının, $R=22$ birimde verdiği sonuçlar; Şekil 9a, 9b, 9c'de ise Ateşböceği Algoritmasının $R=22$ birimde verdiği sonuçlar gösterilmiştir. Simülasyon, $R=22$ birim olacak şekilde, PSO, YA, DGA ve AA için 50 kere tekrarlanmıştır. Hata oranlarının ayrıntılı tablosu on adet simülasyon için (Simülasyon 1'den, Simülasyon 10'a kadar) Tablo 5 'te görülmektedir. Elli adet simülasyon için ortalama değerleri gösteren tablo ise Tablo 6'da sunulmuştur.



Tablo 5. Hata Oranları Tablosu (10 adet simülasyon)

	PSO	YA	DGA	AA
İletim Mesafesi (R)	R=22	R=22	R=22	R=22
Simülasyon 1	2,6294	2,962	2,6417	2,5877
Simülasyon 2	2,7868	3,3285	1,8901	3,2843
Simülasyon 3	3,0692	2,714	2,5328	2,2199
Simülasyon 4	2,2885	3,2323	2,9424	1,8733
Simülasyon 5	3,8974	2,8876	2,6629	3,1751
Simülasyon 6	2,6631	2,2618	2,7089	2,9967
Simülasyon 7	2,6077	3,303	3,2394	2,4364
Simülasyon 8	2,721	3,2369	3,3009	3,159
Simülasyon 9	2,3983	3,1865	2,6908	2,8278
Simülasyon 10	2,959	2,4231	3,6857	2,9558
Ortalama	2,80204	2,95357	2,82956	2,7516

Tablo 6. 50 adet simülasyon için ortalama hata oranları tablosu

İletim Mesafesi (R)	R=22
PSO	2,622256
YA	2,97842
DGA	2,634152
AA	2,595904

6. Tartışma ve Sonuç

Algoritmaların kendine özgü parametreleri birbirine yakın seçilmiş olup hepsinde ortak olan boyut, popülasyon ve iterasyon sayıları aynı alınmıştır. Algoritmaları ortalama en düşük hata oranına göre sıraladığımızda sırasıyla AA, PSO, DGA ve YA iyi sonuç verdiği görülmektedir. Tablo 5'te görülen ayrıntılı verilerde, bazı simülasyonlarda YA, DGA ve PSO'nun AA'dan daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Ancak, hem 10 simülasyon için, hem de 50 simülasyon için, ortalama olarak AA diğer üç algoritmadan daha iyi sonuç vermektedir. PSO, DGA ve AA'nın ortalama hata oranları birbirine yakın fakat YA'nın hata oranının daha yüksek olduğu gözlenmektedir.

Sonuç olarak, bu makalede üstünde çalıştığımız konum belirleme probleminin temel amacı, doğadan esinlenen optimizasyon algoritmalarının yardımıyla hedef sensörlerin gerçek konumunu en az hata ile tespit etmektir. Bu kapsamda sezgisel optimizasyon yöntemleri olan PSO, YA, DGA ve AA kullanılmıştır. Hata oranlarını incelediğimizde Ateşböceği Algoritması ile alınan sonuçların daha iyi olduğu gözlemlenmektedir.

KSA'larda konum belirleme işlemi günümüzde birçok uygulamada kullanılmaktadır. Bu çalışmadan ilham alınarak farklı optimizasyon, yapay zeka ve analiz teknikleri kullanılarak daha performanslı yeni yöntemlerin keşfedilmesi yararlı olacaktır.

Referanslar

- Akyildiz IF, Su W, Sankarasubramaniam Y et al. Wireless sensor networks: a survey. *Computer Networks* 2002; 38(4): 393–422.
- Aspnes J, Eren T, Goldenberg D et al. A theory of network localization. *IEEE Transactions on Mobile Computing* 2006; 5(12): 1663–1678.
- Aloor, G. & Lillykutty, J. (2008). Localization in Wireless Sensor Networks using Particle Swarm Optimization, 2008 IET International Conference on Wireless, Mobile and Multimedia Networks, Beijing, 2008, pp. 227-230, doi: 10.1049/cp:20080185.
- Barak, N., Gaba, N. & Aggarwal, S. (2016). Localization of sensor nodes using modified particle swarm optimization in wireless sensor networks, 2016 Int. Conf. Adv. Comput. Commun. Informatics, ICACCI 2016, pp. 2608–2613, 2016.

- Bayrakdar, M.E. (2020). Kablosuz Algılayıcı Ağlar için Gecikme Duyarlı CSMA Ortam Erişim Tekniğinin Performans Değerlendirmesi, Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 12(1): 227-235, 2020.
- Bayrakdar, M.E. (2019a). Karasal algılayıcı ağlarda gözlemlene için enerji etkin TDMA erişim tekniği, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21(2): 756-765, 2019.
- Bayrakdar, M.E. (2019b). Yeraltı Kablosuz Algılayıcı Ağlar için Bulanık Mantık Tabanlı Toplayıcı İstasyon Karar Yaklaşımı, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(4): 789-796, 2019.
- Bayrakdar, M.E. (2019c). Kablosuz Algılayıcı Ağlarda En Az Sayıda Düğüm Kullanımı için Maliyet Etkin Algılayıcı Düğüm Yerleştirme Yaklaşımı, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 6, 59-73, 2019.
- Bayrakdar, M.E. (2019d). Yeraltı Algılayıcı Ağlarda Kayıpsız Veri İletimi için Sezme tabanlı Ortam Erişim Tekniğinin Başarım Analizi, Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(2): 1028-1035, 2019.
- Bayrakdar, M.E. (2019e). Kablosuz Yeraltı Algılayıcı Ağlar için Düğüm İletişiminde Derinlik Faktörünün Analizi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 27(2): 93-99, 2019.
- Bayrakdar, M.E. (2019f). Sualtı Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Aloha tabanlı Maliyet Etkin Ortam Erişim Protokolü, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19(1): 114-120, 2019.
- Bozkurt, N. (2015). Sinyal Alım Gücü Ağırlıklı Ortalamaya Dayalı Ağ Konumlandırması İçin Kablosuz Ağlarda Referans Düğümlerinin Yerleştirilmesi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, 2015.
- Çetin, E. (2011). Rüzgar Enerjisi Dahil Olan Güç Sistemlerinde Ekonomik Yük Dağıtım Probleminin Çözümü, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.
- Demirdelen, T. (2018). Kuru Tip Transformatör Optimizasyonuna Yeni Bir Yaklaşım: Ateş Böceği Algoritması, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33(1): 87-96, 2018.
- Doğru A.S., Temel B., Eren T. (2019). Kablosuz Sensör Ağlarında Konum Belirlemede Parçacık Sürü Optimizasyonu ve Yarasa Algoritması Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 11(3): 793-801, 2019
- Ekinci S. (2015). Power system stabilizer design for multi-machine power system using bat search algorithm, Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 33(4): 627-637, 2015.
- Eren T., (2019). Conditions for Unique Localizability in Cooperative Localization of Wireless ad hoc and Sensor Networks. Cooperative Localization and Navigation: Theory, Research, and Practice: 31-48. Gao, C. (Ed.), Zhao, G. (Ed.), Fourati, H. (Ed.). Boca Raton: CRC Press.
- Eren T, The effects of random geometric graph structure and clustering on localizability of sensor networks, International Journal of Distributed Sensor Networks, vol. 13, no.12, pp. 1-14, 2017.
- Eren T, Graph invariants for unique localizability in cooperative localization of wireless sensor networks: rigidity index and redundancy index, Ad Hoc Networks, vol. 44, pp. 32-45, 2016.
- Eren T, "Cooperative localization in wireless ad hoc and sensor networks using hybrid distance and bearing (angle of arrival) measurements" EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking 2011, 2011:72.
- Eren T, Goldenberg DK, Whiteley W et al. Rigidity, computation, and randomization in network localization. In Proceedings of the 2004 International Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM 2004). Hong Kong, pp. 2673–2684.
- Gandomi, A. H., Yang, X.S. & Alavi, A. H. (2011). Mixed variable structural optimization using Firefly Algorithm, Computer and Structures, pp. 2325-2336, 2011.
- Karaboğa, D. (2004). Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları. Nobel Yayın Dağıtım, 2004.
- Kennedy, J. & Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization, Nat. Comput. Ser., pp. 97–102, 1995.
- Keskintürk T. (2006). Diferansiyel Gelişim Algoritması, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 5(9):85-99, 2006.
- Kızılkaplan E., Eren T., Yalçınkaya F. (2020). Kablosuz Sensör Ağlarında Konum Belirlemede Sezgisel Algoritmaların Kuantum Davranışları ile Karşılaştırılması, International Journal of Engineering Research and Development, 12 (2), 587-602. DOI: 10.29137/umagd.746589.

- Kurtulmuş, C. (2019). Diferansiyel Gelişim Algoritması İle Kardinalite Kısıtlı Portföy Optimizasyonu, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik, 2019.
- Kulkarni, R. V., Venayagamoorthy, G. K. & Cheng, M. X. (2009). Bio-inspired node localization in wireless sensor networks, Conf. Proc. - IEEE Int. Conf. Syst. Man Cybern., no. October, pp. 205–210, 2009.
- Kulkarni, R. V. & Venayagamoorthy, G. K. (2010). Bio-inspired algorithms for autonomous deployment and localization of sensor nodes, IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part C Appl. Rev., vol. 40, no. 6, pp. 663–675, 2010.
- Kulkarni, R. V. & Venayagamoorthy, G. K. (2011). Particle swarm optimization in wireless-sensor networks: A brief survey, IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part C Appl. Rev., vol. 41, no. 2, pp. 262–267, 2011.
- Kumar, A., Khosla, A, Saini, J. S. & Singh, S. (2012). Computational intelligence based algorithm for node localization in Wireless Sensor Networks, IS'2012 - 2012 6th IEEE Int. Conf. Intell. Syst. Proc., pp. 431–438, 2012.
- Li, D., & Wen, X. b. (2015). An Improved PSO Algorithm for Distributed Localization in Wireless Sensor Networks. International Journal of Distributed Sensor Networks. Vol 2015. doi:10.1155/2015/970272
- Lv, J., Cui, H. & Yang, M. (2012). Distribute localization for wireless sensor networks using particle swarm optimization, ICSESS 2012 - Proc. 2012 IEEE 3rd Int. Conf. Softw. Eng. Serv. Sci., pp. 355–358, 2012.
- Namin, P. H. & Tinati, M. A. (2011). Node localization using Particle Swarm Optimization, Proc. 2011 7th Int. Conf. Intell. Sensors, Sens. Networks Inf. Process. ISSNIP 2011, pp. 288–293, 2011.
- Özsağlam, Y. & Çunkaş, M. (2008). Optimizasyon Problemlerinin Çözümü için Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması, Politek. Derg., vol. 11, no. 4, pp. 299–305, 2008.
- Patwari N, Ash JN, Kyperountas S et al. Locating the nodes: cooperative localization in wireless sensor networks. IEEE Signal Processing Magazine July 2005; 22(4): 54–69.
- Shieh, C. S., Sai, V. O., Lin, Y. C., Lee, T. F., Nguyen, T. T. & Le, Q. D. (2016). Improved node localization for WSN using heuristic optimization approaches, Proc. - 2016 Int. Conf. Netw. Netw. Appl. NaNA 2016, no. 4, pp. 95–98, 2016.
- Storn, R. & Price, K. (1997). Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces, Journal of Global Optimization, 11: 341-359, 1997.
- Wymeersch H, Lien J and Win M. Cooperative localization in wireless networks. Proceedings of the IEEE 2009; 97(2):427–450.
- Yang, X. S. (2010). A New Metaheuristic Bat-Inspired Algorithm, Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization (NCSO 2010), 284, 65-74, 2010.
- Yang, X. S. (2008). Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms, Luniver Press, 2008.
- Zhang, Q., Wang, J., Jin, C., Ye, J., Changlin, M., & Zhang, W. (2008). Genetic algorithm based wireless sensor network localization, Proc. - 4th Int. Conf. Nat. Comput. ICNC 2008, vol. 1, no. 2007, pp. 608–613, 2008. doi: 10.1109/ICNC.2008.206



MÜHENDİSLİK
FAKÜLTESİ

Uluslararası Mühendislik
Araştırma ve Geliştirme Dergisi
International Journal of
Engineering Research and
Development

UMAGD, (2020) 12(3), s65-s72.



10.29137/umagd.827683

Cilt/Volume:12 Sayı/Issue:3 Aralık/December 2020 Özel Sayı / Special Issue

Araştırma Makalesi / Research Article

Storage Requirement Estimation for Electronic Document Management System With Artificial Neural Networks

Zeynep Çetinkaya¹ , Erdal Erdal^{*1} , Atilla Ergüzen¹ 

¹Engineering Faculty, Computer Engineering Department, Kırıkkale University, Kırıkkale, Turkey

Başvuru/Received: 18/10/2020

Kabul / Accepted: 05/12/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2020

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2020

Abstract

Electronic document management systems are defined as the protection and management of the contents, formats and relational features of all kinds of documents created by an institution in the process of carrying out its activities. Storage areas are one of the important elements for electronic document management systems. With every transaction and activity transferred to electronic environment in institutions, the infrastructure and investments that should be allocated for Electronic document management systems storage areas increase and the forecast of this increase becomes more important over time. Artificial neural networks (ANN) approach has been used in many areas in recent years. Estimation studies in different fields have been made with ANN and it has been observed that successful results have been obtained. In this study, an ANN model is proposed to be used in estimating the storage area required for electronic document management systems. In this study using Kırıkkale University Electronic document management systems data, different ANN models were created, the most suitable models were determined, and the required storage area was estimated for the future periods.

Key Words

“Artificial Neural Networks, Electronic document management systems, Demand Forecast”

1. Introduction

Records are the recorded information that is created to perform any individual or corporate business or constitutes evidence produced as a result of the work performed (Çiçek, 2009). Document is defined as records with a legally validated form that shows an action taken by the document manufacturer. Documents called corporate information are used to provide the necessary information for communication and decision making. Documentation is defined as a by-product carrying business activities and should be kept as long as it remains evidence of the business process (Dollar, 2002).

Within the scope of document management studies, the concept of document has a legal quality. The document includes all kinds of written and printed materials that are evident and are not doubtful before the law. Physical format of documents, storage environment, production date, or the conditions under which it was produced are not decisive (Çiçek, 2009; Dollar, 2002).

Documentation is to transform the information into text fixed on paper about the work done or planned to be made (Moses, 2005). This definition has undergone a natural change conceptually and structure in parallel with the developments in information technologies. Computer technology enables data sets that do not belong to any documentary format to be used in the business process and to be proof (Odabaş, 2008).

The fact that the new environments are much more dynamic, updatable, conducive to new data entries and offering more sharing opportunities have led to the change of the concept of document format. It is also foreseen that technological developments will continue to change this concept constantly (Odabaş, 2008; Shepherd and Geoffrey, 2003).

Document management is a system implemented to ensure corporate communication, to make the right decisions of the management, to examine the retrospective applications and to provide institutional control easily. The document management system has a life cycle that includes the document production, editing, distribution, storage, archiving of the document for certain situations, and destruction when the document loses its importance (Külcü, 2007).

Electronic document management system; is defined as the extraction of documents that may be evidence of corporate activities from all kinds of documentation created by institutions while performing their activities, to protect their content, format and relational features and to manage these documents in the process from production to destruction.

Electronic document management system, by ensuring that both internal and external correspondence is made electronic-based, correspondence in accordance with the standard file plan, shortening the delivery, initials and approval periods, reducing costs (labor, time and stationery), the establishment of the corporate electronic archive is targeted. With this system: delivering documents to the right person at the right time in the shortest way, tracking the status of documents during circulation, filing documents quickly and archiving electronically, instant access to documents with various search criteria according to their level of authority, with a single click, simultaneous access to the same information and document from multiple points is provided.

In a physical environment, performing the operations of a document during the life cycle causes serious costs. As a matter of fact, it has been found in researches that keeping a document, finding a wrongly filed document, re-preparing a lost document is equal to 20-45% of the total costs of document-related transactions (Delmar, Davidsson and Gartner, 2003). In such a situation, it has become inevitable for corporate documents to be produced, used, transmitted and stored electronically.

With the use of electronic document management system, savings are achieved in the following expenses:

- Paper savings will increase as the number of required outputs decreases in document preparation, approval, distribution and use.
- Courier and postage costs are reduced.
- Document filing, archiving and storage expenses are minimized.
- The cost of protection measures to be taken for increased security of documents and the cost of resources used to maintain the destroyed documents is reduced.
- With the decrease in current affairs, the number of personnel is reduced (Önaçan, Medeni and Özkanlı, 2012).

The electronic document management system actually triggered the formation of a paradox with facilitated the creation, processing, storage and sharing of a document. This paradox has made it necessary to determine how the documents created in the past years will be arranged, defined and put into use, as well as determining the methods to be followed in order to determine the potential amount of documents to be produced in the future (Çiçek, 2009).

ANN are defined as a technique that can be used successfully in the resolution of nonlinear problems and provide extremely dependable outcomes in line with the results obtained in the studies conducted (Öztemel, 2006). ANN are recognized as a technique established by demonstrating of the knowledge procedure, that is among the features of the human brain in electronic environment. This method is magnificently used in numerous topics such as creating estimation, new evidence, multiplexing, clustering, classification, association and generalization (Fausett, 1994; Zhang, Patuwo and Hu, 1998).

It will be meaningful to use ANN approach in estimating the number of potential documents to be produced in the future for the life cycle of documents, archiving processes and long-term retention periods (Çiçek, 2009). The structure of a simple cell created in artificial neural networks is as shown in Figure 1. This simple structure; consists of inputs, weight values, outputs, total function and activation function.

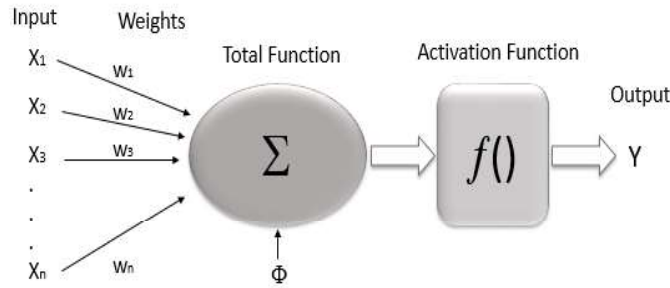


Figure 1. Artificial Neural Network Cell

Input is precise as data arrives the cell from other cells or external environments. These are strongminded by the instances that the system wants to learn. Weights are the defined values indicate the outcome of the cell in the input or previous layer on the next process. The inputs are combined with the weight value through the total function and connected to the next cell.

The total method presents the net input value to the cell. Dissimilar total method can be preferred at this stage. Weighted sum function, multiplication function, maximum or minimum functions and cumulative functions are examples of total functions. The most commonly used sum function is the weighted sum. Each incoming input value is multiplied by its own weight. Thus, net input to the cell is found. The weighted sum function is as given in Equation 1.

$$net = \sum_{i=1}^n W_i X_i + b \tag{1}$$

Values gained because of the total method are passed through a nonlinear or linear differentiable method. This function is called the activation function. The net output of the cell is obtained as a result of the activation function. General equation representation is as in Equation 2. For activation functions, sigmoid function, step function, sinus function and hyperbolic tangent function can be given as examples.

$$y = f(net) = f(\sum_{i=1}^n W_i X_i + b) \tag{2}$$

In ANN, various network representations have been created with the connections of layer elements, numerous aggregation and activation functions used, different learning strategies and different topologies resulting from learning rules. Perceptron, Adaline, Multilayer perceptron, Learning vector quantization, Hopfield, Self-organizing map, Cognitron, Adaptive resonance theory, Probability neural network are just a few of these ANN models created. Some of these artificial neural network models are used for classification operations (LVQ, ART, PNN, Counterpropagation), some others are customized for data association testing (Hopfield, Boltzmann). The MLP model is the most broadly selected model for estimation among these network constructions (Öztemel, 2006; Basheer and Hajmeer, 2000).

In multi-layer perceptron (MLP), cells - neurons are organized in stages. In this graded structure, there are intermediate layers in addition to the input and output layers. These layers between two layers are called hidden layers. MLP networks can be designed to contain one or more hidden layers. Figure 2 shows the general structure of the multi-layer perceptron.

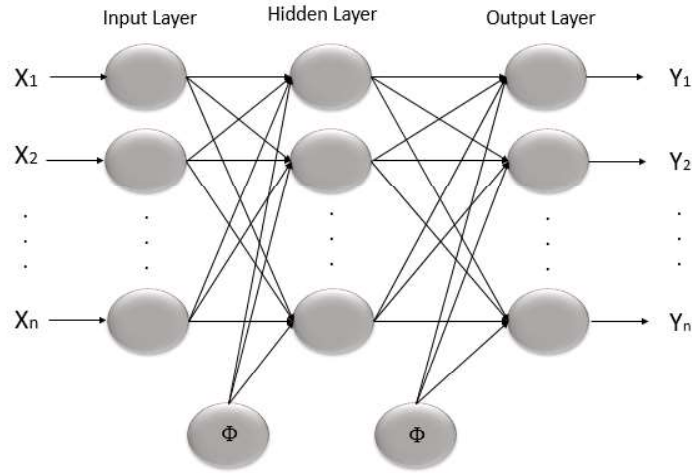


Figure 2. Multilayer Perceptron Model

Since it is understandable and precisely provable, back-propagation process is preferred in the training of MLP systems. This procedure is named back-propagation for it attempts to decrease errors by transmitting errors from output to input. The back-propagation procedure has a consulting learning (learning with teacher) structure and is the mostly preferred learning algorithm used in numerous developments (Fausett, 1994)

In teacher knowledge procedures, through the training of the net, a trial dataset consisting output values conforming to input and input values is assumed to the network. In consulting learning algorithms, weights in the learning phase are planned by minimizing the error function given in Equation 3.

$$E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^m (y_k - t_k)^2 \quad (3)$$

In equivalence, y_k shows the output manufactured by system, and t_k shows the definite output value. In order to minimize the error value of the net, weights between connections are rearranged and updated. Therefore, the system is envisioned to propagate the output nearby to the real output values (Zhang, Patuwo and Hu, 1998).

Technically, the elementary job of an ANN is to study the assembly in the trial dataset and oversimplify to perform the chosen job (Fausett, 1994). ANN has been extensively preferred in practically every field for the purpose of prediction in last years. Especially in non-linear time series, ANN's superior success compared to classical methods has been an significant issue in choosing this technique (Lewis, 1982).

EL-Saba and El-Amin (1999) have estimated long-term energy sales, total energy and peak load demand using artificial neural networks. This study shows that the information required for managers to make effective resource planning decisions can be provided by ANN and can be used for long-term forecasts with minimal error.

In Liu et al's (2003) study, an artificial neural network (ANN) technique was proposed as an effective way to model water demand in urban areas and formulate domestic water demand. Considering the data obtained from the study, it is seen that the correlation coefficients of the water demand prediction model using the artificial neural network are more than 90% for both training data and test data.

In a study by Çetinkaya and Erdal in 2019, an ANN-based model was proposed that predicts the daily food demand for students and staff at the Kırıkkale University cafeteria. According to the results of the study, it was seen that the model has low error rate and high performance.

In the research of Asılkan and Irmak (2009), it was tried to predict the future prices of used vehicles with ANN. To see the prediction accuracy of ANN, the results are compared with time series analysis methods. The fact that ANN gives more successful results in all data sets has shown that this method can be an alternative to classical statistical methods. Studies in different fields have shown that it is possible to use artificial neural networks for demand estimation.

2. Metarial and Metod

Kırıkkale University is an institution where information security is at the forefront, where speed of access to information and information reliability are important. For this reason, it required an advanced document management system and EBYS was launched as a solution in January 2015. With EBYS, it was ensured that the documents were collected in a central structure, their processes were accelerated, they were followed up, reported and managed. In addition, by creating data standards, all necessary data has been made compliant with these standards and archived in a secure way, enabling this information to be accessed quickly and effectively.

In-institution and out-of-institution documents issued at the university, documents coming to the university and all reports that have the characteristics of documents have started to be prepared through this system. This situation brings with it the need for a serious storage area as well as the benefits it provides.

The purpose of this study is to estimate the storage area that will be needed for the electronic document management system used in Kırıkkale University, depending on the number of documents to be produced in the future, using artificial neural networks.

In the study, the factors that will affect the need for storage space were determined first. The first of the effective factors is school periods. In the Fall and Spring school periods, it is seen that the documents produced are higher compared to the Summer period, thus the need for storage increases. Other factors determined are as listed below.

- Number of Academic Staff
- Number of Administrative Staff
- Number of students
- Documents issued for in institution
- Documents issued for out of institution
- Documents come from out of institution

The data gained as a result of determining the effective features are adapted to the assembly of the system so that they can be relocated as input to the ANN model. Data should be standardized to avoid needless data duplication and limit the data to a specific band.

Different methods are used in the literature for the normalization process. These can be list as: Min - Max rule, Median rule, Sigmoid normalization and Z-Score normalization (Jayalakshmi and Santhakumaran, 2011). One of these methods is the min-max method, which is the normalization method that finds the most common usage. The general formula of the min-max method used in the normalization process is given in Equation 4.

$$V' = \frac{v-v_{min}}{v_{max}-v_{min}} \left(\frac{\max}{target} - \frac{\min}{target} \right) + \frac{\min}{target} \quad (4)$$

Here v : real value, v' : normalized value, v_{max} : maximum input value, v_{min} : minimum input value, \max_{target} : the upper limit of value, \min_{target} : the lower limit of value.

In the min-max method, data entries are normalized within a predefined range. These range values are usually applied as [0, 1]. In this study, the input values to be normalized are preprocessed in the range value [0, 1]. The min-max method equation for the range values [0, 1] is as shown in equation 5 (Shalabi and Shaaban, 2006; Sola and Sevilla, 1997).

$$V' = \frac{v-v_{min}}{v_{max}-v_{min}} \quad (5)$$

After the normalization process of the data, ANN models were created, and the training-test process was started. MATLAB was preferred to carry out processes. Harmonized with the active issues, the number of input neurons of the ANN was strongminded to be 7 neurons. So as to regulate the most appropriate ANN prototypical, different artificial neural network models were created by changing the number of hidden layers and the number of neurons used in the hidden layer, and the performance values were compared.

In the study, monthly storage area amount data between January 2015 and April 2020 were used. Records that are far from normal or have missing data are separated from these data. 80% of the data gained as a result of the cleaning of noise data was used for education, and 20% was earmarked for testing.

In the study, many different ANN systems were created, and the training data prepared by pretreatment were presented to these networks. Test data was used to test the network models in which the learning process was carried out.

The designed artificial neural network models were evaluated using two different criteria. The first criteria is the mean square error (MSE) that reveals proximity difference between the predicted and the true value. It is desirable that this value be as small as possible.

The other evaluation criterion was chosen as the correlation coefficient (R). It reveals the closeness of the predicted values with the linear line formed by the real values. If the difference between the predicted and actual value is small, another word, if the R value closer to 1 the designed model is considered to have done well.

The models designed with ANN, is include 7 neurons in the input layer, 1 neuron in the output layer and the hidden layers prepared by using different number neurons for reduce the error rate. These models and the results obtained from these models are shown in Table 1.

Table 1. Result obtained with using normalized data between [0,1]

Model	Number of Neurons	Training R	Validation R	Test R	All	MSE
1	7-3-5-1	0.88787	0.98975	0.96271	0.91949	0.00029254
2	7-3-7-1	0.96455	0.9857	0.96455	0.96037	0.00017394
3	7-3-8-1	0.86507	0.96346	0.97286	0.89123	0.00025499
4	7-3-10-1	0.96387	0.98994	0.97531	0.97812	0.00010108
5	7-5-5-1	0.92154	0.97738	0.89395	0.9201	0,0037697
6	7-5-7-1	0.96214	0.94995	0.95155	0.90736	0.0030171
7	7-5-8-1	0.96563	0.96894	0.93549	0.95104	0.00056888
8	7-5-10-1	0.84566	0.97257	0.83179	0.88206	0.00022034
9	7-7-7-1	0.73371	0.98858	0.84732	0.78773	0.00021507
10	7-7-10-1	0.94104	0.97766	0.96748	0.96119	0.00017227
11	7-8-8-1	0.95044	0.9226	0.96328	0.95596	0.00079471
12	7-8-10-1	0.91235	0.87792	0.96494	0.90418	0.0013207
13	7-10-5-1	0.80051	0.9376	0.87948	0.81794	0.0009469
14	7-10-7-1	0.73948	0.87411	0.8311	0.75942	0.0005859
15	7-10-10-1	0.819	0.98726	0.96496	0.89336	0,0087203

When the results of these models according to the determined performance criteria are examined; it is seen that the best result is the ANN model with numbered 4. This ANN model has 7-3-10-1 network structure and MSE value is the smallest with 0.00010108. Looking at the R values of the models, it is seen that the best results belong to the 4th model with Training R: 0.96387, Validation R: 0.98994, Test R: 0.97531 and All: 0.9781.

The MSE value, which is used as a performance criterion in artificial neural networks, was calculated ones again with using the test data allocated at the beginning of the study in order to quantity the analytical performance of the network constructions defined in the study. Mean Absolute Percent Error (MAPE) equation is used to determine performance and evaluate the best result. Performance criteria formulas are as presented in Equation 6 (Lewis, 1982). MSE and MAPE values obtained by using test data to determine performance criteria in the created ANN systems are given in Table 2.

$$MSE = \frac{\sum(y1 - y2)^2}{n}$$

$$MAPE = \frac{\sum \left| \frac{y1 - y2}{y1} \right|}{n} * 100 (\%) \quad (6)$$

y1: actual value, y2: estimated values, n: number of samples

Table 2. MSE and MAPE values obtained using test data

Model	Number of Neurons	MSE	MAPE
1	7-3-5-1	0,00059	10,86376
2	7-3-7-1	0,000333	6,642618
3	7-3-8-1	0,000428	11,26686
4	7-3-10-1	0,000112	3,210506
5	7-5-5-1	0,003125	27,93325
6	7-5-7-1	0,003128	29,04445
7	7-5-8-1	0,001011	11,76617
8	7-5-10-1	0,000445	10,5565
9	7-7-7-1	0,000375	10,56968
10	7-7-10-1	0,000304	7,673828
11	7-8-8-1	0,00089	13,24089
12	7-8-10-1	0,00111	14,3777
13	7-10-5-1	0,000812	13,17937
14	7-10-7-1	0,000654	11,94267
15	7-10-10-1	0,002892	15,42667

There is an evaluation scale in the literature for the MAPE value. According to this scale, if the MAPE value is below 10%, the model is evaluated as "very good". If the MAPE value is between 10% and 20%, the model is called "good", and the models between 20% and 50% fall into the "acceptable" class. If this value exceeds 50%, the models are called "false" and are not evaluated.

3. Conclusion

In this study, it is suggested to use Artificial Neural Network based prediction models used in many fields in estimating the storage area, which is increasingly important for Electronic Document Management Systems and is necessary for the effective use of this system. Different artificial neural network models were created in the storage area estimation study using Kırıkkale University Electronic Document Management Systems data. The data separated as training and test data were processed with ANN models created using the MATLAB program. The results obtained are shown in tables. When these results are examined, it has been observed that the ANN model, which consists of an input layer with 7 neurons and an output layer with 1 neuron, with 3 - 10 neurons in its hidden layers, gives better results than other models. Mean square error value was found as 0,000112 and the MAPE value was calculated as 3,210506. According to the evaluation scale in the literature for the MAPE value, it was observed that the value obtained as a result of the study was less than 10% and entered the group defined as "very good". As a result of this study, it was seen that artificial neural networks can be used effectively with high accuracy in the problem of storage space estimation required in electronic document management systems.

References

- Al-Saba, T. and El-Amin, I. (1999). Artificial neural networks as applied to long-term demand forecasting, *Artificial Intelligence in Engineering* 13 189–197.
- Asilkan, Ö., Irmak S.(2009). Forecasting The Future Prices Of The Second-Hand Automobiles Using Artificial Neural Networks, *Suleyman Demirel University The Journal of Faculty of Economics and Administrative Sciences*, Vol.14, No.2 pp.375-391.
- Basheer, I.A. and Hajmeer, M. (2000). Artificial neural networks: fundamentals, computing, design, and application, *Journal of Microbiological Methods*, 43 3–31
- Çetinkaya Z. and Erdal E. (2019). Daily Demand Forecast With Artificial Neural Networks: Kırıkkale University Case, *Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE Xplore, 4th International Conference on Computer Science and Engineering*, 19171793.
- Çiçek, N. (2009). *Modern Belgelerin Diplomatığı*. İstanbul: Derlem Yayınları.
- Delmar, F. and Davidsson, P. and Gartner, W. (2003). Arriving at the high growth firm. *Journal of Business Venturing* 18(2):pp. 189-216.
- Dollar, C.M.(2002). *Authentic electronic records: Strategies for long term access*. Chicago: Cohasset Association.
- Fausett, L. (1994), *Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms and Applications*, Prentice Hall.
- Jayalakshmi, T. and Santhakumaran, A. (2011). Statistical Normalization and Back Propagation for Classification, *International Journal of Computer Theory and Engineering* 3(1), pp. 1793-8201.
- Külcü, Ö. (2007), Değişen Koşullarda Belge Yönetimi Çalışmaları ve Uluslararası Uygulamalar, XII. Türkiye’de İnternet Konferansı 8-10 Kasım, Ankara, s.57-81.
- Kırıkkale Üniversitesi Elektronik Belge Yönetim Sistemi, <http://bilgi.ebys.kku.edu.tr/>
- Lewis, C. D. (1982). *Industrial and Business Forecasting Methods*, Butterworths Publishing: London, s. 40
- Liu, J., Savenije, H.H.G. and Xu, J. (2003). Forecast of water demand in Weinan City in China using WDF-ANN model, *Physics and Chemistry of the Earth* 28, 219–224
- Moses, R. P. (2005). *A Glossary of Archival and Records Terminology*. Chicago: The Society of American Archivists.
- Odabaş, H. (2008). Elektronik Belge Düzenleme Yaklaşımları ve Türkiye’de e-Devlet Uygulamalarında Elektronik Belge Yönetimi. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 12(2), 121– 142.
- Önaçan M.B.K., Medeni, T.D.,Özkanlı, Ö. (2012), Elektronik Belge Yönetim Sisteminin Faydaları ve Kurum Bünyesinde EBYS Yapılandırılmaya Yönelik Bir Yol Haritası, *Sayıştay Dergisi* ,Sayı:85.
- Öztemel, E. (2006). *Yapay Sinir Ağları*, Papatya Bilim Üniversite Yayıncılığı, İstanbul.
- Shalabi, L.A. and Shaaban, Z. (2006). Normalization as a Preprocessing Engine for Data Mining and the Approach of Preference Matrix, In: *Proceedings of the International Conference on Dependability of Computer Systems*, p. 207-214.
- Shepherd, E. ve Geoffrey Y. (2003). *Managing records a handbook of principles and practices*. London: Facet Publishing.
- Sola, J. and Sevilla, J. (1997). Importance of input data normalization for the application of neural networks to complex industrial problems, *IEEE Transactions on Nuclear Science*, v. 44, n. 3, p. 1464-1468.
- Zhang, G., Patuwo, B. E. and Hu M. Y. (1998). Forecasting with Artificial Neural Networks: The State of The Art, *International Journal of Forecasting*, Vol.14, No-1, 35-62.



MÜHENDİSLİK
FAKÜLTESİ

Uluslararası Mühendislik
Araştırma ve Geliştirme Dergisi
International Journal of
Engineering Research and
Development

UMAGD, (2020) 12(3), s65-s72.




10.29137/umagd.843768

Cilt/Volume:12 Sayı/Issue:3 Aralık/December 2020 Özel Sayı / Special Issue

Araştırma Makalesi / Research Article

Fault Detection and Diagnosis Technic Using Electrical Characteristics of a PV Module and Machine Learning Classifier

Mouhamed Aghiad Raslan¹ , Ertuğrul Çam*¹ 

¹Faculty of Engineering, Department of Electrical & Electronics Engineering, Kırıkkale University, Kırıkkale, Turkey

Başvuru/Received: 25/10/2020

Kabul / Accepted: 08/12/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2020

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2020

Abstract

The growth of photovoltaic power plants is continuously rising, this growth would not be possible without safety, monitoring, and fault detection systems. In this paper, the common faults of a typical photovoltaic power plant that may occur in a photovoltaic module are discussed. Also, the paper studies the electrical characteristics of a photovoltaic module operating under several faults' conditions applied on a specially designed module that measures the output current of each substring by utilizing sensitive Hall Effect sensors. After obtaining the electrical characteristics under faults, using machine learning, two decision trees classifier models are trained, the first classifier is trained to detect and recognize faults. However, this classifier may confuse the partial shading case with several other faults. Hence, the second decision tree classifier is trained to distinguish the exact fault type when the module is operating under partial shading condition by applying a short-circuit test on the photovoltaic module. This design can be achieved by connecting current sensors in the junction box of a typical photovoltaic module.

Keywords

"Photovoltaic systems, Fault detection, machine learning classifiers, Fault recognition."

1. Introduction

Due to the continuous population increase and industrial growth, the energy demand increases proportionally. Today, more than 80% of the energy around the globe is produced from fossil fuel and nonrenewable energy resources, oil, coal, and natural gas being the top of the list (Key world energy statistics, 2019). Harvesting for energy sources with today's living standards opened the door to renewable energy power plants' growth. By the end of 2018, the total renewable energy capacity in the world, except hydropower, has reached 1179 GW (BP Energy, 2019). According to data gathered from the Republic of Turkey Energy Market Regulatory Authority's report (EPDK) (EPDK, 2018) and Turkey Electricity Transmission Company (TEİAŞ) (TEİAŞ, 2019), Turkey's total installed capacity and power generation have increased from 44,761 MW in 2009 to 91,267 MW in 2019, and from 194,813 GWh in 2009 to 303,655 GWh in 2019, respectively. In other words, Turkey's installed capacity and power generation have increased from 2009 to 2019, 103% and 56% respectively.

Due to the geographical location of Turkey, it has a high potential for solar power, according to the Solar Energy Potential Atlas (SEPA), which was provided by the Ministry of Energy and Natural Resources, the estimated annual sunshine duration is 2,737 hours (7.5h daily), this leads to an annual solar power of 1,527 kWh/m² (SEPA, 2018). As of the end of October 2020, the total solar energy power plants in Turkey has reached 7,104 power plant with a total capacity of 6,454 MW (TEİAŞ, 2019).

This growth in solar power plants would not be possible without monitoring, safety, and fault detection systems in Photovoltaic (PV) power plants. By realizing that among the most important reasons affecting the output power rate of a PV panel is, dirt-dust, partial shading condition, line-to-line fault, arc fault, open circuit fault, bypass diode failure (Mellit et al., 2018)(Triki-Lahianiet al., 2018)(Köntges et al., 2018) and similar factors that prevent to the panel from producing the rated output power. Along with these possible faults, determining the performance of the PV power system, identifying faults, and tracking energy efficiency are among the main objectives of a monitoring system. Today's monitoring systems are usually done at the PV array level and on the inverter and Maximum Power Point Tracking (MPPT) unit sides (Rezk et al., 2017). Since there are too many panels in a medium and large PV plant, it is important to identify and locate the fault accurately and quickly in the event of a failure (Guerriero et al., 2013). In PV systems, fault detection methods can generally be categorized as thermal, visual, and electrical methods (Andò et al., 2015). The approaches of electrical-based fault detection methods are, in turn; Approaches that do not need meteorological data such as irradiance values and temperature data, approaches in which the current and voltage characteristics of the PV power system are analyzed, approaches where the maximum power point is followed and using machine learning technics (Chine et al., 2016). In recent years, the use of machine learning and artificial intelligence techniques in fault detection in PV systems has been increasing.

The most common PV system faults are line-to-line fault, ground fault, open-circuit fault, soiling, partial shading, and bypass diode fault (Alam et al., 2015). A ground fault in PV systems is in short, an accidental connection between one point in the PV array and the ground, this connection leads to a significant current passing from the PV array to the ground. Ground faults occur due to cable insulation damage, ground fault inside the PV modules, short-circuit in the connection box, etc. when a ground fault occurs and the PV arrays are not well-grounded, it might lead to an electric shock. while line-to-line fault occurs due to a low impedance path or a short-circuit between two points in the PV arrays, in some cases, it may lead to a fire incident due to the reverse current flow (Duke Energy, 2011). The reasons for the line-to-line fault are basically the same as the ground fault's reasons. Basically, the line-to-line fault and the ground fault can be represented as short-circuit fault. Partial shading can be defined as non-uniform irradiance in the PV system, the main causes of this condition are heavy dust or leaves, bird dropping, and other natural factors. Partial shading causes hotspots that may accelerate the aging of PV modules, besides decreasing the power efficiency. Overcurrent and ground fault protection devices, as well as arc-fault circuit interrupters, are used in PV systems to reduce the risk of catastrophic disasters (Alam et al., 2015), (Zhao et al., 2014). However, these protection devices and technics may not be triggered by some of the moderate faults in PV systems, as these faults will reduce the power efficiency and the lifetime of PV arrays due to the nonlinear output characteristics of PV arrays and the current-limiting nature (Zhao et al., 2012). Therefore, PV arrays still need to be monitored continuously along with periodic maintenance to maintain the rated efficiency, lifetime, and safety. However, conventional checking methods and maintenance of a PV system tend to be time-consuming, subjective, have low accuracy, and potentially critical to the operators (Chouder & Silvestre, 2010), (Hernandez & Vidal, 2009). During the past decade, automatic fault detection and monitoring technics of PV systems have drawn the attention of researchers and engineers and become one of the major topics of research in the field of photovoltaic systems (Spagnuolo et al., 2015). In recent years, many kinds of monitoring and fault detection methods and diagnostic techniques of PV systems have been proposed, these approaches can be categorized into conventional threshold identifying methods, and machine learning and artificial intelligence approaches.

Several thresholding fault detection approaches have been proposed previously based on the analysis of output electrical characteristics (power, current, and voltage). For instance, Drews et al. (2007) proposed an approach based on satellite-derived irradiance inputs, these inputs are inserted into a simulation of a grid-connected PV system (Drews et al., 2007). The yields from the simulation then are matched with the measured yields from the actual system. The differences between the measured outputs and the simulation's outputs are analyzed for failure detection. Gokmen et. al. (2013) proposed a method for short-circuit and open-circuit fault detection and also differentiate them from the partial shading condition, by calculating the ambient temperature and the operating voltage of the PV string (Gokmen et al., 2013). This method assumes that the PV array is operating under maximum power point (MPP). However, the operating

point is not the actual MPP, due to the continuously varying irradiance and temperature, as well as the limited ability of the maximum power point tracking (MPPT) unit of keeping the array operating under MPP. In addition, the PV arrays' operating point only provides a small amount of data, which could be insufficient for locating and detecting a failure, and that might extremely alter the fault detection performance. Ali et. al. (2017) developed a real-time fault diagnosis and monitoring method by obtaining the voltage and current readings from the faulty PV panel and compare them with its accurate model, by identifying some specific characteristics and deformations on the I-V curve that differentiate each fault on the PV panel. This technic recognizes interconnection resistance faults and some different shading conditions (Ali et al., 2017). However, this method is still based on identifying a threshold for normal operation and PV panel operating under fault. The measurements were done under ideal conditions to define the normal operation and under fault conditions, as mentioned in the literature the PV panel operates under different uncontrollable conditions such as solar irradiance and ambient temperature. Mekki et. at. (2016) introduced a fault diagnosis method for partially shaded PV modules. This technic uses an artificial neural network to estimate the output power of a PV module under different conditions. The method relies on measuring the output current and voltage and measuring the cell's temperature. By analyzing the estimated output power with the measured data yields together achieves useful information on the operating status of the PV module (Mekki et al., 2016). However, the observed data cannot differentiate the fault type and the location of the fault in the PV system.

In this paper, based on the voltage and current output characteristic of the PV module, a decision tree classifier is trained to analyze the output of each substring current in the PV module and the overall output voltage to differentiate the type of fault in real-time. The trained model is able to identify automatically several different common faults in a PV system, including degradation fault, open-circuit fault, short-circuit fault, object or dirt on the PV panel, and different kinds of partial shading including soiling recognition. By connecting a Hall Effect sensor to each substring to measure the output current under several tests to identify and locate the fault in real-time. The proposed method operates under the PV module's MPP, and when analyzing more complicated faults such as degradation and soiling, the trained model inters to diagnosis mode, where it operates the PV module under short-circuit tests for fractions of a second to estimate the location and the type of the fault on substring levels. In this paper, a practical simulation of each fault is presented and carried out on a custom-made PV module for deep studying the electrical characteristics of a PV module operating under several different faults.

2. Practical fault simulation

To illustrate the impact of the faults on the output current and voltage of the studied PV module, these fault simulations are carried out by observing the changes of the four outputs, SS1, SS2, SS3, and Voltage, as shown in the module's scheme in Figure 1. The PV module is operating under 500 W/m² irradiance at 25 °C temperature.

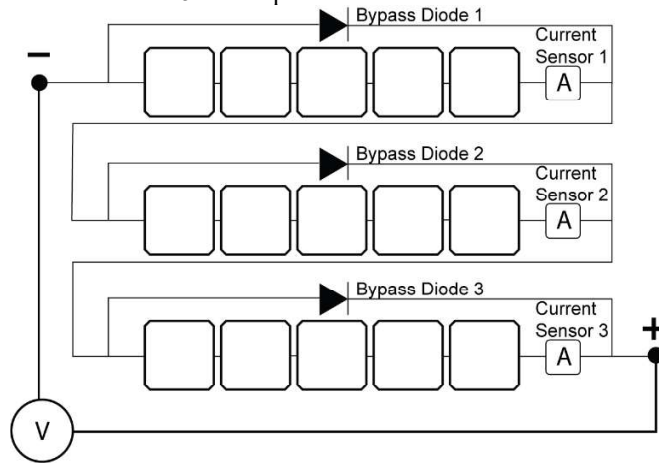


Figure 1. The electrical scheme of the PV module.

2.1 Dirt test simulation

This experiment is carried out by placing an object above one PV cell only. Shading one cell in a substring leads to a reverse bias on the behavior of the shaded cell (Jung et al., 2013). Figure 2 shows the effect of the shaded cell on the overall current of the substring that contains the shaded cell. also, a voltage drop is noticed due to the series connection of the substrings.

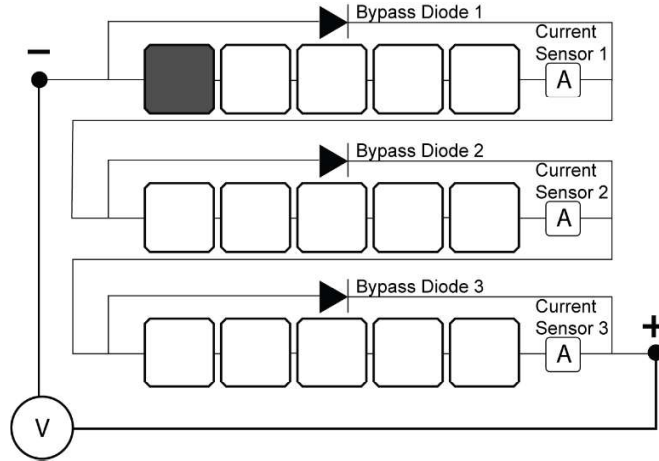


Figure 2. The dirt simulation applied to the PV module.

2.2 Shading test 1 simulation

In this experiment, an object is placed in front of the PV module shading partially several PV cells while operating under MPP load. Figure 3 shows the scheme of the PV panel along with the shaded PV cells.

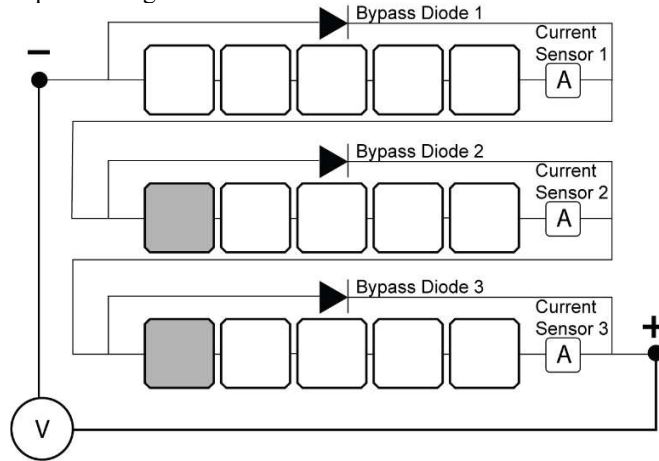


Figure 3. Partially shading the PV module under MPP load.

2.3 Shading test 2 simulation

This test illustrates the impacts of soiling of a PV module, where a tinted transparent sheet is placed above the PV module to represent a dusty PV panel, as shown in Figure 4, the scheme of the PV module completely shaded by a transparent sheet.

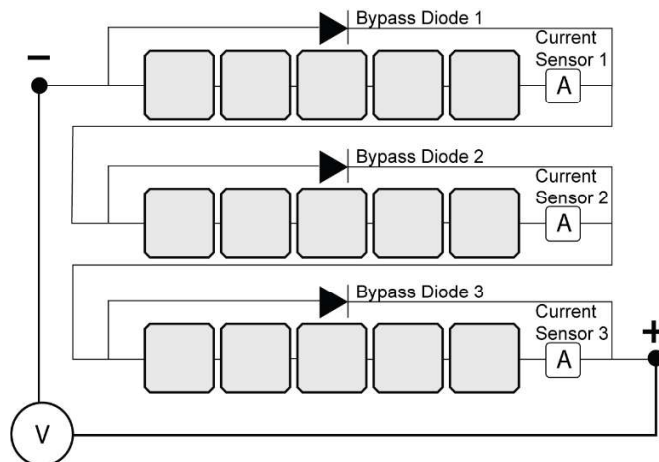


Figure 4. Scheme of the PV module shaded by a transparent sheet to simulate soiling condition.

2.4 Degradation test simulation

Degradation fault in this simulation represents the interconnection failure in the ribbons of the PV cell, increase of the series resistance of a PV cell (Chen et al., 2017), and delamination of the front encapsulant (Triki-Lahianiet al., 2018). In this test, the degradation fault is achieved by adding a resistor in series to one of the substrings, this increases the series resistance R_s of the PV cells since it is more common and has a greater impact on the PV's power efficiency. The simulation is carried out by adding a 4-ohm resistor in series to substring 1 as shown in Figure 5.

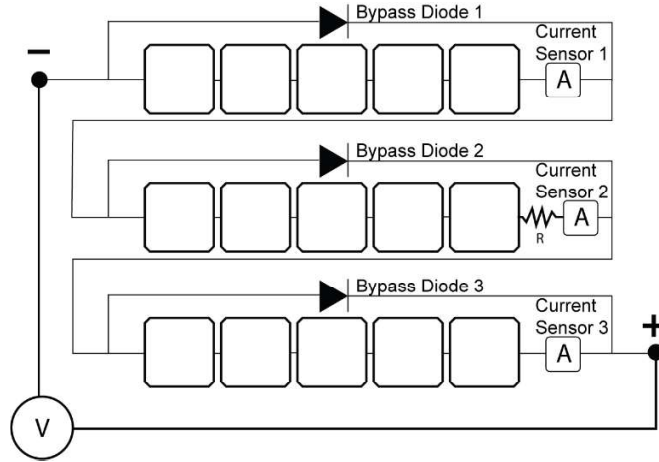


Figure 5. Degradation simulation test by connecting the resistor $R = 4$ ohm.

2.5 Bypass diode failure test simulation

This experiment is simulated by short-circuiting the terminals of the bypass diode which is connected in parallel with a substring. In this case, the short-circuited substring's current is increased, and the output power is decreased significantly as the substring is considered completely canceled. Figure 6 illustrates the scheme of the PV module under the bypass diode fault.

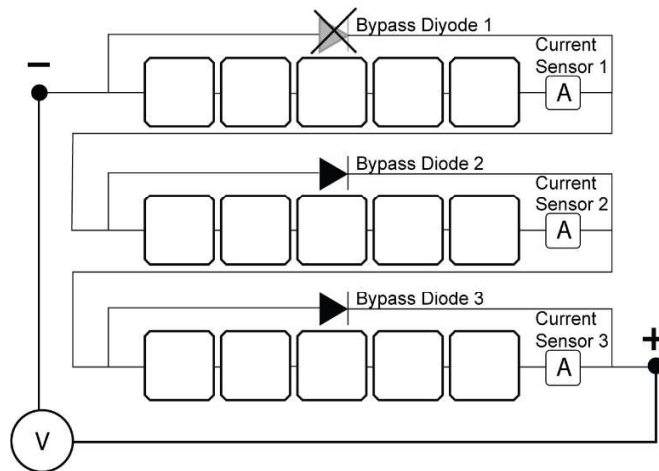


Figure 6. Bypass diode failure simulation test, Bypass Diode 1 is neglected.

2.6 Short-circuit fault test

It can be simply simulated by short-circuiting the terminals of the PV module as presented in Figure 7.

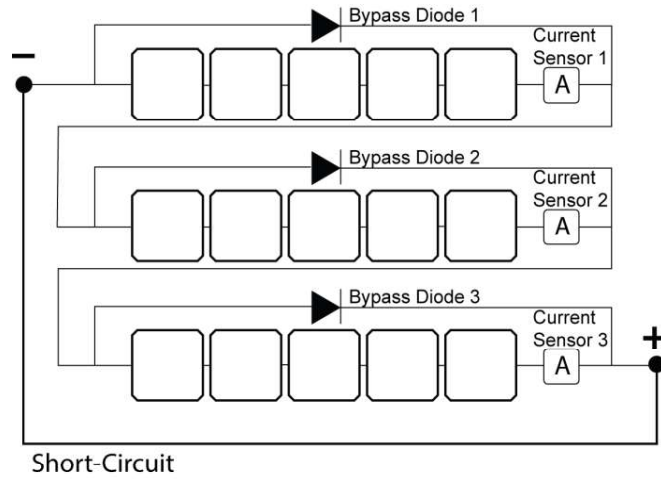


Figure 7. Short-circuit simulation on the PV module.

2.7 Open-circuit fault test

It can be achieved by simply disconnecting the load from the PV module.

3. Decision tree model training

This model is trained using 4 electrical parameters from the PV module including SS_1 , SS_2 , SS_3 , and V_{out} , SS refers to the output current from a substring along with the number of the substring.

A decision tree classifier has been trained on over 3,500 sets of input data, the decision tree classifier has a solid advantage of using different decision rules along with feature subsets at a different level of classification (Du & Sun, 2008). The training process was achieved through 4 major steps:

Step 1: acquiring parameters from the PV module under different types of faults and conditions, the acquired parameters are SS_1 , SS_2 , SS_3 , and V_{out} .

Step 2: classifying data according to each fault type, and certainly classifying the Normal condition when the PV module is operating under no-fault.

Step 3: dividing the data samples randomly into two data sets, training data sample, and testing data sample. The decision tree classifier is trained through the training data set, while the testing data set is utilized to validate the trained model.

Step 4: obtaining the trained decision tree model and insert it into the real-time data acquisition program for further testing.

The trained model's classes are divided into two branches, the first branch contains the detectable faults under MPP, while the second branch consists of fault detection using a short-circuit test. Figure 8 represents the flowchart of the fault detection process using two training data sets, one for MPP condition and one for short-circuit test.

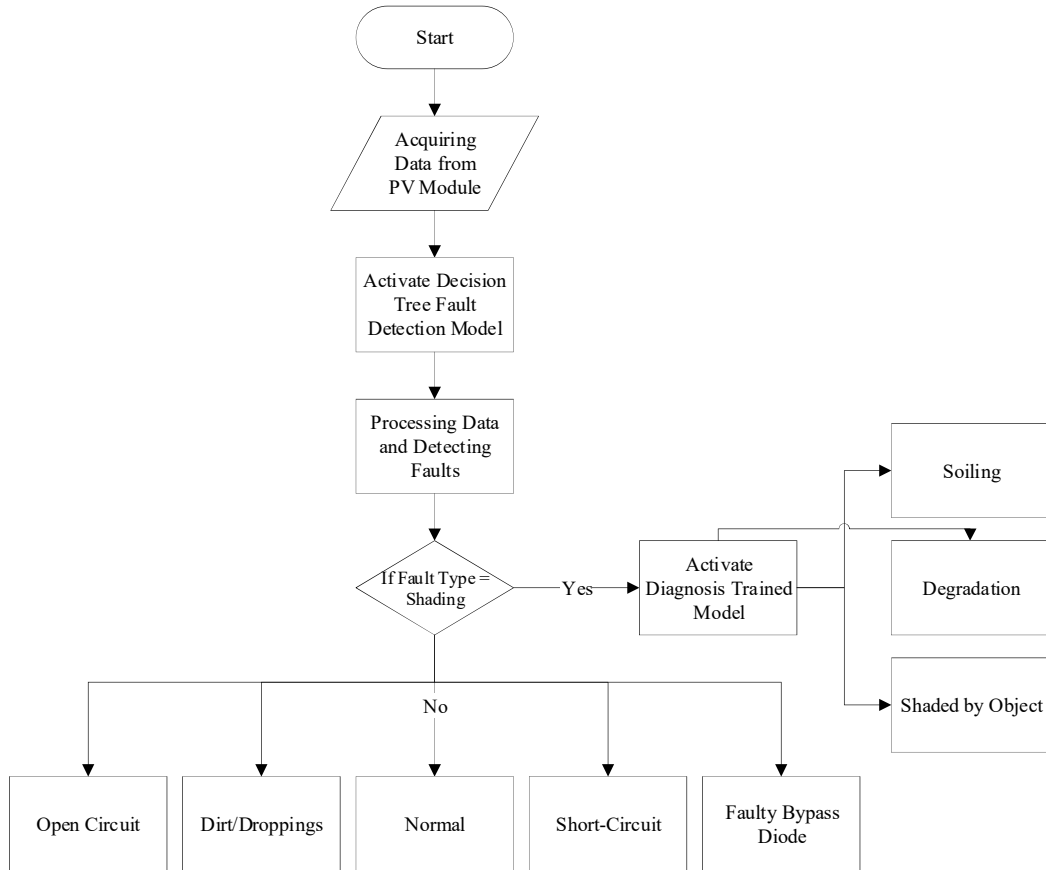


Figure 8. The work flow of the fault detection process.

The reason behind utilizing the short-circuit test is to identify the degradation fault and the soiling fault and to distinguish these two faults from the partial shading fault in case the PV module is shaded by an object. As is degradation or soiling cases, the first model will acquire a partial shading fault continuously, and in this case, the second model will be deployed to identify the fault and initiate the short-circuit test on the PV module. In literature, the degradation fault cannot be detected using the conventional measurement technics of the voltage and current of a PV module under the short-circuit test (Chen et al., 2017). However, the novelty of the proposed fault detection and recognition method is abbreviated by using measurements in substring levels that can distinguish the current differences from each substring under the short-circuit test. Figure 9 and Figure 10 shows the trained decision trees of normal operating condition and operating under the short-circuit condition.

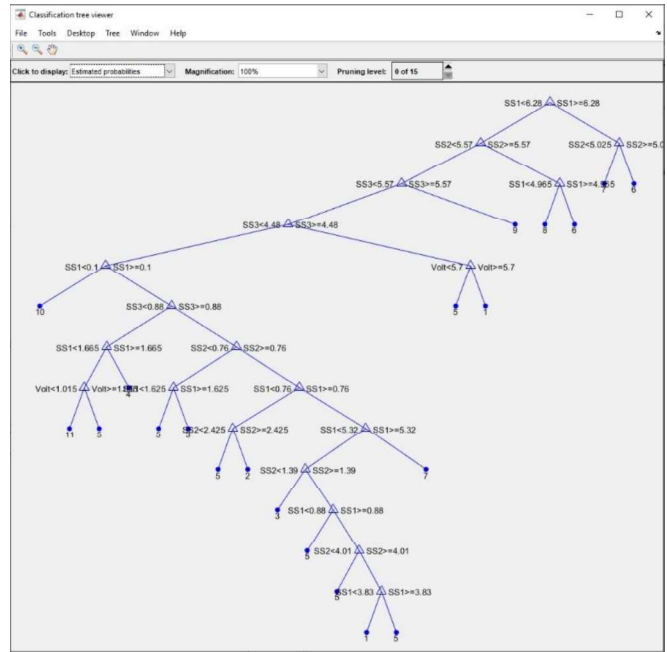


Figure 9. Fault detection decision tree of the trained model.

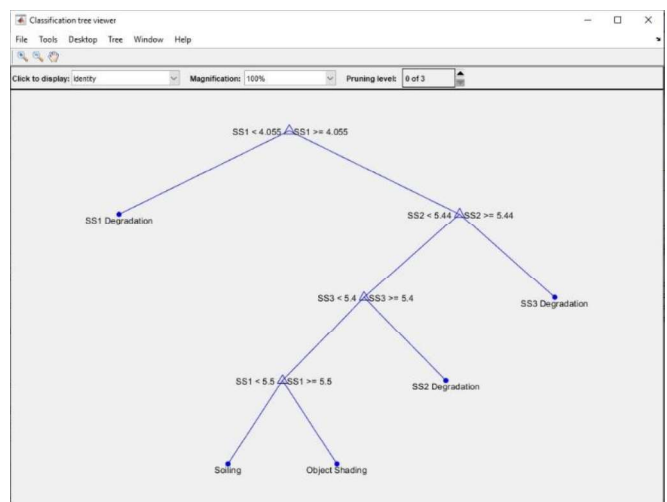


Figure 10. The decision tree of the diagnosis trained model for partial shading condition.

4. Results

After training the model using MATLAB Classifier Learner Application and optimizing the fault recognition, a confusion matrix is generated for each trained model. As shown in Figure 11.

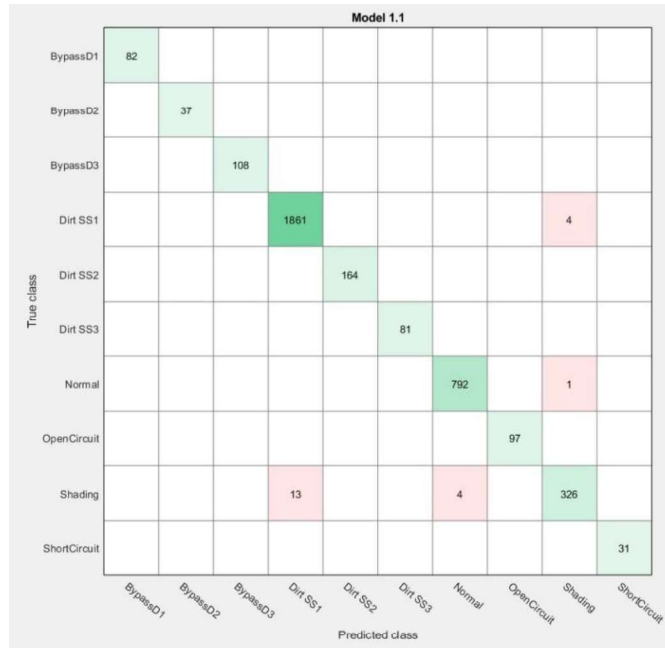


Figure 11. Confusion matrix of the fault detection trained model.

As for the second trained model that analyzes the continuous shading condition to distinguish the degradation and soiling faults, the confusion matrix is shown along with faults' classes in Figure 12.

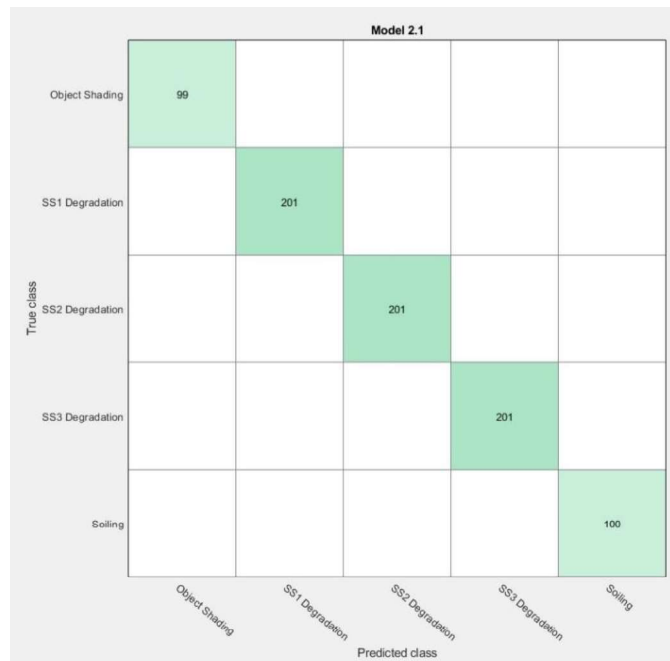


Figure 12. The confusion matrix of the trained diagnosis model.

In Figures 13 to 20, the data charts collected from the PV modules along with fault recognition results are shown. The results are obtained during real-time data acquisition and real-time fault detection.

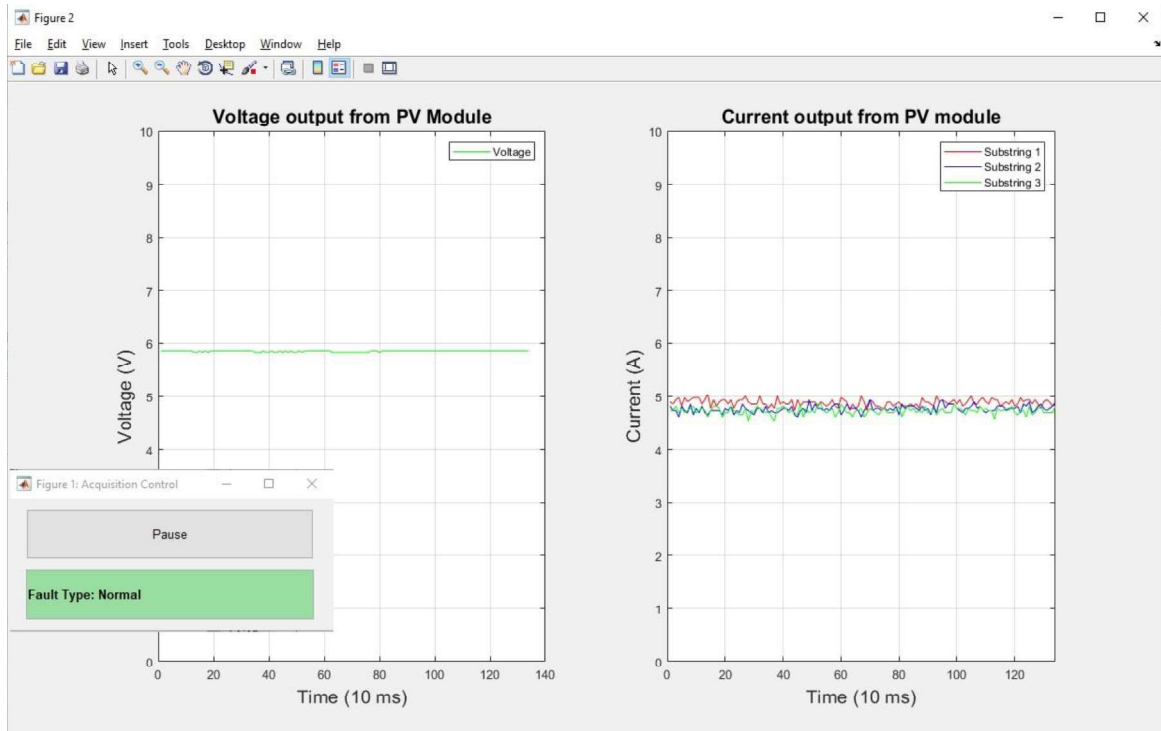


Figure 13. The PV module is operating normally under no fault condition; the prediction is shown in the colored box as: Normal.

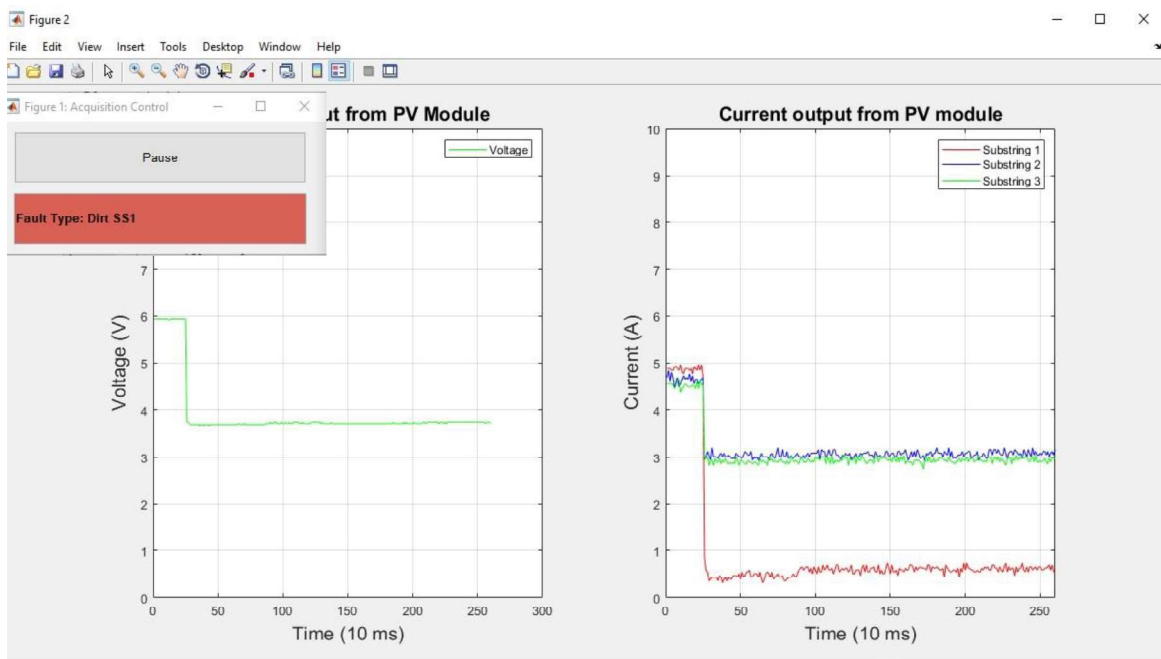


Figure 14. The PV module is operating under dirt condition by covering one PV cell from substring 1.

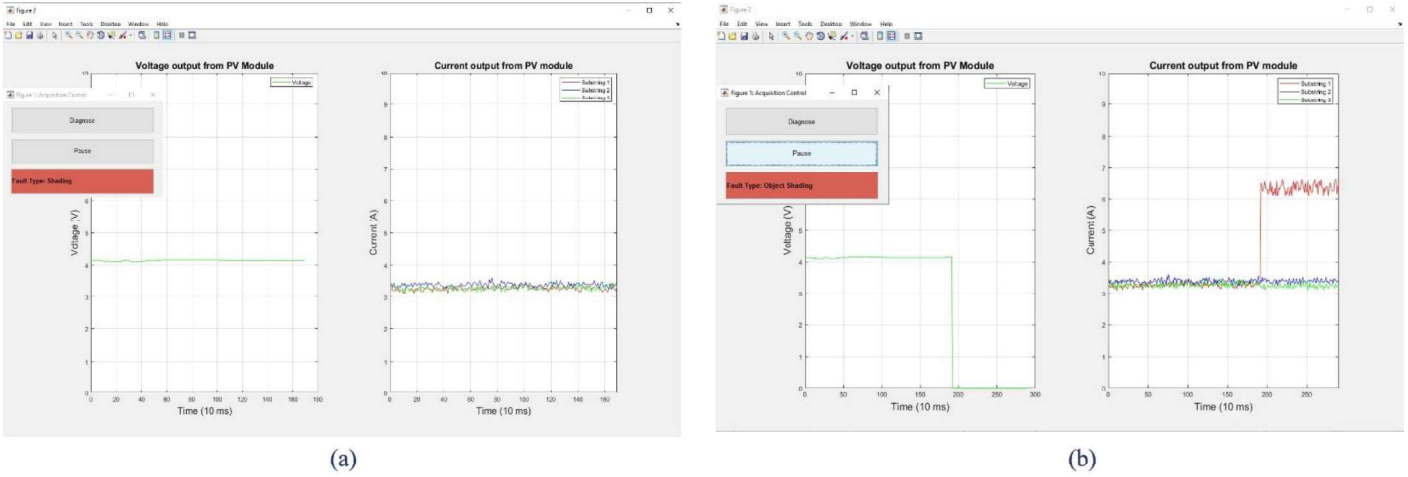


Figure 15. Shading test 1 results, (a) before activating the diagnosis model. (b) After activating the diagnosis model while the PV module is operating under short-circuit test.

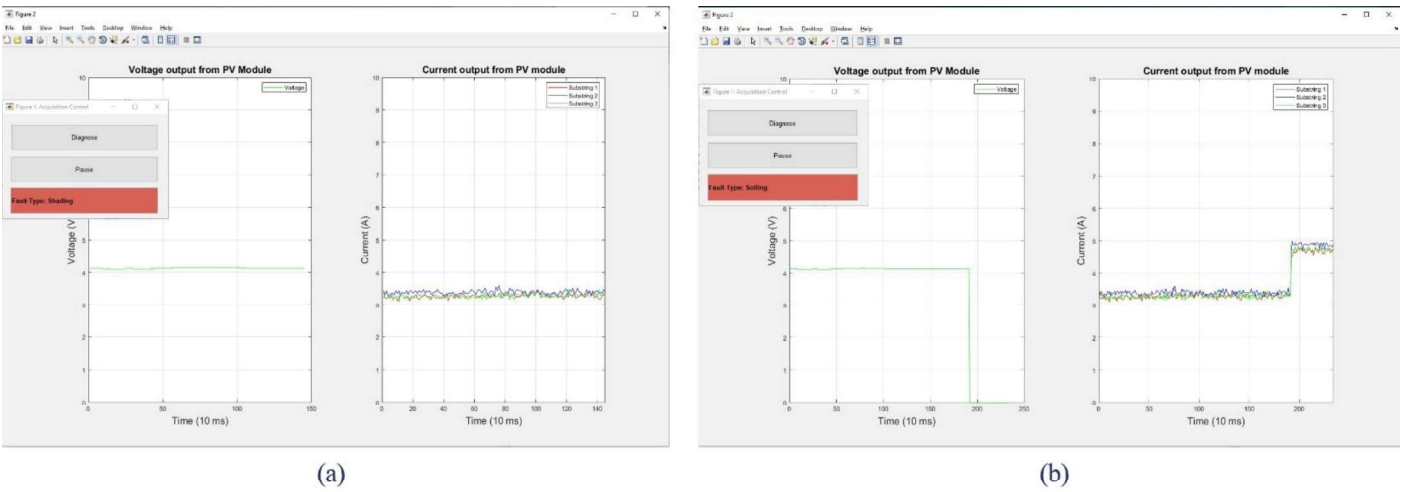


Figure 16. Shading test 2, (a) the fault detection model detecting shading. (b) fault diagnosis model recognizing soiling condition.

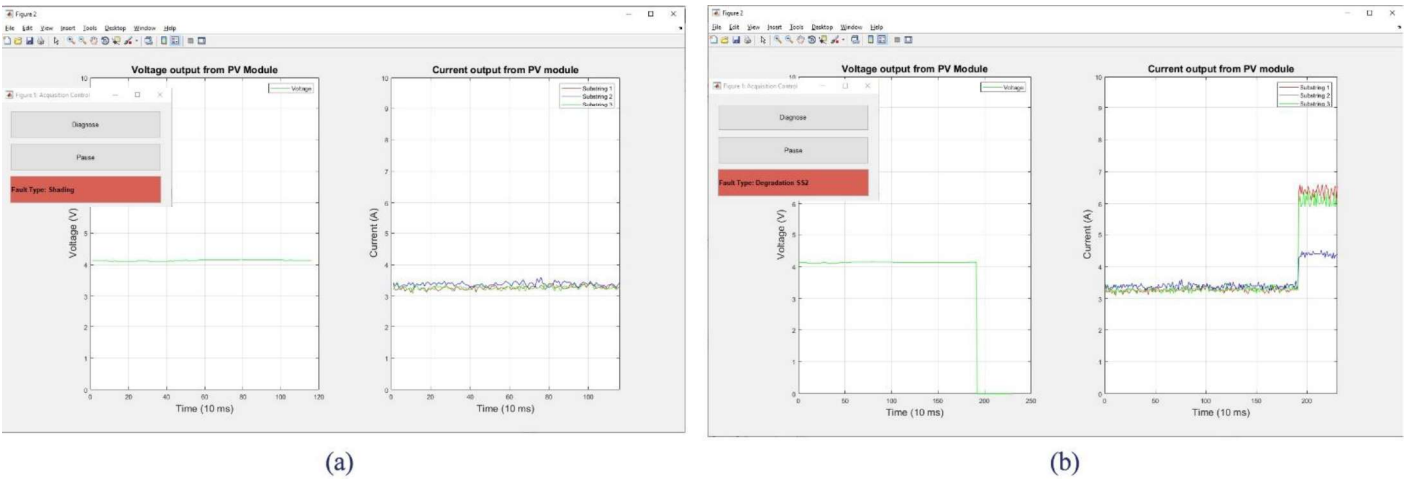


Figure 17. Degradation test results. (a) Degradation misread as shading by fault detection model. (b) Degradation recognized by the diagnosis model.

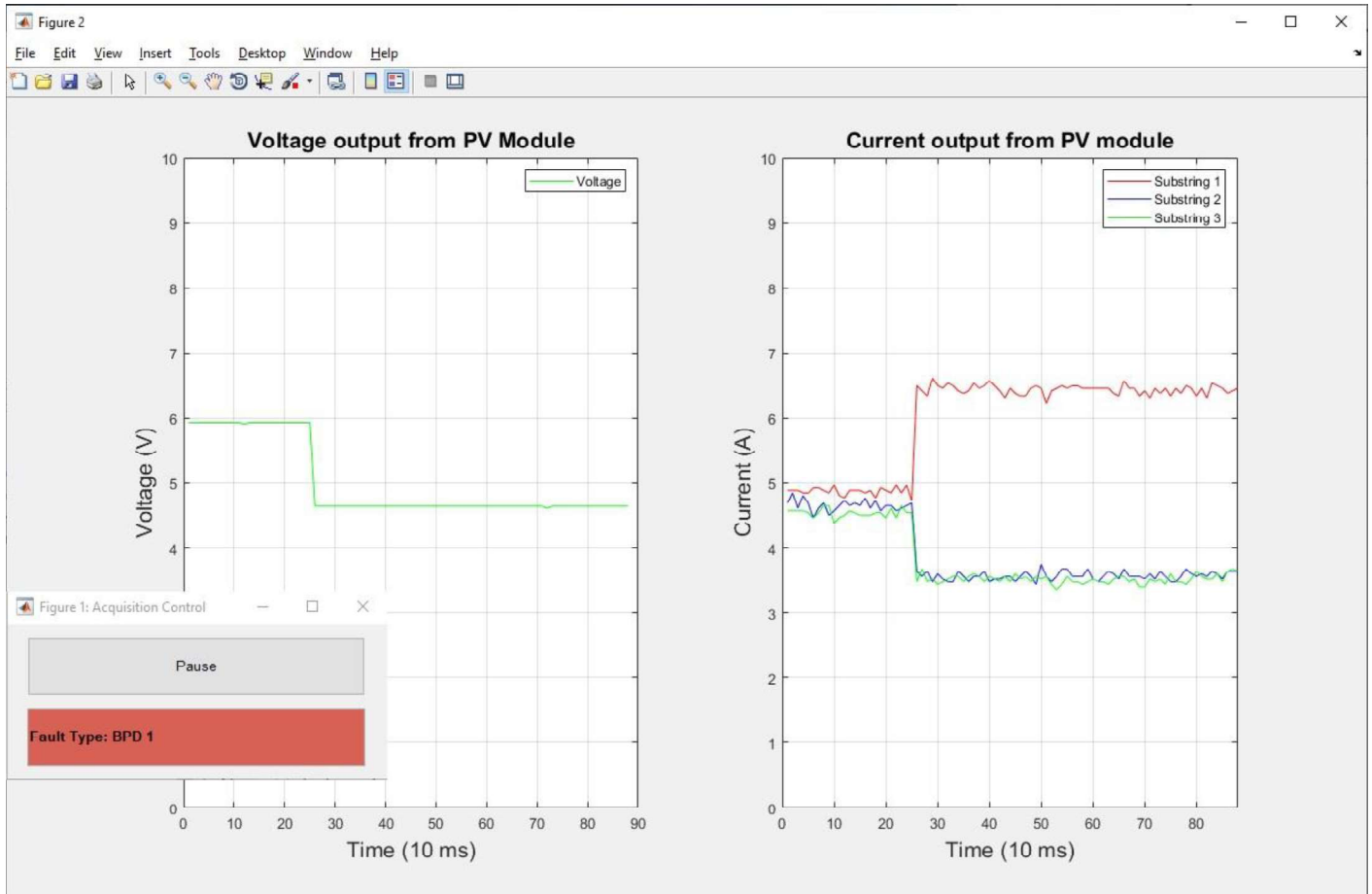


Figure 18. Bypass diode failure test recognized by fault detection model.

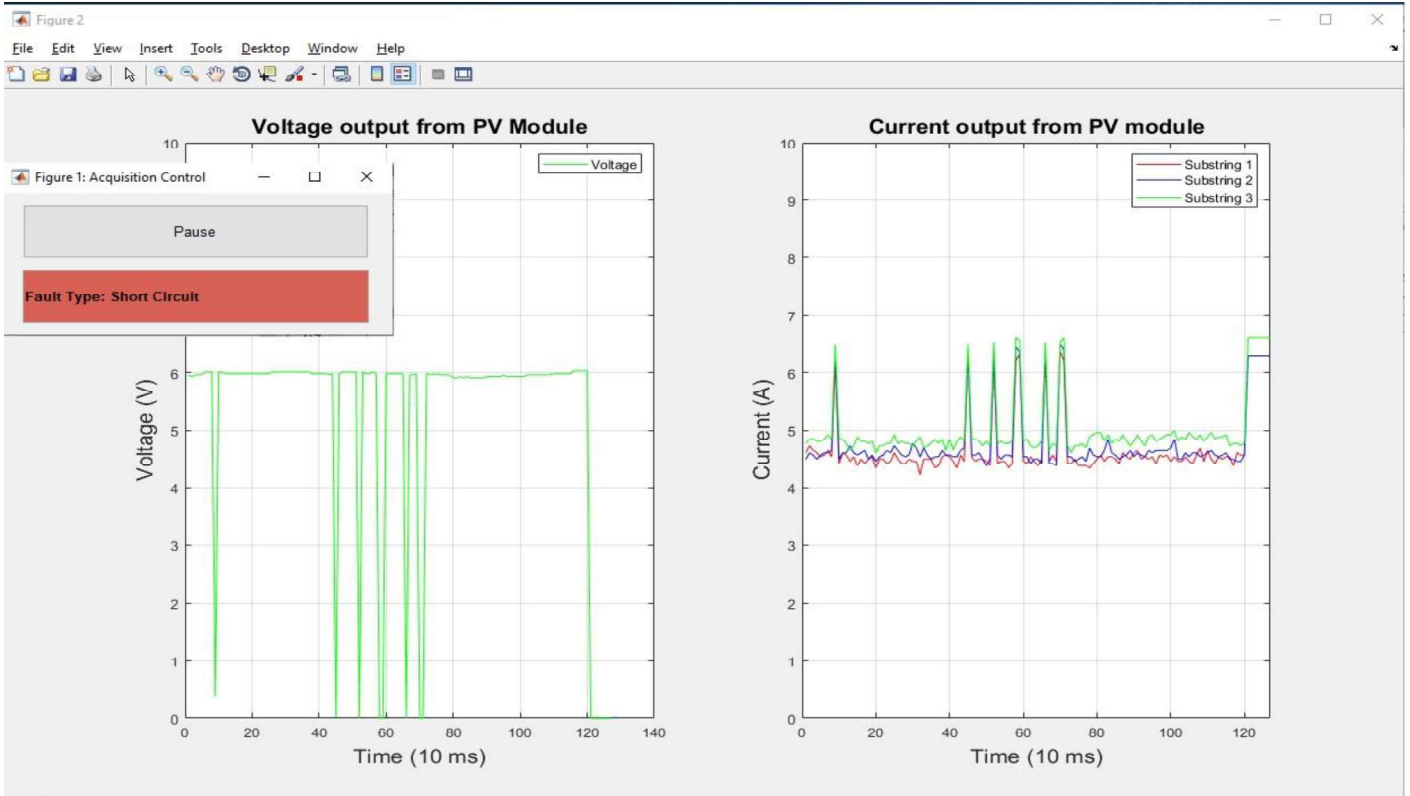


Figure 19. Short-circuit test detected by fault detection model.

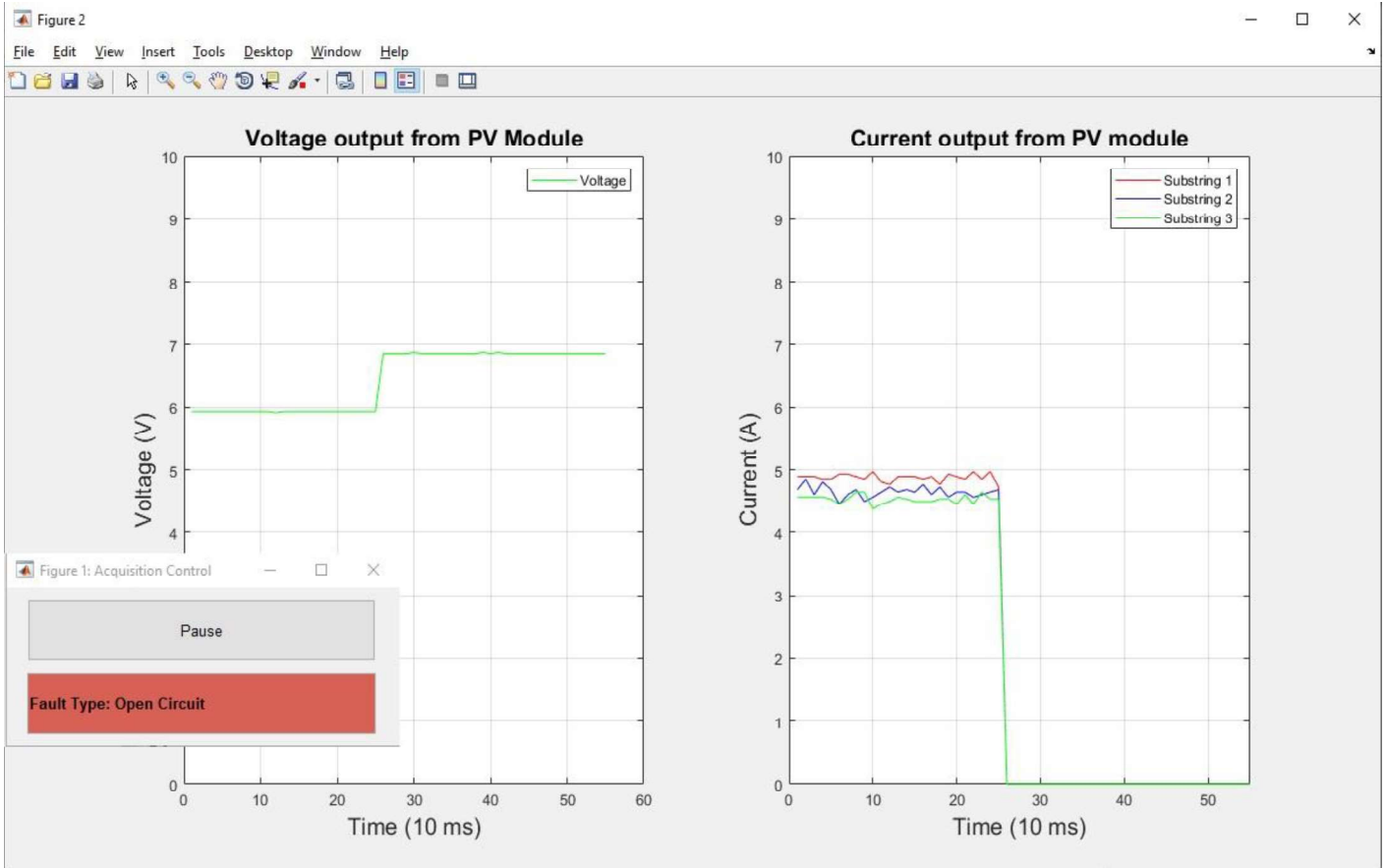


Figure 20. Open circuit fault detected by fault detection model.

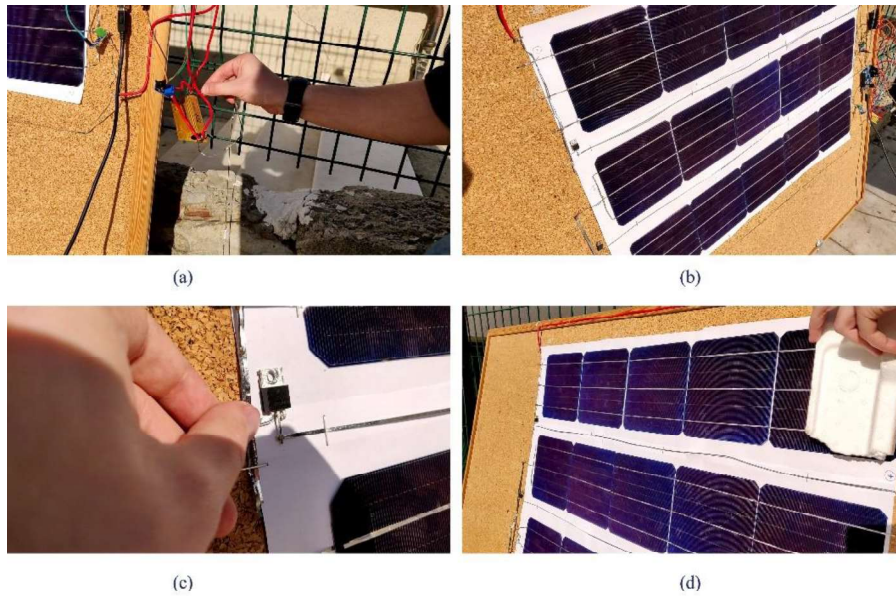


Figure 21. The PV module while applying the test, (a) Short-circuit test, (b) Normal operation, (c) Bypass diode failure, (d) Dirt shading test.

5. Conclusion

In this paper, based on the electrical characteristics of a PV module operating under fault and Decision tree classifier, a novel fault detection and recognition approach is proposed to accurately detect and identify some of the most common faults in a typical PV

module. including short-circuit fault, open-circuit fault, bypass diode failure, degradation fault, and specifying the partial shading cases whether it is soiling, shaded by dirt, or shaded by an object. The fault detection and recognition Decision tree classifier is validated based on data sets acquired from an actual PV module operating under different conditions. The proposed model of the PV module can be achieved by connecting current measuring devices to the bypass diodes in the junction box of a typical PV module. It has proven its reliability in detecting and diagnosing the most common faults. This model can be improved by adding irradiance and temperature sensors to the module to increase the efficiency and reliability of the trained model.

References

- Ali, M. H., Rabhi, A., El Hajjaji, A., & Tina, G. M. (2017). Real time fault detection in photovoltaic systems. *Energy Procedia*, 111, 914-923.
- Alam, M. K., Khan, F., Johnson, J., & Flicker, J. (2015). A comprehensive review of catastrophic faults in PV arrays: types, detection, and mitigation techniques. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 5(3), 982-997.
- Andò, B., Baglio, S., Pistorio, A., Tina, G. M., & Ventura, C. (2015). Sentinella: Smart monitoring of photovoltaic systems at panel level. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 64(8), 2188-2199.
- BP Energy, BP Energy Outlook 2019 edition, 2019. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2019.pdf> (accessed December 8, 2020).
- Chen, Z., Wu, L., Cheng, S., Lin, P., Wu, Y., & Lin, W. (2017). Intelligent fault diagnosis of photovoltaic arrays based on optimized kernel extreme learning machine and IV characteristics. *Applied*
- Chine, W., Mellit, A., Lughfi, V., Malek, A., Sulligoi, G., & Pavan, A. M. (2016). A novel fault diagnosis technique for photovoltaic systems based on artificial neural networks. *Renewable Energy*, 90, 501-512.
- Chouder, A., & Silvestre, S. (2010). Automatic supervision and fault detection of PV systems based on power losses analysis. *Energy conversion and Management*, 51(10), 1929-1937.
- Drews, A., De Keizer, A. C., Beyer, H. G., Lorenz, E., Betcke, J., Van Sark, W. G. J. H. M., ... & Bofinger, S. (2007). Monitoring and remote failure detection of grid-connected PV systems based on satellite observations. *Solar energy*, 81(4), 548-564.
- Du, C. J., & Sun, D. W. (2008). Object Classification. *Computer vision technology for food quality evaluation*, 81.
- Duke Energy, NC PV DG program SEPA presentation. (2011) 1–14.
- EPDK, Elektrik Piyasası Yıllık Sektör Raporu, (2018). <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-24-3/elektrikyllik-sektor-raporu>.
- Gokmen, N., Karatepe, E., Silvestre, S., Celik, B., & Ortega, P. (2013). An efficient fault diagnosis method for PV systems based on operating voltage-window. *Energy conversion and management*, 73, 350-360.
- Guerriero, P., d'Alessandro, V., Petrazzuoli, L., Vallone, G., & Daliento, S. (2013, June). Effective real-time performance monitoring and diagnostics of individual panels in PV plants. In *2013 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)* (pp. 14-19). IEEE.
- Hernandez, J. C., & Vidal, P. G. (2009). Guidelines for protection against electric shock in PV generators. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 24(1), 274-282.
- Jung, T. H., Ko, J. W., Kang, G. H., & Ahn, H. K. (2013). Output characteristics of PV module considering partially reverse biased conditions. *Solar Energy*, 92, 214-220.
- Key world energy statistics, 2019. https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/Key_World_Energy_Statistics_2019.pdf.
- Köntges, M., Kurtz, S., Packard, C. E., Jahn, U., Berger, K. A., Kato, K., ... & Miller, D. (2014). Review of failures of photovoltaic modules.
- Mekki, H., Mellit, A., & Salhi, H. (2016). Artificial neural network-based modelling and fault detection of partial shaded

photovoltaic modules. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 67, 1-13.

Mellit, A., Tina, G. M., & Kalogirou, S. A. (2018). Fault detection and diagnosis methods for photovoltaic systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 1-17.

Rezk, H., Tyukhov, I., Al-Dhaifallah, M., & Tikhonov, A. (2017). Performance of data acquisition system for monitoring PV system parameters. *Measurement*, 104, 204-211.

SEPA, SEPA, (2018). <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> (accessed June 24, 2020).

Spagnuolo, G., Xiao, W., & Cecati, C. (2015). Monitoring, diagnosis, prognosis, and techniques for increasing the lifetime/reliability of photovoltaic systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(11), 7226-7227.

TEİAŞ, Electricity Statistics, 2019. <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/kurulu-guc-raporlari>.

Triki-Lahiani, A., Abdelghani, A. B. B., & Slama-Belkhdja, I. (2018). Fault detection and monitoring systems for photovoltaic installations: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 2680-2692.

Zhao, Y., De Palma, J. F., Mosesian, J., Lyons, R., & Lehman, B. (2012). Line–line fault analysis and protection challenges in solar photovoltaic arrays. *IEEE transactions on Industrial Electronics*, 60(9), 3784-3795.

Zhao, Y., Ball, R., Mosesian, J., de Palma, J. F., & Lehman, B. (2014). Graph-based semi-supervised learning for fault detection and classification in solar photovoltaic arrays. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 30(5), 2848-2858.



MÜHENDİSLİK
FAKÜLTESİ

Uluslararası Mühendislik
Araştırma ve Geliştirme Dergisi
International Journal of
Engineering Research and
Development

UMAGD, (2020) 12(3), s89-s106.



10.29137/umagd.817981

Cilt/Volume:12 Sayı/Issue:3 Aralık/December 2020 Özel Sayı / Special Issue

Araştırma Makalesi / Research Article

Performance Analysis for Load Frequency Control of Interconnected Power Systems with Different Techniques

Feyza Nur Çakıcı¹, İbrahim Eke¹, Mustafa Saka², M. Cengiz Taplamacıoğlu²

¹Kırıkkale University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Kırıkkale, TURKEY

²Gazi University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Ankara, TURKEY

Başvuru/Received: 01/11/2020

Kabul / Accepted: 14/12/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2020

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2020

Abstract

In the interconnected power system, frequency is one of the most important criteria determining system stability. Since interconnected systems consist of more than one region, load frequency control (LFC) is very complicated. For this reason, load frequency control analysis has been performed for interconnected power systems consisting of two and four regions in this article. Vortex Search Algorithm (VSA), Salp Swarm Algorithm (SSA) and Sine Cosine Algorithm (SCA) are used to determine the filter coefficient proportional-integral-derivative controller (PID-N) parameters of these interconnected systems. The results obtained are analyzed for overshoot (OS), undershoot (US) and settling time (ST) values for each region. It is observed that different system performances are obtained using by these methods. In addition, all system performances are significantly improved with the selected methods.

Keywords

“LFC, PID-N controller, SCA, SSA, VSA”

1. Introduction

Depending upon the best industrial revolution as it increases, the energy consumption is also increased rapidly. In addition, the level of development of countries and the amount of electrical energy consumed per person draws an increasing graphic. While energy consumption is increasing, the quality of energy is also because an important issue. Mainly system frequency and voltage determine the power quality. It takes longer time to control the frequency than the voltage. Thus, frequency control in the power system should be controlled first. In this power system, the frequency can remain constant with the active power balance, as the rated frequency depends on the active power balance produced and consumed.

If the change in the frequency of the power system exceeds the acceptable level, it can cause significant instability problems. It may stop the power plants in the system and even crash the system. For example, the system crash that occurred in Turkey in 2015 and affected 77 million people. This clearly shows how important load frequency control is for electric power systems. Fixed frequency values 49.2-50.8 Hz for Union for the Coordination of Transmission of Electricity (UCTE) and 50 Hz for Turkey as it is determined (UCTE, 2004). Changes in the active power balance lead to changes in frequency. Because the frequency is effective at every point of system, it is noticeable in the entire system.

Deviations in frequency can occur if the active power balance in the system exceeds the demanded power. The speed of the generator increases, so it increases the system in frequency. Conversely, the frequency decreases if the amount of production is less than the demanded power. Because of this, the mismatch between generated energy and the demanded energy causes deviations in frequency. Although the frequency deviation that occurs is not the desired situation, it is not possible for this situation to not occur.

Deviations in the frequency of the system are fixed by controlling the generator. Generators feed loads so ensuring regular operation of the system. Load control of the generator is provided by load frequency control. As a result, adjusting generated electricity and frequency according to the demanded electricity and frequency is called 'Load Frequency Control' (Gümüş, 2012).

PID-based controllers are often used to reduce the continuous state error occurring at frequency. Different optimization algorithms have been used to determine the optimal values of these control parameters for LFC. Particle Swarm Optimization Algorithm (PSO) (Gözde, et al., 2010), Harmony Search Algorithm (HSA) (Omar, et al., 2015), Bacterial Foraging Optimization Algorithm (BFOA) (Ali&Abd-Elazim, 2011), Ant Colony Algorithm (ACO) (Omar, et al., 2013), Artificial Bee Algorithm (ABC) (Rathar,et al., 2011), Central Force Algorithm (CFO) (Formato, 2007), Firefly Algorithm (FA) (Naidu, et al., 2013), League Championship Algorithm (LCA) (Kashan, et al., 2009), Group Search Optimization (GSO) (He, et al., 2009), Gravitational Search Algorithm (GSA) (Safi, et al., 2018), Teaching-Learning-Based Optimization (TLBO) (Sahu, et al., 2015), methods are some of them. In this study, PID-N controller is used to perform load frequency control of two and four region power systems. The optimal control parameters of PID-N controller are determined comparatively by VSA (Dogan,et al., 2015), SSA (Mirjalili,et al., 2017) and SCA (Mirjalili, et al, 2016). Obtained results are examined by taking into account different system performances.

The remainder of the article is as follows: In the section 2, using comprehensive model for LFC is expressed and also some definitions are given. In the section 3, information about the PID-N controller is given. In the section 4, the methods used to adjust the controller parameters (VSA, SSA and SCA) are briefly described. In the section 5, obtained results for selected interconnected systems are given and in the section 6 main outputs of the study are expressed as the Conclusions.

2. Load Frequency Control

Load frequency control is divided into three main parts. These are primary frequency control, secondary frequency control and tertiary frequency control.

When the demanded and generated electrical energy is not equal, the frequency deviates and following the primary control ensures the stability of the frequency by keeping the frequency deviations at an acceptable level. Frequency deviation is ± 200 mHz according to UCTE criteria (Yalçın, et al., 2016). If the frequency deviation exceeds the specified value, the primary frequency control is carried out by the speed regulator located in the production center of the power systems.

Since sudden load changes may occurred in power systems, only primary frequency control cannot keep the frequency at rated value. In this case, it causes permanent state error. To eliminate the permanent state error, secondary frequency control is activated and controls the flow of power between systems. Area Control Error (ACE) information is obtained by collecting information on the frequency and connection line. Secondary frequency control returns the frequency to the rated value using Area Control Error information. As a result, primary frequency control intervenes suddenly and urgently to frequency deviation, while secondary control literally intervenes.

In tertiary frequency control, it is achieved by having secondary reserves by increasing/decreasing in the power of generators or by providing controlled loads in frequency distortions occurring due to other reasons. In addition, the other purpose of this control is to provide the power generation of each unit with the most economical way of demanded electricity.

In an interconnected power system, the stable operation of system can be achieved by keeping the frequency deviation in specific limits. In order to keep the frequency specific band width, the energy produced and the energy consumed must be equal. However, the frequency decreases as the load increases in the system and the frequency increases as the load decreases. The process of adjusting the changing load in the system to the generated power is called speed regulation (Karyeyen, et al. 2009). In this case, it causes the generator and turbines to go beyond the nominal frequency. It can cause the system breakdown.

Multi-region power system models can be thought about combination of a lot of single-region power system models. In the case of a load change in the first region, the load in frequency (Δf_N) is shown in equation (1). Where R stands for speed regulation, D for load damping constant and ΔP_L load disturbance.

$$\Delta f_N = \frac{-\Delta P_L}{\frac{1}{R_1} + \dots + \frac{1}{R_N} + D_1 + \dots + D_N} \tag{1}$$

The power deviation ΔP_{ij} that will occur on the connecting line of a multi-region power system is shown in the equation (2).

$$\Delta P_{ij} = \frac{-\Delta P_{Li} + (\frac{1}{R_j} + D_2)}{\frac{1}{R_1} + \dots + \frac{1}{R_i} + D_1 + \dots + D_i} \tag{2}$$

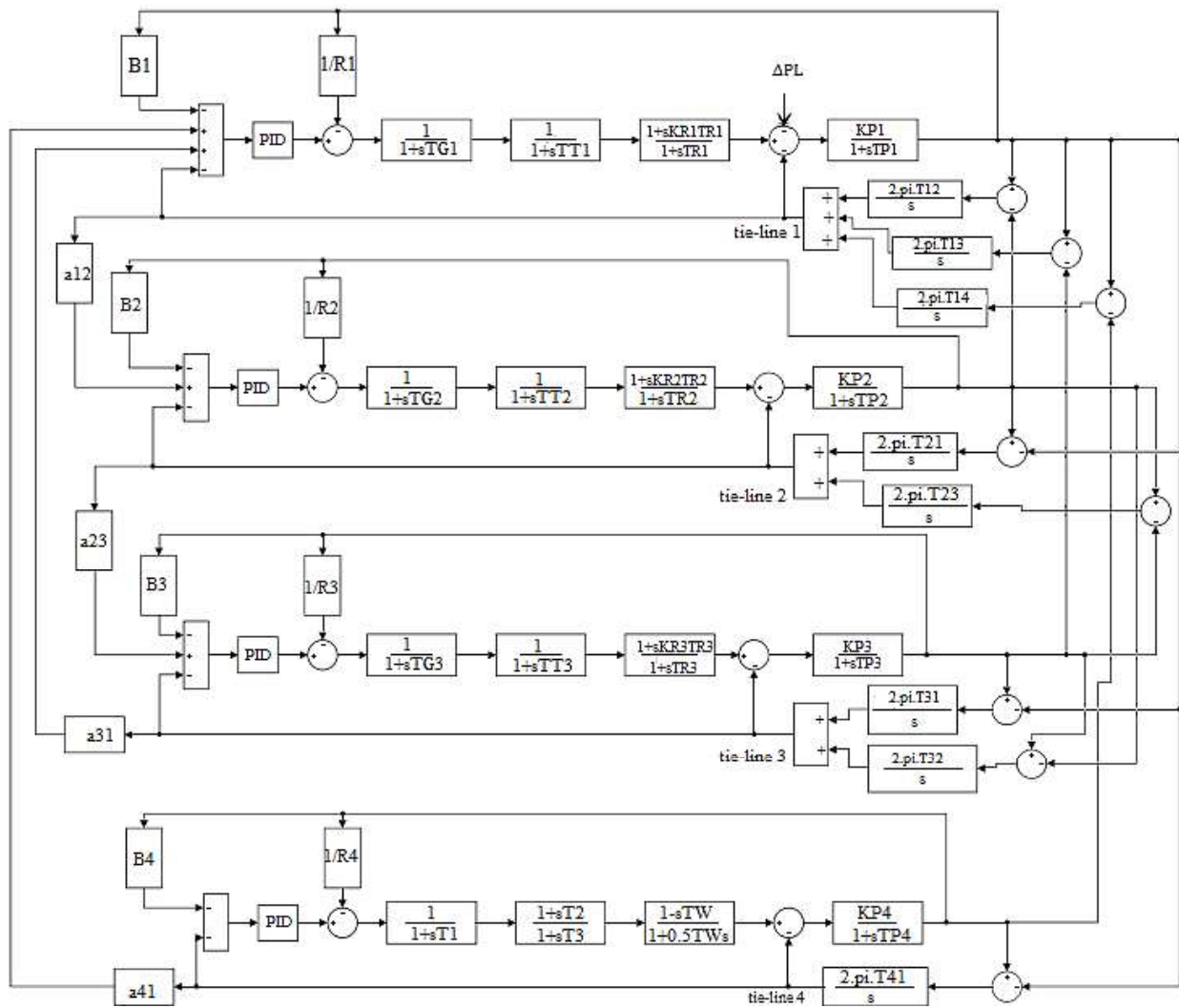


Figure 1. Multi-region power system model

Area control error is an important parameter to realize secondary frequency control. ACE (3) are obtained by collecting power and frequency deviation. This can be expressed in the following equation:

$$ACE_i = \sum_{j=1}^n \Delta P_{tie_{ij}} \pm \beta_i \Delta f \quad (3)$$

β_N represents the frequency polarization coefficient.

$$\beta_i = \frac{1}{R_i} + D_i \quad (4)$$

Calculated ACE values are used as the input data of the recommended PID-N controller. Thus, the optimal values of the controller parameters are determined and ACE is minimized.

The transfer function of the blocks in the considered LFC model are expressed in the following equations.

Governor changes the position of the control valve to adjust the steam flow to the turbine. The transfer function is given in equation (5). Where TG stands for speed regulator time constant.

$$\frac{1}{sTG+1} \quad (5)$$

The part diving the generator in the turbines is the drive unit. The transfer function is given in equation (6). Where TT stands for turbine time constant.

$$\frac{1}{sTT+1} \quad (6)$$

Generator/Load transfer function is expressed in equation (7). Where KP stands for system gain and TP system time constant.

$$\frac{KP}{sTP+1} \quad (7)$$

Tie-Line connects the two spate areas. Transfer function is expressed in equation (8). Where T_{ij} stands for synchronization coefficient.

$$\frac{2 \times \pi \times T_{ij}}{s} \quad (8)$$

Intermediate-Heater transfer function is expressed in equation (9). Where KR stands for Intermediate heating gain and TR for intermediate heating gain.

$$\frac{KR \times TR \times s + I}{TR \times s + I} \quad (9)$$

Hydro turbine transfer function is expressed in equation (10). Where TW stands for hydro turbine.

$$\frac{1 - s \times TW}{1 + 0.5 \times s \times TW} \quad (10)$$

Where stands for T2 and T3 synchronization coefficient.

$$\frac{1 + s \times T2}{1 + s \times T3} \quad (11)$$

3. PID-N Control

PID controller hasn't caused a problem in low order and linear systems. However, PID adjustment is slow in the changes that occur in nonlinear power systems. Also, frequency adjustment is difficult in multi-region power systems. PID controller may not give desired system performances in multi-region systems. For this reason, PID-N controller is proposed and its parameter values are found with VSA, SSA and SCA methods in this study. PID-N controller can be illustrated as follows:

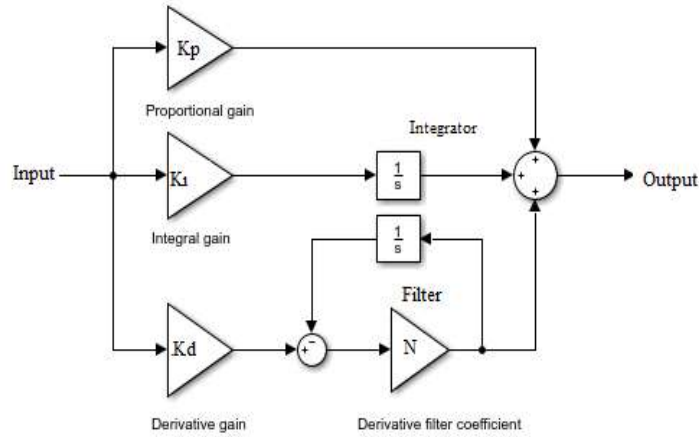


Fig. 2. PID-N controller model (Sahu, et al., 2014)

The increase or decrease of the power as a result of the changes in the load is carried out by speed regulators. The speed regulator is adjusted by the controller. Load frequency control is performed by adjusting the parameter values of the PID-N controller. The PID-N controller consist of four parameters K_P , K_I , K_D and N . PID-N controller is defined as follows:

$$K_P + \frac{K_I}{s} + K_D \times \frac{N}{(1+\frac{N}{s})} \tag{12}$$

Definitions of LFC system parameters are given following table:

Table 1. Abbreviations

	Symbols
Speed regulation (Hz/MW)	R
Load damping constant (MW/Hz)	D
Turbine time constant (sn)	TT
Speed regulator time constant (sn)	TG
Intermediate heating gain	KR
System time constant	TP
System gain	KP
Synchronization coefficient	T_{ij}
Integral constant	K_I
Hydro turbine	TW
Proportional constant	K_P
Derivate coefficient	K_D
Filter coefficient of controller	N
Filter polarization coefficient	β
Frequency change	Δf
Tie-line load flow change	ΔP_{tie}
Area control error	ACE
Load disturbance (MW)	ΔP_L
Intermediate heating time constant	TR

4. Using Methods to Set Controller Parameters

Vortex Search Algorithm (VSA) has good balance between exploration and exploitation. Salp Swarm Algorithm (SSA) has important features of adaptability, robustness and scalability. It is also easy to apply. Sine and Cosine Algorithm (SCA) ensures high reconnaissance and avoidance of local optima. For these reasons, VSA, SSA and SCA are selected and applied to multi region LFC systems.

4.1. Vortex Search Algorithm

The vortex search algorithm is a single solution based meta-heuristics method related to global optimization problems. The algorithm is called the ‘Vortex Search Algorithm’ because the search behavior of the Vortex Search Algorithm is inspired by the vortex model of the stirring liquids (Dogan, et al., 2015).

The vortex pattern in two dimensional space is modeled by nested circles (Dogan, et al., 2015). Center and radius are determined the first biggest circle according to the problem dimension and upper-lower limits. Solutions are generated in the circles. Every iteration, the best solution is selected as next circle center and decreased the radius of circle. This process continues until the termination criteria are met.

Using equation (13), the first center μ_0 can be calculated.

$$\mu_0 = \frac{\text{upper limits} + \text{lower limits}}{2} \tag{13}$$

The lower limit and the upper limit in the equation (13) express the boundaries in d-dimensional space problems. VSA initial radius is found by the following equation (14) where for σ_0 large value should be chosen. Thus, the full coverage of the search space is provided in the first step.

$$\sigma_0 = \frac{\max(\text{upper limits}) - \min(\text{lower limits})}{2} \tag{14}$$

Before the selection phase, candidate solutions must be within the search limits. If solution exceed boundaries, equation (15) is shifted to expressed boundaries.

$$C(s)_k^i = \begin{cases} \text{rand.}(\text{uppertlimit}^i - \text{lowerlimit}^i) + \text{lowerlimit}^i, & C(s)_k^i < \text{lowerlimit}^i \\ C(s)_k^i, & \text{lowerlimit}^i \leq C(s)_k^i \leq \text{uppertlimit}^i \\ \text{rand.}(\text{uppertlimit}^i - \text{lowerlimit}^i) + \text{lowerlimit}^i, & C(s)_k^i > \text{uppertlimit}^i \end{cases} \tag{15}$$

where $k=1,2,\dots,n$ and $i=1,2,\dots,d$ and radius are uniformly distributed random numbers. In the VSA algorithm, the last radius is reduced. The inverse of the gamma function is used in the halftone reduction. The disadvantage of using this method to set the radius is that the speed of convergence depends on the number of iterations. As the number of iterations (step size decreases) the search increases in the solution. In some cases, it may be advantageous to investigate the relevant search space extensively.

$$r_0 = \sigma_0 \cdot \left(\frac{1}{x}\right) \cdot \text{gammaincinv}(x, a_0) \tag{16}$$

$$r_t = \sigma_0 \cdot \left(\frac{1}{x}\right) \cdot \text{gammaincinv}(x, a_t) \tag{17}$$

$$a_t = a_0 - \frac{t}{\text{MaxItr}} \tag{18}$$

a_0 is chosen as $a_0 = 1$ to ensure full coverage of the search space in the first iteration. t is the iteration index and the MaxItr is the maximum number of iterations. r_0 is the initial radius calculated from equation (16).

Pseudo code and flow diagram of VSA are given in Table 2 and in Figure 3 respectively.

Table 2. VSA for Pseudo Code

Initial
 Determines the population size
 Determines the number of iterations (t)
 Set upper and lower limits for K_p, K_I, K_D, N
 Initial center μ_0 with $\mu_0 = \frac{\text{upper limits} + \text{lower limits}}{2}$
 Initial radius σ_0 with $\sigma_0 = \frac{\max(\text{upper limits}) - \min(\text{lower limits})}{2}$
 Fitness of the best solution which is found so far $gmin = \text{inf}$
 $t = 1$;

Repeat
 Generated solution set $C(s)$ with Gaussian distribution in the search space of radius σ_0 centered μ_0
 $C(s)$ check boundaries values
 Iteration has the best solution $\text{itrBest} = C(s)$
if $\text{itrBest} < gmin$
 $gmin = \text{itrBest}$;
 $gbest = \text{itrBest}$;
end
 Center is always shifted to the best solution which is found so far $\mu_0 = gbest$
 Decrease the radius
 $t = t + 1$;
 Until the maximum number of iterations is reached

Output best value found so far $gbest$

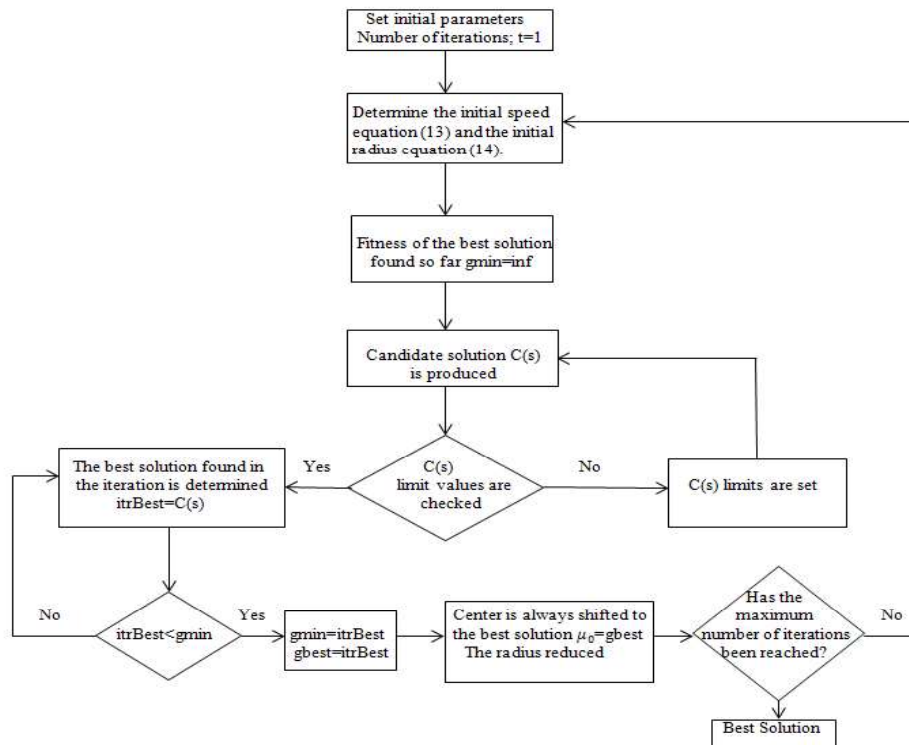


Fig. 3. VSA algorithm flow diagram

4.2. Salp Swarm Optimization Algorithm

SSA is one of the recently proposed algorithms. It was proposed by Mirjalili in 2017 (Mirjalili, et al., 2017). This algorithm is inspired by the fusing behavior of salps. Salp have a transparent barrel shaped body. In addition, salps belong to the Salpidae family. They are similar to the tissue of a jellyfish and act like a jellyfish. Salps form swarm in deep oceans. The formed herd is called the salp chain (Sayed, et al., 2018). This algorithm has shown by Mirjalili to be more efficient compared to other meta-heuristic methods. The SSA population is divided into two groups. These are leaders and followers. The leader is at the front of the chain. The remaining salps are known as followers.

In the SSA algorithm, firstly the population size, number of iterations and maximum number of iterations are determined. Population upper and lower boundaries are randomly generated. The value of each individual is found using the objective function. The best solution found is assigned. The value of the parameter is updated to eliminate the imbalance between exploration and exploitation. The solutions of the leaders and followers are updated. If an undesirable situation occurs during the update in the algorithm, the range of the problem is returned. The iteration number is increased until the maximum iteration is reached, the search process is terminated. As a result of the algorithm, the best solution is produced.

Pseudo code and flow diagram of SSA are given in Table 3 and in Figure 4 respectively.

Salp position is expressed by y . F is expressed as the target food source. In the SSA algorithm, the leader position is updated with the following equations:

$$y_j^i = \{Fi + r_1((upperlimits_i - lowerlimit_i)r_2 + lowerlimit_i), \quad r_3 \geq 0 \quad (19)$$

$$y_j^i = \{Fi - r_1((upperlimits_i - lowerlimit_i)r_2 + lowerlimit_i), \quad r_3 < 0 \quad (20)$$

r_1, r_2 and r_3 are random numbers. r_1 is found by the following equation (21). Also r_1 strikes the balance between explorer and exploitation.

Table 3. SSA for Pseudo Code

Initial	
	Set search agents
	Determine upper and lower limits
	Calculate the fitness value of each salp; SalpPositions=Positions
	The best value of salps position; FoodPosition
	Fitness of the best salps found so far FoodFitness=inf
	t=1;
while	t < maximum iteration+1
	The value of r_1 is updated ($r_1 = 2 * e^{(4 * \frac{t}{maxiter})^2}$)
	for i=1:SalpPositions
	if i=SearchAgents/2
	Update the position of the leader salps
	else
	Update the position follower salps
	end
	end
	Check the boundaries values of the salp position
	end
	t=t+1;
	Until the maximum number of iterations is reached
Output	best value found so far ; FoodPosition and FoodFitness

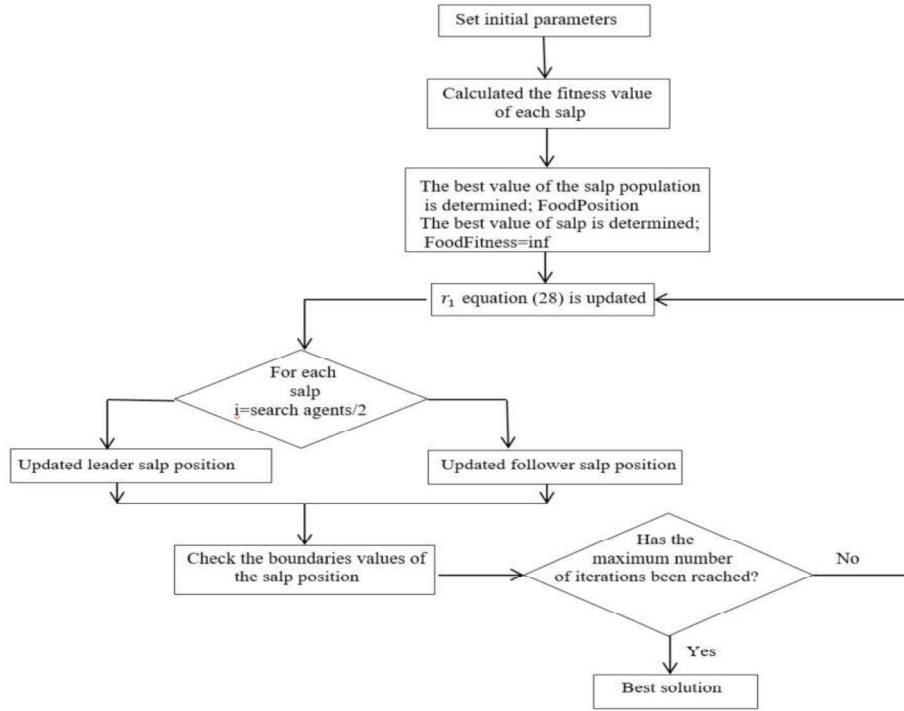


Fig. 4. SSA algorithm flow diagram

$$r_1 = 2 \cdot e^{-\left(\frac{4t}{T}\right)^2} \quad (21)$$

where t is the number of iterations and T is the maximum number of iterations. r_3 indicates whether the position should be at negative or positive infinity. The positions of the follower salps are updated using the following equation.

$$y_j^i = \frac{1}{2}(\alpha l^2 + \beta_0^2) \quad (22)$$

y_j^i i. dimension and j. refers to the positions of the followers. β denotes the initial speed and l is time.

$$\alpha = \frac{\beta_{final}}{\beta_0} \quad (23)$$

$$\beta = \frac{y - y_0}{t} \quad (24)$$

Taking $\beta_0 = 0$, the followers at i . its position in dimension is updated by the equation (25) as stated below.

$$y_j^i = \frac{1}{2}(y_j^i + y_j^{j-1}) \quad (25)$$

4.3. Sine and Cosine Algorithm

Sine and cosine algorithm is math-based metaheuristic algorithm. SCA has proposed by Mirjalili in 2016 (Mirjalili, et al., 2016). It uses a mathematical model based on sine and cosine functions. In the solution space, candidate solutions are initially launched randomly. Candidate solutions are also constantly updated. The updated individuals fluctuate outward or towards the global optimal solution. After getting the best solution in the algorithm, it is saved and never lost. The sine and function range are updated as the number of iterations increases. In this case, exploitation is guaranteed. Optimization is terminated when the number of iterations obtained in the algorithm exceeds the maximum number of iterations. The optimization process in SCA consist of two stages. These are exploration and exploitation. SCA ensures high reconnaissance and avoidance of local optimum. Also, the result is found in the shortest time.

Pseudo code and flow diagram of SCA are given in Table 4 and in Figure 5 respectively.

Position is updated using the following equations (26, 27) in the SCA algorithm:

$$x_i^{t+1} = x_i^t + r_1 x \sin(r_2) x |r_3 P_i^t - x_i^t| \quad r_4 < 0.5 \tag{26}$$

$$x_i^{t+1} = x_i^t + r_1 x \cos(r_2) x |r_3 P_i^t - x_i^t| \quad r_4 \geq 0.5 \tag{27}$$

Where i is the dimension and t is the number of iterations. r_1, r_2 and r_3 are random numbers. r_4 are random numbers that take values in the range $[0, 1]$. P_i indicates the location of the destination in i dimension. r_1 is used to balance exploration and exploitation and is found by the following equation (28).

$$r_1 = \alpha - t \frac{\alpha}{T} \tag{28}$$

where T is the maximum number of iterations, α is constant value.

Table 4. SCA for Pseudo Code

```

Initial
Set search agents
Determine upper and lower limits
Fitness of the best solution found so far gmin=inf
Generate random value
t=1;
while t < maximum iterations
    Check the boundaries
    The best values are determined
        if itr_best < gmin
            gmin=itr_best
            gbest=gmin
        end
    r1, r2, r3 and r4 values are updated
    The results obtained are updated
end
t=t+1
Until the maximum number of iterations is reached
Output best value found so far gbest
    
```

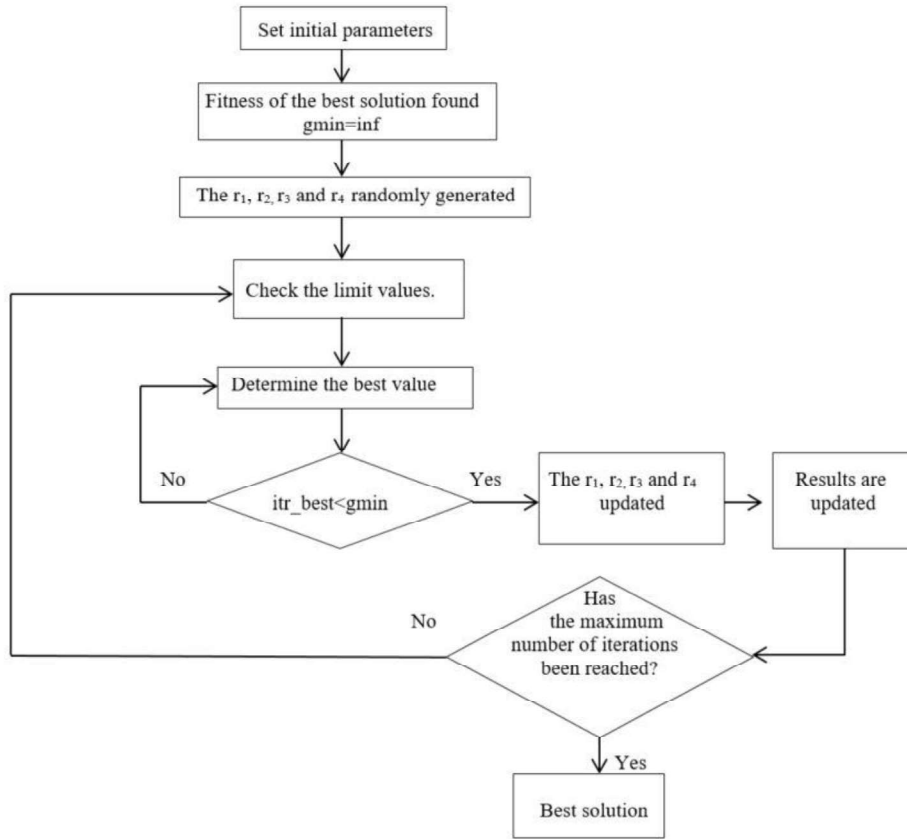


Fig. 5. SCA algorithm flow diagram

5. Results and Discussion

This section has been performed by choosing two and four-region power systems. These systems are analyzed for settling time (ST), overshoot (OS) and undershoot (US).

5.1. Two Region System

PID-N controller gains obtained with VSA, SSA and SCA on the two-region power system model have simulated in Matlab-Simulink program. System parameters are given in Table 5 (Gozde, et al., 2010):

Table 5. Parameter Value of Two-Region Power System

Parameters	Value
KP1=KP2	120
TP1=TP2	20
TG1=TG2	0.08
R1=R2	2.4
β	0.425
T ₁₂	0.3
KR	0.5
TR	10
T _{ij}	0.3

The control parameters obtained are given Table 6:

Table 6. Values of Control Parameters Used in Two-Region Power System

Method	(Gözde, et al., 2010)	VSA	SSA	SCA
K_{P1}	0.00007	16.4262	23.9057	11.3284
K_{I1}	0.1268	19.9072	24.9998	24.9998
K_{D1}	0	2.9967	3.8080	2.5202
N_{filt1}	0	317.0536	294.3674	563.3867
K_{P2}	0.00007	18.9853	9.6062	0.0097
K_{I2}	0.1268	9.0294	3.1111	0.0012
K_{D2}	0	12.9482	1.6594	2.5510
N_{filt2}	0	291.9494	367.3446	409.1876

System performances are given in Figure 6 for region first and second region and Figure 7 for tie line.

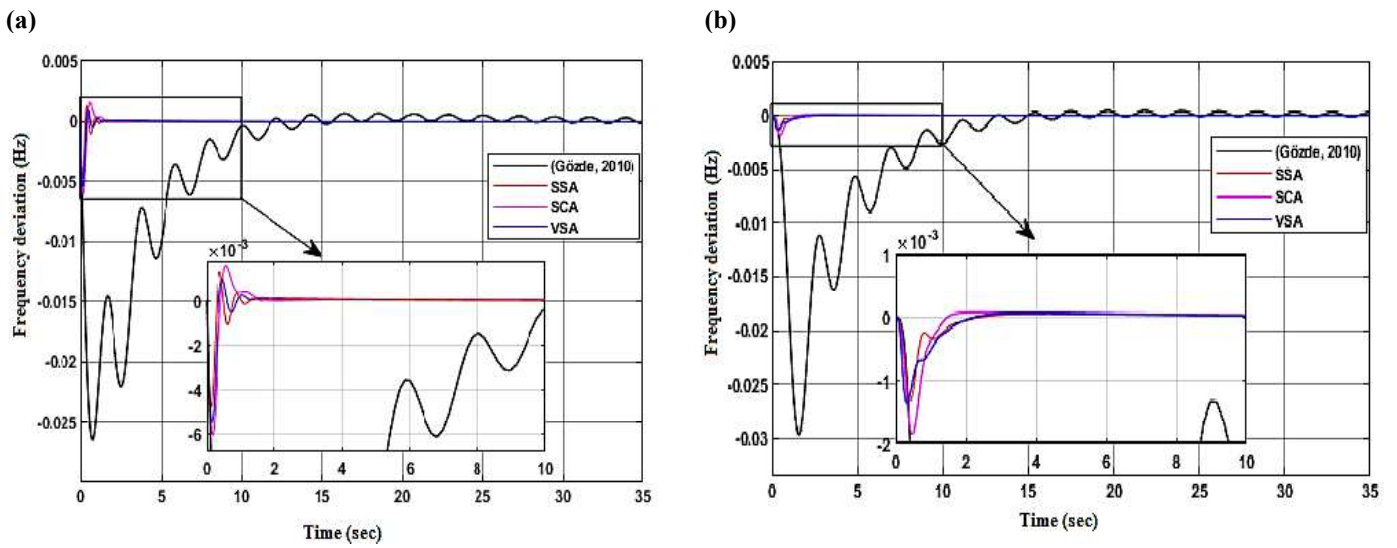


Fig.6. (a) Graph of the first region; (b) Graph of the second region

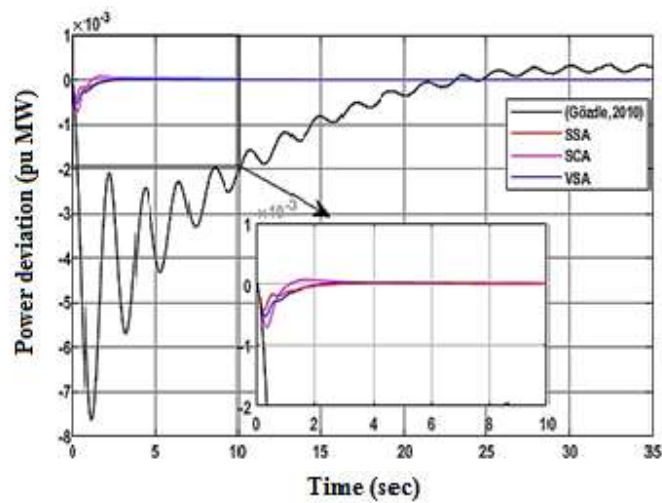


Fig.7. Graph of the tie-line

Table 7. System Performance Results

Area 1			
Method	ST	OS	US
(Gözde, et al., 2010)	37.199	0.0004016	-0.02591
VSA	4.630	0.0001591	-0.00264
SSA	3.750	0.001306	-0.004713
SCA	4.139	0.0000854	-0.0001713
Area 2			
Method	ST	OS	US
(Gözde, et al., 2010)	40.889	0.0001918	-0.02934
VSA	5.350	0.0000913	-0.0005923
SSA	1.695	0.00004698	-0.001576
SCA	1.970	0.00004313	-0.001082
Tie-Line			
Method	ST	OS	US
(Gözde, et al., 2010)	53.552	0.0002558	-0.007548
VSA	2.230	0.0000365	-0.002322
SSA	1.663	0.00002052	-0.0004298
SCA	1.835	0.00001642	-0.0005066

Comparative system performance results for two region power systems are given in Table 7. In this power system, settling time (ST) band with range is taken as 0.005%. The PID-N value obtained with VSA, SSA, SCA and compared with (Gozde, et al., 2010). Minimum overshoot (OS) values is decreased with SCA and obtained minimum settling time with SSA. Minimum undershoot (US) values have observed in SCA for the first region, VSA for the second region and SSA for the tie line.

5.2. Four Region System

PID-N controller gains obtained with VSA, SSA and SCA on the four-region power system model. System parameters are given in Table 8 (Karyeyen, 2009).

Table 8. Parameter Value of Four-Region Power System

Parameters	Value
KP1=KP2=KP3	120
KR1=KR2=KR3	0.333
TP1=TP2=TP3	20
TG1=TG2=TG3	0.2
TR1=TR2=TR3	10
TT1=TT2=TT3	0.3
R1=R2=R3=R4	2.4
T ₁ (4. Region)	48.7
T ₂ (4. Region)	0.153
T ₃ (4. Region)	10
T ₄ (4. Region)	1
T _{ij}	0.0707
TP4	13
KP4	80

The control parameters obtained are given in Table 9:

Table 9. Values of Control Parameters Used in Four-Region Power System

Method	(Karyeyen, 2009)	SCA	SSA	VSA
K_{P1}	0.02	24.9998	22.7441	10.7030
K_{I1}	0.06	1.3433	1.2470	0.6977
K_{D1}	0	11.8886	12.0715	13.8990
N_{filt1}	0	675.8056	892.3414	357.4373
K_{P2}	0.02	15.6959	15.1698	2.8929
K_{I2}	0.06	0.0021	3.5469	5.1408
K_{D2}	0	0.0089	24.7105	22.4857
N_{filt2}	0	1.0000e-03	522.1013	85.9580
K_{P3}	0.02	14.8205	6.5847	14.7548
K_{I3}	0.06	0.00333	16.0118	4.3478
K_{D3}	0	0.1491	18.4338	3.7061
N_{filt3}	0	400.9137	413.8440	900.2058
K_{P4}	0.02	0.2879	0.7230	2.9002
K_{I4}	0.06	10.8305	5.2919	6.2792
K_{D4}	0	20.4070	3.3301	7.6561
N_{filt4}	0	999.9900	942.6775	22.6250

System performances are given in Figure 8 for region 1, region 2, region 3 and region 4, in Figure 9 for tie line of region 1, tie line of region 2, tie line of region 3 and tie line of region 4.

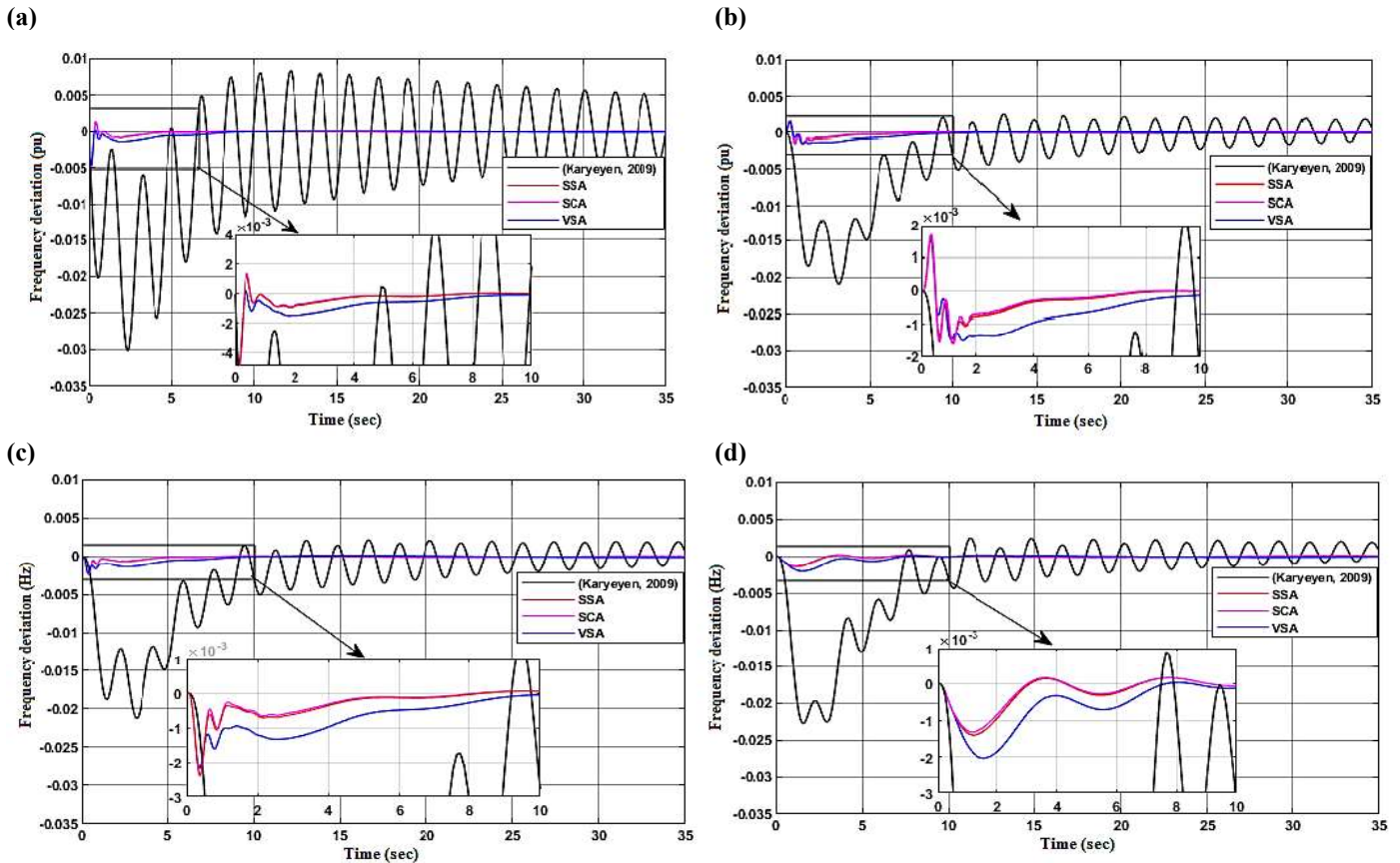


Fig.8. (a) Graph of the first region; (b) Graph of the second region; (c) Graph of the third region; (d) Graph of the fourth region

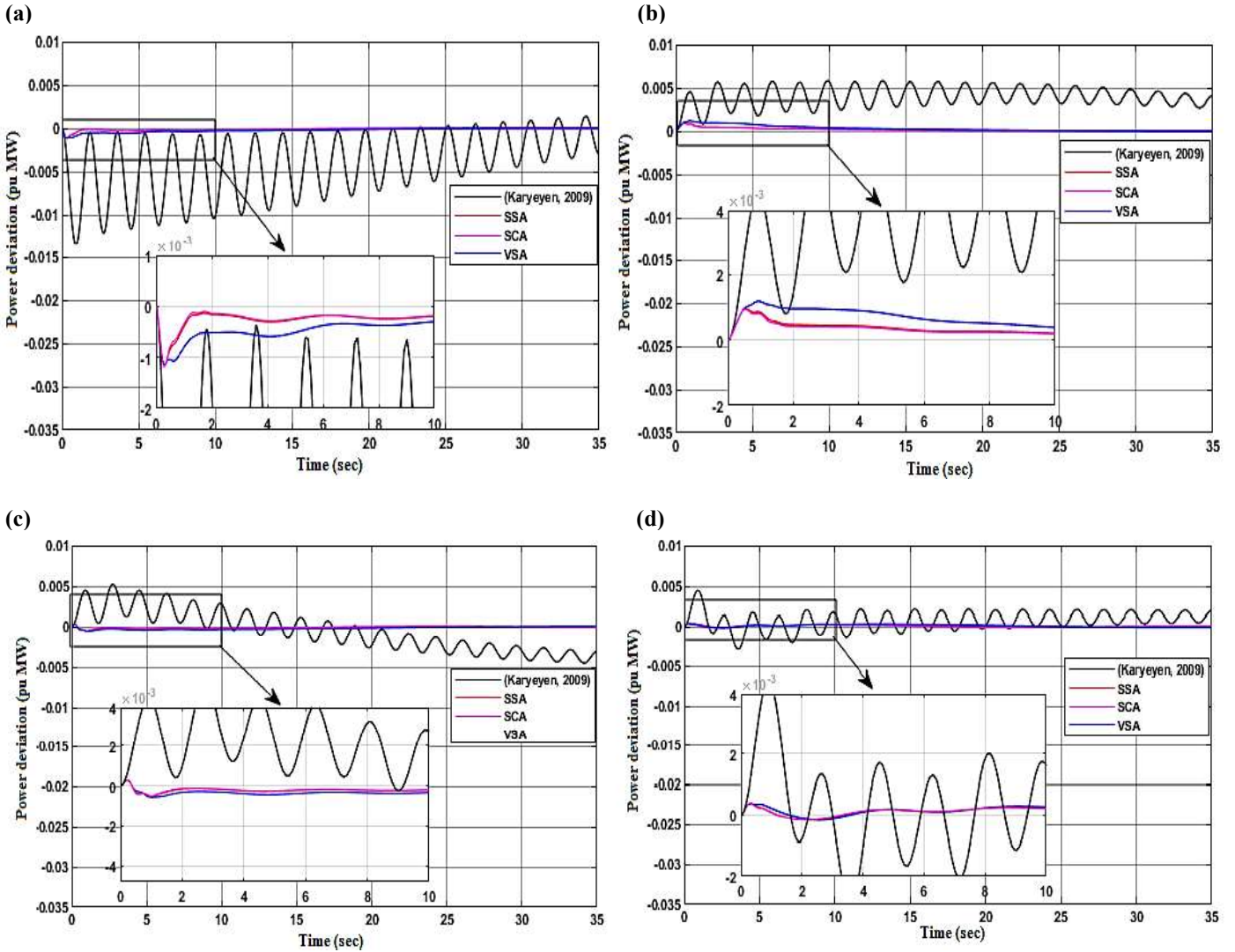


Fig.9. (a) Graph of the tie-line 1; (b) Graph of the tie-line 2; (c) Graph of the tie-line 3; (d) Graph of the tie-line 4

Comparative system performance results of frequency deviation for each region are given in Table 10:

Table 10. System Performance Results of Frequency Deviation

Area1			
Method	ST	OS	US
(Karyeyen, 2009)	140.592	0.008348	-0.03016
VSA	6.360	0.0002351	-0.004702
SSA	3.024	0.001170	-0.004895
SCA	2.840	0.001394	-0.004926
Area2			
Method	ST	OS	US
(Karyeyen, 2009)	136.150	0.002600	-0.02090
VSA	6.868	0.001532	-0.001492
SSA	3.300	0.001661	-0.001586
SCA	3.070	0.001692	-0.001612

Table 10 (Continued). System Performance Results of Frequency Deviation

Area3			
Method	ST	OS	US
(Karyeyen, 2009)	139.700	0.002123	-0.02128
VSA	6.003	0.00008331	-0.002190
SSA	3.511	0.00004604	-0.002379
SCA	3.315	0.00005147	-0.002460
Area4			
Method	ST	OS	US
(Karyeyen, 2009)	129.000	0.002466	-0.02279
VSA	6.400	0.0001121	-0.002041
SSA	2.481	0.0001619	-0.001411
SCA	2.390	0.000161	-0.001329

Comparative tie line power deviation for each region are given in Table 11.

Table 11. System Performance Results of Frequency Deviation

Tie Line 1			
Method	ST	OS	US
(Karyeyen, 2009)	304.642	0.003153	-0.01347
VSA	5.089	0.00007001	-0.001139
SSA	0.909	0.00003981	-0.001189
SCA	0.855	0.00003736	-0.001189
Tie Line 2			
Method	ST	OS	US
(Karyeyen, 2009)	315.779	0.005824	-0.002057
VSA	8.257	0.001188	-0.00006034
SSA	1.670	0.0009585	0.000e+0000
SCA	1.516	0.000941	0.000e+00
Tie Line 3			
Method	ST	OS	US
(Karyeyen, 2009)	329.633	0.005231	-0.004688
VSA	1.480	0.0002645	-0.0005791
SSA	1.100	0.0002808	-0.0005304
SCA	1.070	0.0002829	-0.0005149
Tie Line 4			
Method	ST	OS	US
(Karyeyen, 2009)	146.619	0.004449	-0.002919
VSA	0	0.0003766	-0.0001541
SSA	0	0.0003938	-0.0001528
SCA	0	0.000394	-0.000147

In this power system, settling time (ST) band with range is taken as 0.05%. Minimum settling time is obtained with for SCA for all regions. In addition, mostly minimum OS and US values are obtained with VSA for regions. For considered tie line performances, SCA mostly give better outputs than VSA and SSA (Karyeyen, 2009).

6. Conclusions

In this study, load frequency control of two different interconnected power systems consisting of two and four region has been performed. The results obtained using the same model of (Gözde, et al., 2010) two region and (Karyeyen, 2009) for four region are compared. The population size is taken as 50 in the algorithms. Optimal parameter values of the proposed PID-N controller have been found by VSA, SSA and SCA methods. The results found are presented comparatively graphically and numerically. System performance results are compared in Table 7 for two region interconnected power system and in Table 10 for the four region interconnected power system. SSA gives lower settling time for two region and SCA gives lower settling time for four region. However, different techniques gives better results for different regions for overshoot and undershoot values. When analysis all numerical results, it can be said that SCA shows generally better performance compared with the other techniques.

References

- Ali, E.S., & Abd-Elazim, S.M. (2011). Bacteria foraging optimization algorithm based load frequency controller for interconnected power system, *International Journal of Electrical Power & Energy System*, 33(3), 633-638.
- Çam, E., & Kocaarslan, İ. (2002). Tek Bölge Güç Sistemlerinde Bulanık Mantık İle Yük Frekans Kontrol, *Teknoloji*, 5(3-4), 73-77.
- Dogan, B., & Olmez, T. (2015). A new metaheuristic for numerical function optimization: Vortex Search Algorithm, *Information Sciences*, 293, 125-145.
- Formato, F.A. (2007). Central Force Optimization: A New Metaheuristic With Applications in Applied Electromagnetics, 77, 425-491.
- Gözde, V., Taplamacıoğlu, M.C., Kocaarslan, İ., & Şenol, M.A. (2010). İki Bölge Ara-Isıtmalı Termal Güç Sisteminin Yük-Frekans Kontrolü İçin Parçacık Sürüş Optimizasyon Tabanlı PI-Kontrolör, *Isı Bilim ve Tekniği Dergisi*, 30(1), 13-21.
- Gümüş, K.K. (2012). Güç Santrallerinde Primer Frekans Ve Yük Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi.
- He, S., Wu, Q.H., & Saunders, J.R. (2009). Group Search Optimizer: An Optimization Algorithm Inspired by Animal Searching Behaviour, *IEEE Transaction on Evolutionary Computation*, 13(5), 973-990.
- Hooke, R., & Jeeves, T.A. (1961). Direct search solution of numerical and statistical problems, *J. Assac. Comput. Mach. (ACM)*, 8(2), 212-229.
- Karyeyen, A. (2009). Çok Bölge Elektrik Güç Sistemlerinde Optimum Yük-Frekans Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 106.
- Karyeyen, A., Çetinkaya, N., & Güntay, S. (2009). İki Bölge Elektrik Güç Sistemlerinde Optimum Yük-Frekans Kontrolü, *Elektrik, Elektronik, Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği 13. Ulusal Kongresi*.
- Kashan, A.H. (2009). League Championship Algorithm: A new algorithm for numerical function optimization."International Conference of Soft Computing and Pattern Recognition, 43-48.
- Kocaarslan, İ., Gümüş, K.K., Bal, E., & Tiryaki, H. (2012). Modern Optimizasyon Yöntemleri (ABC, PSO) ile Yük-Frekans Kontrolü, *ELECO 2012 Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*. Bursa, 94-98.
- Mirjalili, S. (2016). SCA: A Sine Cosine Algorithm for solving optimization problems, *Knowl.-Based Syst*, 96, 120-133.
- Mirjalili, S., Gandomi, A.H., Mirjalili, S.Z., Saremi, S., Faris, H., & Mirjalili, S.M. (2017). Salp Swarm Algorithm: A bio-inspired optimizer for engineering design problems, *Advances in Engineering Software*, 114, 163-191.
- Naidu, K., Mokhlis, H., & Bakar, A.H.A. (2013). Application of Firefly Algorithm (FA) based optimization in load frequency control for interconnected reheat thermal power system, *IEEE Jordan Conference on Applied Electrical Engineering and Computing Technologies (AEECT)*.
- Omar, M., Ebrahim, M.A., Abdel Ghany, A.M., & Bendary, F. (2015). Harmony Search based PID for Multi Area Load Frequency Control Including Boiler Dynamics and Nonlinearities, *Wseas Transactions on Circuits and Systems*, 14, 407-414.

Omar, M., Soliman, M., Ghany, A.M.A., & Bendary, F. (2013). Ant Colony Optimization based PID for single Area Load Frequency Control, International Conference on Modelling, Identification & Control, 119-123.

Ozkop, E., Altas, I.H., & Sharaf, A.M. (2010). Load Frequency Control in Four Region Power Systems Using Fuzzy Logic PI Controller, 16th National Power Systems Conference, 232-236.

Özdemir, M.T., & Öztürk, D. (2016). İki Bölge Güç Sisteminin Optikten Esinlenen Optimizasyon Algoritması ile Optimal Yük Frekans Kontrolü, Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi, 28(2), 57-66.

Rathor, S., Acharya, D.S, Gude, S., & Mishra, P. (2011). Application Artificial Bee Colony Optimization for Load Frequency Control, Conference Paper.

Safi, S.J., Tezcan, S.S., Eke, İ., & Farhad, Z. (2018). Gravitational Search Algorithm (GSA) Based PID Controller Design for Two Region Multi-Source Power System Load Frequency Control (LFC), Gazi University Journal of Science, 31(1), 139-153.

Sahu, B.K., Pati, S., Mohanty, P.K., & Panda, S. (2015). Teaching-learning based optimization algorithm based fuzzy-PID controller for automatic generation control of multi-area power system, Applied Soft Computing, 27, 240-249.

Sahu, R.K., Panda, S., & Pandhan, S. (2014). Optimal gravitational search algorithm for automatic generation control of interconnected power systems, Ain Shams Engineering Journal. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asej.2014.02.004>.

Sayed, G.I., Khoriba, G., & Haggag, M.H. (2018). A novel chaotic salp swarm algorithm for global optimization and feature selection, Applied Intelligence, <https://doi.org/10.1007/s10489-018-1158-6>.

UCTE (2004). UCTE Operation Handbook-A1:Load-Frequency Control and Performance.

Yamaçlı, V., Abacı, K., & Özer, Z. (2014). Üç Bölge bir Güç Sisteminde Yük-Frekans Kontrolü İçin Yapay Sinir Ağları Tabanlı Bir Kontrolör Tasarımı, Eleco 2014 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu. Bursa, 124-128.

Yanmaz, K., Altaş, İ.H., & Mengi, O.Ö. (2008). Çok Bölge Güç Sistemlerinde Yük Frekans Kontrolünün Bulanık Mantık Denetleyici ile Gerçekleştirilmesi, Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu. Isparta, 259-262.

Yalçın, E., Çam, E., & Lüy, M. (2010). Dört Bölge Güç Sisteminde PID Kontrolör ile Yük-Frekans Kontrolü, National Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering, 72-77.

Yalçın, E., Çam, E., Vardar, T. and Lüy, M. (2013). PID Kontrolör ile İki Bölge Güç Sistemlerinde Yük Frekans Kontrolünün İncelenmesi, International Journal of Engineering Research and Development, 5(2).



Şebeke Seviyesinde Enerji Depolama Uygulamaları için Uygun Teknoloji Seçimi Metodolojisi Önerilmesi

Suggesting Appropriate Technology Selection Methodology for Grid Level Energy Storage Applications

Rıfat Anıl Aydın¹, Şafak Baykal², Alper Terciyanlı³, Ertuğrul Çam⁴

¹³Inavitas Enerji A.Ş.,

²Endoks Enerji Ltd

İnönü Mah. 1748. Sok. No: 1

Batıkent 06370 Yenimahalle/Ankara/TÜRKİYE

Başvuru/Received: 24/11/2020

Kabul / Accepted: 21/12/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2020

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2020

Öz

Klasik şebeke yapısında enerji üretimi ve tüketimi eş zamanlı olduğu için üretim, tüketim dengesinin anlık olarak gözetilmesi gereklidir. Özellikle yenilenebilir enerji tesislerinin kesintili üretim profiline sahip olması ve belirli durumlarda üretim yapamaması gibi durumlar yüzünden yenilenebilir enerji kaynaklı üretimin günün genelinde kullanılması için enerji depolama sistemleri için çalışmaları hızlandırmıştır. Enerji depolama sistemleri şebeke genelinde öncelikle araştırma seviyesinde şebekede çeşitli ihtiyaçları gidermek için kullanılması planlanmaktadır. Gerçekleştirilen bu çalışma ile enerji depolama sistemlerinin şebeke seviyesinde uygulamaları açıklanmaya çalışılmış ve bu uygulamalara uygun enerji depolama teknolojisi seçimi için bir metodoloji ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler

“Enerji Depolama Sistemleri, Şebeke Seviyesinde Depolama Uygulamaları, Depolama Teknolojileri, Teknoloji Seçimi ”

Abstract

Since energy production and consumption are simultaneous in the classical network structure, the balance of generation and consumption must be taken into consideration instantly. In particular, the fact that renewable energy facilities have an intermittent generation profile and cannot be produced in certain situations has accelerated the studies for energy storage systems to use renewable energy-based generation throughout the day. Energy storage systems are planned to be used throughout the network primarily at the research level to meet various needs in the network. With this study, the applications of energy storage systems at the network level were tried to be explained and a methodology was tried to be presented for the selection of energy storage technology suitable for these applications.

Keywords

“Energy Storage Systems (ESS), Energy Storage Applications at Grid Level, Storage Technologies, Technology Selection ”

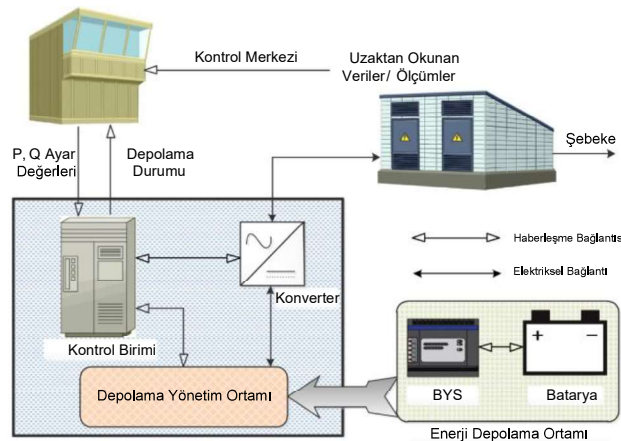
1. Giriş

Toplumların kalkınma düzeyleri ve toplumsal refahın sağlanmasında en önemli kriter nedir diye sorulduğunda kuşkusuz “Kesintisiz Enerji” kelimesi ön plana çıkmaktadır. Günümüzde endüstriyel büyüme ve teknolojik gelişmelere göre ele alacağımız enerji sektörü incelendiğinde, yapılan yatırımların hep artan enerji talebini karşılamaya yönelik olduğu görülmektedir. Artan nüfus ile birlikte enerji yönetimi açısından daha fazla elektrik enerjisine gereksinim olduğu gerçeği ortaya çıkmaktadır. Bu enerji gereksinimini yalnızca fosil yakıtlardan karşılamaya kalkmak hem kısıtlı kaynakların yeryüzünde tükenmesine hem de iklim değişikliğinin artmasına sebep olmaktadır. Dolayısıyla ülkeler, sosyal ve ekonomik gelişimlerine eşgüdümlü olarak yeni enerji politikaları geliştirip uygulamaya koymaktadırlar.

Günümüzde elektrik şebekeleri; sera gazı azaltma hedefleri, talep (demand) yönetimi, sıkışıklık, güç kalitesi gereksinimleri, yenilenebilir enerji kaynaklarının oranındaki artış, şebeke genişlemeleri ve güvenilirlik endişeleri gibi birbiriyle ilişkili faktörlerin neden olduğu kritik bir değişim dönemine girmiş bulunmaktadır. ABD Elektrik Enerjisi Araştırma Enstitüsü (EPRI), dağıtım sisteminde meydana gelen aksaklıklar sebebiyle yaşanan elektrik kesintilerinin maliyetinin 100 milyar ABD doları seviyesinde olduğunu tahmin etmiştir (Amin SM, 2006). Enerji depolama sistemleri (ESS), dağıtım şebekeleri içerisinde teknik, ekonomik ve çevresel avantajlar sağlamak adına her geçen gün yaygınlaşmaktadır. Bu avantajların başında güç kalitesi parametrelerinde iyileşmeler, gerilim profilinin iyileştirilmesi, frekans regülasyonu, yük kaydırma, yük seviyelendirme, talep yükün azaltılması, dağıtık üretim birimlerinin entegrasyonu konusunda esneklik sağlanması, yatırım ertelemeleri ve enerji sürekliliğinin sağlanması gelmektedir. Enerji depolama sistemlerinin, dağıtım ve iletim şebekesinde yaşanan güç salınımları ve yük değişimleri gibi problemlerin yarattığı olumsuzlukların hafifletilmesinde etkili olması beklenmektedir. Yapılan çalışmada öncelikle enerji depolama sistemlerinin elektrik şebekesinde sağlayabilecekleri faydalar gözetilerek gerçekleştirilen uygulamalar ortaya konulmuş, sonrasında bu uygulamalar için en uygun teknoloji seçimi için bir metodoloji önerilmeye çalışılmıştır.

2. Şebeke Seviyesinde Enerji Depolama Sistemleri

Elektrik şebekeleri için enerji depolama sistemlerinin temel amacı, elektrik enerjisini depolanacak forma dönüştürüp saklayarak, ihtiyaç duyulduğunda tekrar şebekeye elektrik enerjisi olarak aktarabilmektir. Enerji depolama sistemleri çoğunlukla güvenli ve güvenilir bir işletme sürecini desteklemek adına kontrol sistemleri ile birlikte tesis edilmektedir. Amaç yalnızca lokal bir kontrol sağlamak değil, şebeke genelindeki ekipmanların koordineli şekilde kontrolüne imkan sağlamaktır. Şebekede bağlı bulunan bir enerji depolama sisteminin güç elektroniği ekipmanları, gerilim ve akım dalga formunu gereken şekilde ayarlayabilir. Böylece kontrolcü ve konverter depolama sisteminin yönetimini ele alarak şebekenin ihtiyacı doğrultusunda aktif ve reaktif güç için çalışma noktaları (P-Q set points) belirleyerek karar verme süreçlerine katılabilmektedirler. Depolama sistemi için belirlenen bu çalışma noktaları, sistemin tasarımına göre uzaktan veya lokal olarak kontrol edilebilmektedir. Aşağıdaki şekil üzerinde Depolama Yönetim Ortamı olarak gösterilen kısım, enerji dönüşümü birimlerinin de yer aldığı herhangi bir depolama teknolojisinin kullanıldığı sisteme karşılık gelmektedir. Bu bölge içerisinde *Enerji Depolama Ortamı* olarak gösterilen kısım depolama birimleri ve batarya yönetim sisteminden oluşan ve bataryaların şarj/deşarj süreçlerini kontrol eden kısımlardır. Kontrol ve yönetim sistemleri tek bir birim için de tesis edilse de özellikle geniş çaplı uygulamalarda birimler arasında hiyerarşinin oluşturulması ve ana kontrol birimi ile yardımcı birimlerin belirlenmesi şarj/deşarj koordinasyonu ve verimlilik için kritiktir.



Şekil 1 - Şebeke Seviyesinde Enerji Depolama Sistemlerinin Konsept Tasarımı

Enerji depolama sistemleri maliyet yönünden fayda sağlamak veya talep yükü kontrol edebilmek amacıyla kendini deşarj edebilen enerji depolayan sistemlerdir (Denholm P, 2010). Enerji depolama sistemlerinin etkinliğinin karşılaştırması bazı başlıklar altında gerçekleştirilmektedir (Koochi-Kamali S, 2013). Bunlar;

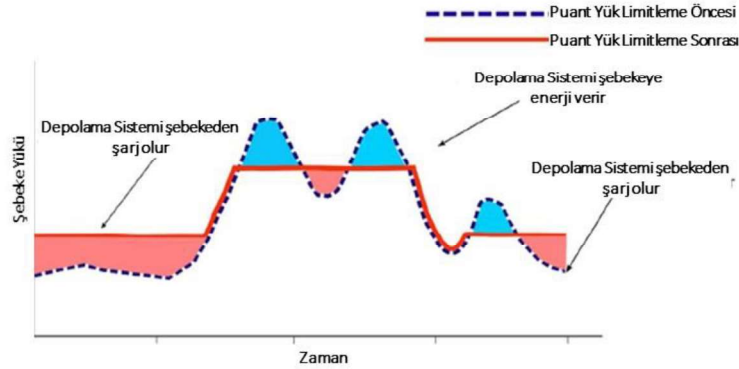
- **Ayrılabilirlik:** Kullanılan enerji depolama sistemi, günlük, haftalık veya sezonsal olarak değişen yük profiline ve talep yüküne karşılık uygun şekilde cevap verebilmelidir.
- **Kesintili Çalışma:** Rüzgâr ve solar enerji kaynakları gibi yenilenebilir enerjiye dayalı dağıtık üretim birimlerinin kesintili üretim profiline ve diğer üretim birimlerinin çıkış gücünde yaşanabilecek dalgalanmalara karşılık uygun tepkileri hızlı şekilde verebilmelidir.
- **Verimlilik:** Enerji depolama sisteminin şarj/deşarj sürecinde meydana gelen kayıplar minimum düzeyde olmalıdır.

3. Şebeke Seviyesinde Enerji Depolama Sistemleri Uygulamaları

Enerji depolama sistemlerinin tarihçesi 20. yüzyılın başlarında DC yüklere enerji sağlayabilmek adına kurşun asit bataryaların kullanılması ile başlamıştır. O günden bu yana enerji depolama teknolojileri gelişerek şebeke içerisinde talep kontrolü, güç kalitesi parametrelerinin iyileştirilmesi, güvenilirliğin artırılması ve şebekenin daha stabil hale getirilebilmesi için kullanılmıştır. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik enerjisi üreten dağıtık üretim birimlerinin şebeke içerisinde yaygınlaşması ve bu üretim birimlerinin kesintili yapısı dağıtım şebekelerinin işletim yapısını oldukça değiştirmiştir. Yeni yapıda karşılaşılan işletim problemlerinin çoğunun üstesinden gelinemesinde enerji depolama sistemlerinin kullanımı hayati rol oynamakta ve şebekeyi daha stabil bir hale getirerek güvenilirliğini arttırmaktadır. Enerji depolama sistemleri konuyla ilgili yönetmeliklerin mevcut olmadığı sistemlerde arbitraj sağlamak ve dağıtık üretim birimleri tarafından üretilen enerjinin fiyatını arttırmak için de kullanılmaktadır. Enerji depolama sistemlerinin uygulamalarına sistematik açıdan bakmak gerekirse bunları 6 ana başlık altında toplayabiliriz:

3.1 Puant Yük Limitleme ve Yatırım Öteleme

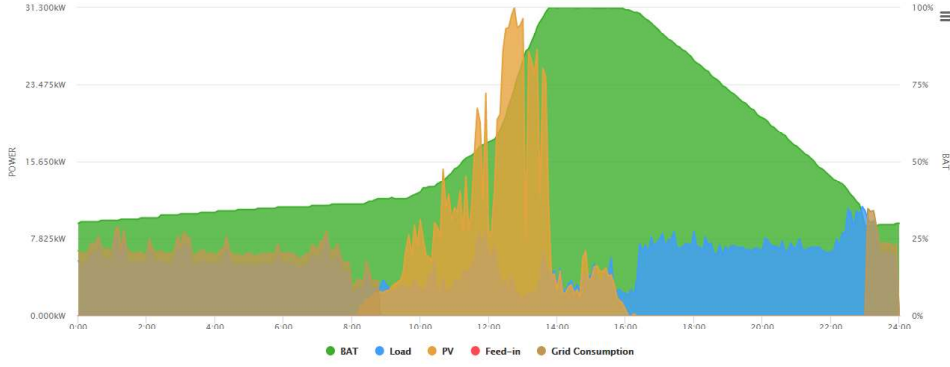
Puant yük limitleme kullanımı referans noktasındaki toplam yükün sabit tutulması ya da belirli bir limitin üzerine çıkılmasını engellemek için kullanılan operasyondur. Referans noktadaki yüklenme belirli bir değerin üzerine çıktığında batarya içindeşarj işlemi ve belirli bir değerin altında kaldığında ise şarj işlemi gerçekleştirilir. Puant yük limitleme operasyonu aşağıdaki şekilde gösterilebilir (M. Uddin, 2018).



Şekil 2 - Puant Yük Limitleme Operasyonu

3.2 Mikroşebeke Yönetimi

Mikroşebeke yönetimi iki farklı şekilde ele alınmaktadır. Bunlardan ilki enerji depolama sistemi aracılığıyla kendi kendine sürekli yetebilen ve ana şebekeden bağımsız bir şebeke kurulmasıdır. Bu durum sanal güç santrali (Virtual Power Plant – VPP) ya da şebekeden bağımsız (Off-Grid) sistemler olarak adlandırılmaktadır. Burada enerji depolama sistemi bu sistemin enerji kaynağı olan yenilenebilir enerji santrali (veya bazı durumlarda jeneratör) kaynaklı enerjinin 24 saat boyunca kullanılabilmesini sağlamakla yükümlüdür. Burada gerçekleştirilen üretim öncelikle yükü karşılamakta, yükten fazla olan üretim ise üretimin az olduğu zamanlarda kullanılmak üzere depolanmaktadır. Kendi kendine yeten bir PV, jeneratör ve enerji depolama sisteminin güç-zaman grafiği enerji depolama sisteminin şarj yüzdesiyle birlikte aşağıda gösterilmiştir.



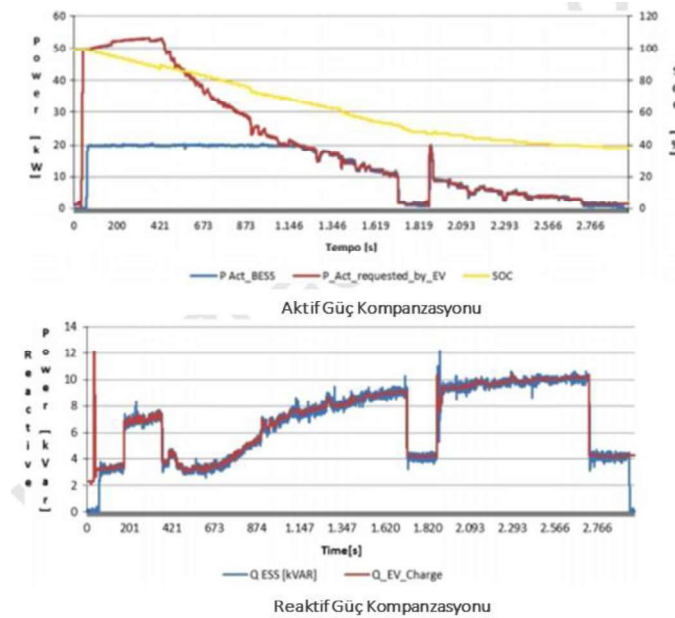
Şekil 3 -Şebekeden Bağımsız Sistemde Örnek Güç - Zaman Grafiği

Yukarıdaki şekilde ortadaki yüksek miktardaki değerler PV üretimini, sol taraftaki kısım jeneratör tarafından yüklerin beslenmesini, sağ taraftaki profil batarya tarafından yüklerin beslenmesini, arka plandaki değerler ise bataryanın şarj yüzdesini göstermektedir. Batarya tamamen dolu iken şebekeye enerji verilemeyeceği için PV üretimine izin verilmemekte, sistemin PV den beslenememesi durumunda jeneratörden beslenmesi sağlanmaktadır.

Mikroşebeke yönetiminde ele alınan ikinci durum ise enerji depolama sisteminin ana şebekede arıza olduğu durumda kendisine bağlı olduğu yüklerin tamamını sadece belirli bir süre beslemesi şeklindedir (Z. Cheng, 2018). Bu durum planlaması daha kolaydır. Çünkü sadece kısıtlı bir süre enerji sağlamak üzerine boyutlandırma yapılması gereklidir. Genel olarak operasyon bağlantı noktasındaki enerji kalitesinin sürekli ölçülmesi ve enerji kalitesinin düştüğü durumda şebekeden bir ayırıcı aracılığıyla tüm sistemin kopması ve şebekedeki enerji kalitesinin tekrar sağlandığı görülene kadar sistemin şebekeden bağımsız olarak çalışması esasına dayanmaktadır.

3.3 Güç Kalitesi Desteği

Güç kalitesi desteği enerji depolama sisteminin aktif ve reaktif gücünün bağlı olduğu noktadaki enerji kalitesinin iyileştirilmesi için kullanılmasına verilen isimdir (D. A. Sbordone, 2016). Bu işlem için alternatif yöntemler bulunduğu için (gerilim regülatörleri, kompanzasyon tesisleri vb.) enerji depolama tesisleri tek başına bu kullanım amacı için kurulmamaktadır. Bu kullanım diğer kullanımların genellikle tamamlayıcısı olarak kullanılmaktadır. Aktif ve reaktif güç kompanzasyonu için çeşitli uygulamalar yapılmıştır, uygulamadaki depolama sisteminin davranışı için aşağıdaki görsel verilebilir (D. A. Sbordone, 2016).



Şekil 4 - Aktif ve Reaktif Güç Kalitesi Desteği

Buradaki mavi hat batarya inverterinin sağladığı sırasıyla aktif ve reaktif gücü göstermektedir. Kırmızı hat ise ihtiyaç duyulan güç miktarını göstermektedir. Yukarıdaki grafikten görüleceği gibi batarya sisteminin aktif gücü batarya inverteri ile sınırlıdır. Bu gibi kısıtlılıklar göz önünde bulundurularak uygulama özelinde depolama sisteminin davranışı belirlenmelidir.

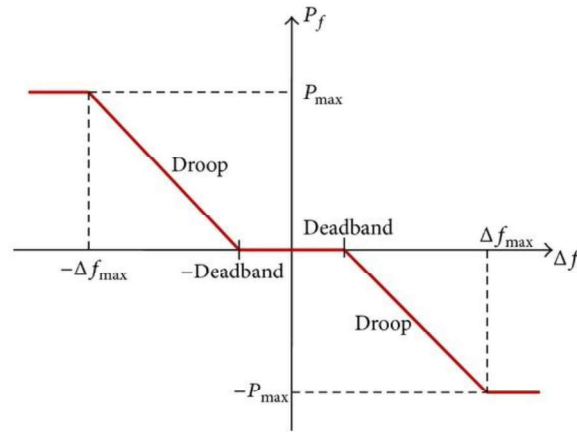
3.4 Sıkışıklık Yönetimi

Bu uygulama, Puant Yük Limitleme ve Yatırım Öteleme uygulamasıyla benzer nitelikler taşır. Buradaki amaç şebeke kısıtlılıklarının aktif olarak yönetilebilmesi için bataryanın şarj deşarj edilmesi şeklindedir (K. Spiliotis, 2016). Ölçek olarak burada takip edilen kısıtlılıklar dağıtım trafosu seviyesinden iletim trafosu seviyesine kadar çıkabilmekte, genellikle otonom algoritmalar yerine bir operatör tarafından kısıtlılığı önleyecek şekilde batarya sistemine komut verilmesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Otonom algoritma ile bunun yönetilmesi istendiğinde şebeke kısıtlılıklarında referans alınacak nokta sabit kalacağından karşımıza puant yük limitleme ve yatırım öteleme uygulaması çıkmaktadır. Ancak şebekede sadece bir noktada değil farklı noktalarda da kısıtlılıklar oluşabilir ve bu yüzden enerji depolama sisteminin kullanımı gerekebilir.

3.5 Yan Hizmetler

Enerji depolama sisteminin yan hizmetler için kullanılması yine yan hizmetleri en fazla kullanan yapı olan sistem operatörü tarafından gerçekleştirilmelidir. Ülkemizde TEİAŞ bu görevi üstlenmekte olup, bu uygulamalar aracılığıyla sağlanabilecek hizmetler yan hizmetler başlığı altında birleştirilmiştir. Bunlar sıcak rezerv sağlanması, frekans kontrol rezervi sağlanması, reaktif kontrol sağlanması şeklinde özetlenebilir (L. Maeyaert, 2020).

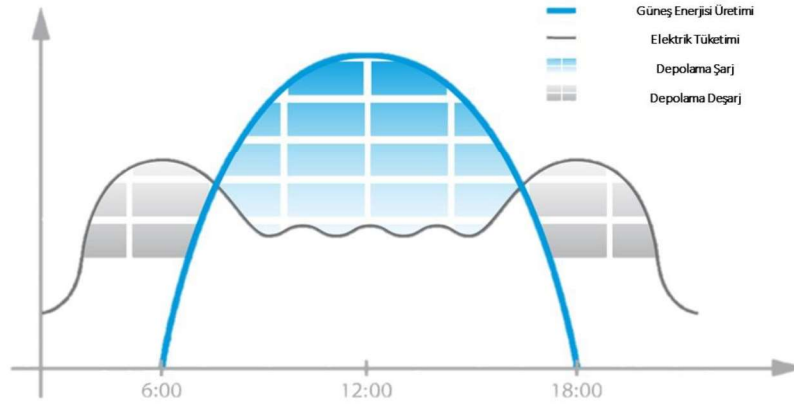
Sıcak rezerv şebekede ani yük üretim dengesizliği oluşması durumunda (arıza vb.) bataryaya komut verilerek anlık yük ya da üretim sağlanması senaryosuna verilen isimdir. Frekans kontrol rezervi şebeke frekansının sabit tutulabilmesi için enerji depolama sisteminin otonom şekilde şarj deşarj olmasıdır. Reaktif kontrol ise güç kalitesi desteğinin daha büyük ölçekte gerçekleştirilmesidir. Burada sıcak rezerv ve frekans kontrolü için bataryanın uygulaması gereken davranış aşağıdaki görselle özetlenmiştir (M. Delfanti, 2014).



Şekil 5 - Frekans Kontrolü için Depolama Sistemi Davranışı

3.5 Yenilenebilir Entegrasyonu

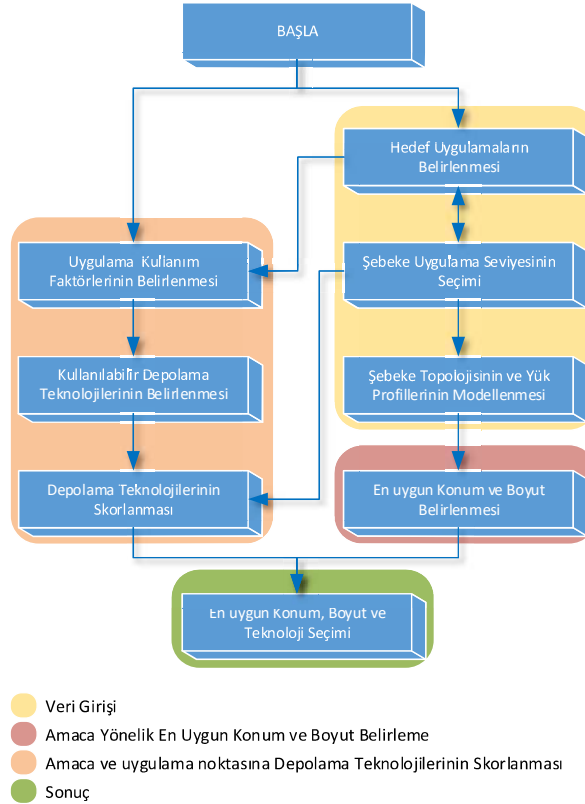
Yenilenebilir enerji sistemleri kesintili yapılarıyla gün içerisinde değişken ve bazen öngörülemeyen üretim profillerine sahiptir. Bunun en büyük sebebi üretim kaynaklarının (güneş, rüzgar) yenilenebilir enerji üretim tesislerine etkisinin sürekli değişken olmasıdır. Ancak karbon emisyonlarının azaltılmaya çalışıldığı dünyamızda yenilenebilir enerji kaynaklı üretimin sürekli hale getirilmesini ve şebekede daha az konvansiyonel enerji üretim tesisine ihtiyaç duyulmasını sağlamak için enerji depolama sistemleri benzersiz olanaklar sunmaktadır. Bu kullanım amacı gün içerisindeki fazla üretimin depolanması ve üretimin az olduğunda kullanılması şeklindedir. Kullanımın daha kolay anlaşılabilmesi için aşağıdaki görsel bir güneş santralinin tipik üretim profili göz önünde bulundurularak kullanılabilir (Kemiwatt, 2020).



Şekil 6 - Yenilenebilir Entegrasyonu için Enerji Depolama Tesisi Davranışı

4. Enerji Depolama Sistemleri için En Uygun Konum, Boyut ve Teknoloji Seçimi

İşletmeciler mevcut dağıtım şebekeleri üzerindeki kontrol düzeylerini arttırmak için birçok yeni teknolojiyi entegre ederek büyük ölçüde değişikliklere neden olmaktadır. Enerji depolama sistemlerinin de bu bağlamda önemli bir rolü olduğu aşikârdır. Enerji depolama sistemleri, tepe yükünün azaltılması, yenilenebilir enerji entegrasyonu, yatırım öteleme, gerilim regülasyonu, frekans regülasyonu ve kayıpların azaltılması gibi birçok uygulama olanağına sahiptir. Bu bağlamda, dağıtım sisteminde enerji depolama sistemlerinin kullanımıyla ilgili temel sorunlardan biri, şebekeye etkilerini en üst düzeye çıkarmak için en iyi konumlarını, boyutlarını ve teknolojiyi bulmaktır. Bu bağlamda, enerji depolama sistemlerini en uygun planlanması ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Metodolojinin amacı, enerji depolama cihazlarının işletme ve yatırım maliyetlerini en aza indirmek, performanslarını ise maksimum düzeye çıkarmaktır. Bu bağlamda, aşağıdaki bölümlerde en uygun konum, boyut, adet ve teknoloji seçimine dair belirlenen yaklaşım verilmiştir. Bu yaklaşım aşağıdaki şekil üzerinde gösterilen akış diyagramı çerçevesinde gerçekleştirilecektir.



Şekil 7 - En Uygun Konum, Boyut ve Teknoloji Seçimi Yöntemi Akış Şeması

Sonrasında bu uygulamalar için genellikle karşılaşılan güç ve deşarj süreleri göz önünde bulundurulmalıdır (World Energy Council, 2004).



Şekil 8 - Enerji Depolama Sistemi Şebeke Uygulamaları için Güç ve Deşarj Süresi Gereksinimleri

Bu grafiklerden de görülebileceği gibi her uygulama ve batarya tipi eşit talep ve performansa sahip değildir. Bu sebeple her bir uygulama için yeterli performansı sağlayabilecek depolama teknolojisinin belirlenmesi gerekir.

4.1 Kullanım Faktörlerinin Hesaplanması

Öncelikle enerji depolama sisteminin ne amaçlarla kullanılacağı belirlendikten sonra bu kullanım amaçlarına ne kadar ihtiyaç duyulacağına dair bir ağırlıklandırma yapılması gerekmektedir. Bu faktörlerin her birine kullanım faktörü ismi verilebilir.

Kullanım Faktörü - Bu faktör, ortak bir enerji depolama sisteminin belirli bir uygulama için ne kadar etkili bir şekilde kullanılabileceğini ifade eder. Bir depolama uygulamasının ortak bir depolama sistemini paylaşan diğer uygulamalarla birlikte sunulduğunda nominal değeri ile çarpılan, 1.00'e (% 100) eşit veya daha az olan bir çarpandır. Örneğin, tam güçte günlük enerji kaydırma uygulamasını sağlamak için bir depolama cihazı kullanıldığında, bu süre zarfında yan hizmetler uygulaması için kullanılamaz. Bu nedenle, her gün sınırlı bir süre boyunca yan hizmetler uygulaması yapılması, yan hizmetler uygulaması için gerçekleştirilebilir değeri azaltacaktır. Kullanım faktörü diğer dört faktörden etkilenmektedir:

- Uygulama önceliği
- Uygulama tipi
- Eş Zamanlılık
- Kullanılabilirlik Faktörü

Uygulama Önceliği – Seçilen uygulamaların öncelik sırasındır.

Uygulama Türü (veya Kullanım Şekli) – Depolama için bir uygulama kullanım şekli, üç ana türe ayrılabilir. Her bir depolama uygulaması ne zaman ve nasıl devreye gireceği konusunda benzersiz olsa da, basitlik için bu yaklaşım tüm şebeke uygulamalarını üç tipten birine ayırır. Uygulamanın tipi, bir uygulamanın kullanım faktörünü belirleyen tepe zamanı uyumu ve varlık kullanılabilirliğini etkiler.

- **Tip 1** – Yük profili tepe noktası ile yüksek oranda hizalanmış deşarj karakteristiği olan uygulamalar(Arbitraj gibi)
- **Tip 2** – Sıklıkla depolama sistemine ihtiyaç duyan uygulamalar(yenilenebilir enerji çıkış gücü düzeltilmesi veya yan hizmetler uygulaması gibi)
- **Tip 3** – Depolama sistemine nadiren ihtiyaç duyan uygulamalar(Güç kalitesi uygulamaları gibi)

Eş Zamanlılık – Tepe yükünün azaltılması, ilave güç kapasitesi ve dağıtım yatırımlarının ötelenmesi gibi birçok Tip 1 uygulama yük profilinin en yüksek olduğu ve çoğu zaman birkaç saat süren zaman zarfında hizmet sağlamaktadır. Aynı veya örtüşen hizmet

zamanlamasına sahip uygulamalar birbirleriyle oldukça uyumlu olacaktır ve bu nedenle kullanım faktörleri bir araya geldiklerinde daha da fazla olacaktır.

Kullanılabilirlik Faktörü - Birden fazla uygulamanın hizmet zamanları arasında doğrudan bir ilişki olmadığında, düşük öncelikli uygulamalar, yalnızca daha yüksek öncelikli uygulamalar tarafından kendilerine sağlanan zaman içinde kendi hizmetlerini sunabilir. Bu gibi düşük öncelikli uygulamalar için kullanım faktörü, çoğu durumda, kullanılabilirlik faktörüne temelde eşittir. Örneğin, daha yüksek öncelikli bir uygulama bir günde zamanın % 35'inde bir depolama cihazını kullanıyorsa, bir sonraki uygulama bu depolama cihazını bir günde en fazla % 65 oranında kullanabilir.

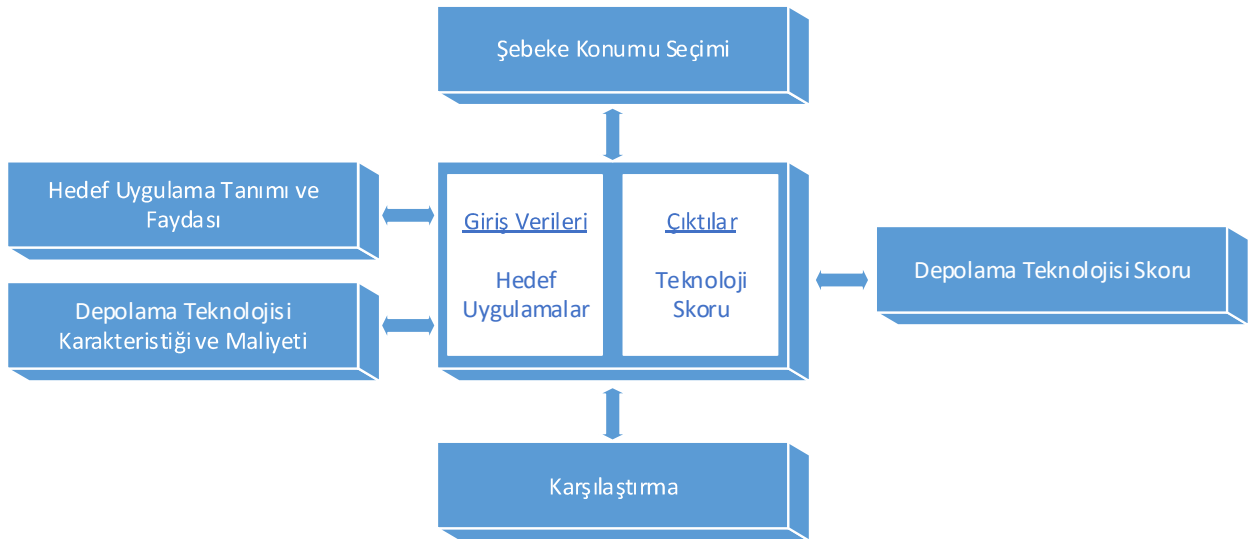
Buradaki faktörlerin hesaplanması ve uygulamalar arasındaki puanlamalar ışığında gerçekleştirilmesi planlanan uygulama için bir kullanım faktörü hesaplanmalıdır. Bu seçilecek teknoloji için en önemli parametrelerden birisidir.

4.2 Teknoloji Seçimi

Elektrik şebekesinde kullanılan diğer ekipmanların aksine, enerji depolama sistemleri çok çeşitli türlere (teknolojilere) ve yeteneklere sahiptir. Hem kontrol edilebilir bir yük hem de dinamik bir generatör olarak hareket edebilmeleri nedeniyle, şebekede nereye bağlı oldukları ve nasıl kontrol edildiklerine göre birçok farklı avantaj sunabilmektedirler.

Farklı enerji depolama sistemi sağlayıcıları aynı depolama teknolojisi için farklı işlevler ve farklı özellikler sunabilmektedir. Bu sebeple kesin bir teknoloji seçimi yönteminin geliştirilmesi mümkün değildir. Bu bölümde, en azından ön seçim için gerekli ihtiyaçlara cevap verecek bir yöntem önerilmiştir. Ön seçim için doğru bir yönlendirme yapabilmek için kesin girdileri zorunlu kılmayan, depolama sisteminin özellikleri ve maliyeti hakkındaki belirsizlikler ile birlikte çalışabilecek bir yöntem önerilmiştir.

Bu yöntemde, öncelikle uygulamanın yapılacağı konum belirlenmelidir. Sonrasında, yapılmak istenen uygulama veya uygulamalar seçilerek her bir enerji depolama sistemi teknolojisi için uygulama skoru belirlenir. Teknoloji uygulama skoru belirlenmesi için metodoloji aşağıdaki görselde özetlenmiştir.



Şekil 9 - Teknoloji Seçimi Hakkında Genel Prensi Şeması

4.2.1 Depolama teknolojisi karakteristiği ve maliyeti

Depolama teknolojisine bağlı olarak birçok farklı karakteristik ve uygulama maliyeti mevcuttur. Bu yaklaşımda 10 farklı enerji depolama teknolojisi veya türü için ayrıntılı bilgileri içeren bir veri tabanı kullanılmıştır (Mohammed, 2016). Bu yöntemde, her bir parametre için düşük ve yüksek olmak üzere geniş bir aralıktaki verilerin tamamı rastgele kullanılmaktadır.

Kullanılan veri tabanında önerilen karakteristikler Tablo-1'de verilmiştir (Mohammed, 2016):

- Depolama teknolojisi
- Nominal güçte deşarj süresi (düşük ve yüksek)
- Enerji yoğunluğu ve spesifik enerji (düşük ve yüksek)
- Verimi (düşük ve yüksek)
- Bekleme modundan tam kapasite şarj veya deşarj durumuna geçme süresi

Tablo 1 - Depolama Teknolojisi Karakteristikleri

Depolama Teknolojisi	Kısaltma	Deşarj Süresi (Saat) Düşük	Deşarj Süresi (Saat) Yüksek	Spesifik Enerji (kWh/ton) Düşük	Spesifik Enerji (kWh/ton) Yüksek	Enerji Yoğunluğu (kWh/m ³) Düşük	Enerji Yoğunluğu (kWh/m ³) Yüksek	Nominal Güçte ve %80 DoD'de Verim Düşük	Nominal Güçte ve %80 DoD'de Verim Yüksek	Tepki Süresi	Kapladığı Alan (m ² /kWh) Düşük	Kapladığı Alan (m ² /kWh) Yüksek
Lityum-İyon Yüksek Güç	LIB-p	0,25	1	70	120	60	90	0,85	0,99	ms	40	60
Lityum-İyon Yüksek Enerji	LIB-e	1	4	150	240	90	130	0,85	0,99	ms	18	26
Nikel Bataryalar (NiCd, NiZn, NiMH)	Ni-batt	0,3	3	45	120	60	210	0,7	0,8	ms	26	93
Gelişmiş Kurşun Asit	LA-adv	2	5	30	50	50	80	0,70	0,90	ms	33	45
Valf Ayarlı Kurşun Asit	VRLA	2	4	18	25	30	60	0,68	0,78	ms	25	35
Vanadyum Redox Batarya	VRFB	3	10	10	30	16	33	0,60	0,85	ms	37	55
Gelişmiş Vanadyum Redox Akış Batarya	A-VRFB	3	6	17	21	25	30	0,65	0,7	ms	17	33
Çinko Bromür	ZnBr	2	10	30	50	30	60	0,60	0,75	ms	9	19
Sodyum Sülfür	NaS	6	7	150	240	150	250	0,70	0,90	ms	4	5
Sodyum Nikel Klorür	NaNiCl	2	4	100	150	170	190	0,82	0,87	ms	8	11
Çinko Hava Batarya	ZnAir	5	6	130	170	300	500	0,65	0,77	ms	5	6

Aynı şekilde yine batarya teknolojilerinin kullanım ömürleri ve maliyet parametreleri kullanılmalıdır. Aşağıdaki tabloda verilen kullanım ömrü ve maliyet parametreleri şunlardır (Mohammed, 2016);

- Depolama teknolojisi
- %80 ve %10 deşarj derinliğine kadar olan kullanım ömrü(düşük ve yüksek)
- Amaçlanan uygulamalar için tahmini yıllık operasyonel kayıplar(düşük ve yüksek)
- Tahmini yıllık bakım maliyeti(düşük ve yüksek)
- AC enerji depolama ekipmanları maliyeti(düşük ve yüksek)

Tablo 2 - Depolama Teknolojisi Kullanım Ömrü ve Maliyeti

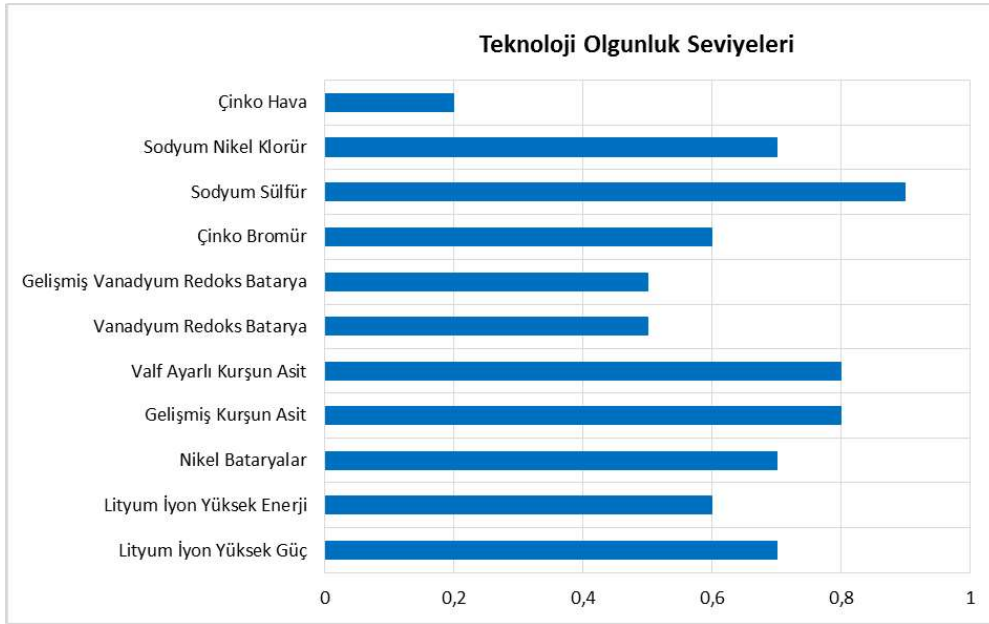
Depolama Teknolojisi	Kısaltma	%80 DoD Çevrim Ömrü Düşük	%80 DoD Çevrim Ömrü Yüksek	%10 DoD Çevrim Ömrü Düşük	%10 DoD Çevrim Ömrü Yüksek	Yıllık İşletme Kaybı (kWh/yr/kW) Düşük	Yıllık İşletme Kaybı (kWh/yr/kW) Yüksek	Yıllık Bakım veya Garanti Maliyeti (\$/yr/kW) Düşük	Yıllık Bakım veya Garanti Maliyeti (\$/yr/kW) Yüksek	Fabrika Çıkışı Depolama Birim Maliyeti (\$/kW) Düşük	Fabrika Çıkışı Depolama Birim Maliyeti (\$/kW) Yüksek
Lityum-İyon Yüksek Güç	LIB-p	5000	7000	50000	110000	110	250	7	35	800	1200
Lityum-İyon Yüksek Enerji	LIB-e	3500	6000	50000	100000	120	250	7	25	2500	3500
Nikel Bataryalar (NiCd, NiZn, NiMH)	Ni-batt	300	1000	1000	3000	150	500	2,25	40,5	500	1500
Gelişmiş Kurşun Asit	LA-adv	200	300	20000	30000	250	900	10	30	2200	3900
Valf Ayarlı Kurşun Asit	VRLA	600	1000	2000	4000	300	900	10	40	1600	2500
Vanadyum Redox Batarya	VRFB	6000	8000	160000	200000	300	875	9	15	2200	3100
Gelişmiş Vanadyum Redox Akış Batarya	A-VRFB	6000	8000	160000	200000	100	300	10	14	2000	2500
Çinko Bromür	ZnBr	1500	2500	15000	25000	570	670	10	30	700	2500
Sodyum Sülfür	NaS	2500	4000	40000	50000	200	625	15	60	1000	3000
Sodyum Nikel Klorür	NaNiCl	3000	5000	50000	100000	85	145	10	22	2000	3000
Çinko Hava Batarya	ZnAir	5000	10000	10000	20000	540	750	15	40	1200	1400

4.2.2 Depolama teknolojilerinin derecelendirilmesi

Amaçlanan şebeke uygulamalarına uygun olacak bir enerji depolama teknolojisi seçeneği seçmek için her depolama teknolojisi fizibilitesi aşağıdaki dört kritere dayanan bir skorlamaya göre belirlenebilir:

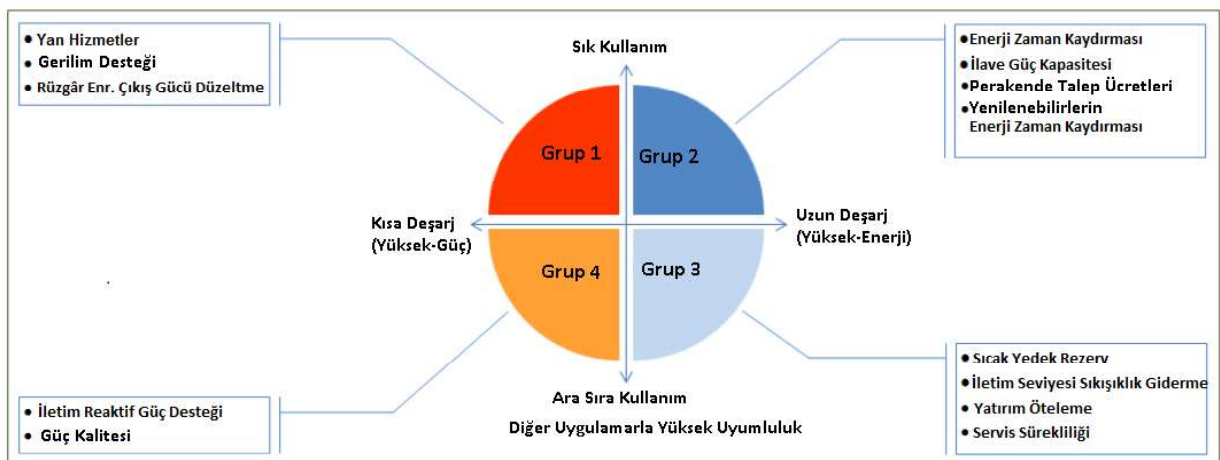
- Teknoloji olgunluk seviyesi
- Seçilen şebeke konumu için uygunluk (boyut, ağırlık, ölçeklenebilirlik vb.)
- Uygulama gerekliliklerini karşılama (deşarj süresi, kullanım ömrü, verimlilik vb.)
- \$/kW veya \$/kWh bazında kurulum maliyeti

Bu dört farklı kriter için ağırlık puanları verilerek toplam fizibilite skoru çıkartılmaktadır. Teknoloji olgunluk seviyesine göre enerji depolama teknolojileri Şekil 10'da verilmiştir (Sreekanth ve diğ., 2018).

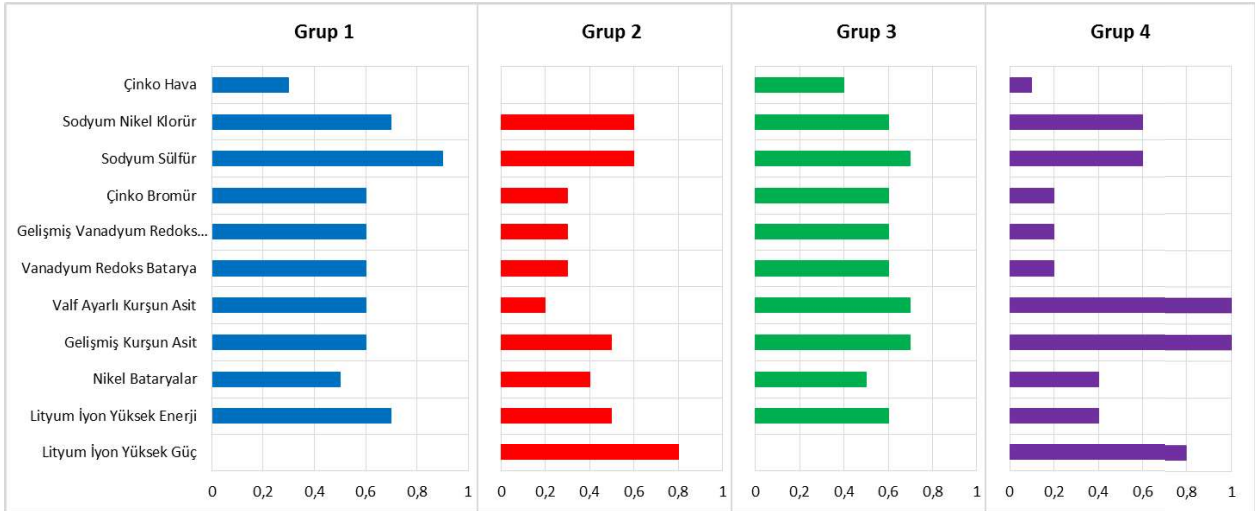


Şekil 10 - Enerji Depolama Teknolojileri Olgunluk Seviyeleri

Enerji depolama teknolojilerinin uygulama gerekliliklerini karşılayıp karşılamadıklarını değerlendirmek içindeşarj süresi, çevrim sayısı gibi birçok değişkenin değerlendirilmesi gerekecektir. Bu yaklaşımda basitleştirilmiş değerlendirme önerilmiştir. Bu basitleştirme sürecinde, tüm uygulamalar Şekil 11'de gösterildiği gibi dört ana gruba ayrılmıştır. Gruptaki uygulamalar sağlıklı değerlendirme için yukarıda bahsedilen uygulamalardan daha detaylı uygulamalara bölünmüştür. Enerji depolama teknolojilerinin bu dört uygulama grubu için fizibilite skorları, Şekil 12'de gösterilmektedir.



Şekil 11 - Enerji Depolama Sistemleri için Dört Uygulama Grubu



Şekil 12 - Enerji Depolama Teknolojilerinin Seçilen Uygulama İçin Fizibilite Skorları

Her bir depolama teknolojisi seçeneğinin maliyet skoru ise kurulum maliyeti ile ters orantılıdır ve istenen uygulama değerine bağlı olarak \$/kW veya \$/kWh istenen hedef değerlerine göre normalleştirilebilir.

4.2.3 Çoklu uygulama amaçlarına göre fizibilite skorlarının birleştirilmesi

Çoklu fizibilite puanlarını birleştirmek için aritmetik ortalama yerine geometrik ortalama tercih edilir.

$$\text{Aritmetik Ortalama} = (S_1 + S_2 + \dots + S_n) / n$$

$$\text{Geometrik Ortalama} = (S_1 \times S_2 \times \dots \times S_n)^{(1/n)}$$

Burada, S_1, S_2, \dots, S_n ortalaması alınacak “n” adet bireysel fizibilite skorlarının her biridir. İki ortalama yöntemi arasındaki temel fark, geometrik ortalamanın düşük sayılara (puanlara) aritmetik ortalamasından daha duyarlı olmasıdır. Örneğin, tek bir “sıfır” puanı, aritmetik ortalamayı biraz düşürecek iken, geometrik ortalamayı sıfıra eşitler. Bir depolama seçeneği, fizibilite kriterlerinden herhangi biri için sıfır puan alması, istenilen uygulamaların bu teknoloji ile gerçekleştirilemeyeceği ve bu eksikliğin birleşik fizibilite puanına doğru bir şekilde yansıtılması gerektiği anlamına gelir. Bu nedenle, çoklu fizibilite puanlarını birleştirmek için geometrik ortalama tercih edilir.

Bu yaklaşımda, bu fizibilite skorlarını birleştirirken farklı ölçüt puanlarına farklı ağırlıklar uygulayabilmek için, aşağıdaki geometrik ortalama denklemini kullanılır:

$$\text{Birleştirilmiş Fizibilite Skoru} = (S_1^a \times S_2^b \times S_3^c \times \dots)^{[1/(a+b+c+\dots)]}$$

Burada, “a” “ S_1 ” puanının ağırlık derecesi, “b” ise “ S_2 ” puanının ağırlık derecesini ifade etmektedir.

Aşağıdaki şekilde birden fazla şebeke uygulaması tercih edilmesi durumunda, her depolama teknolojisi seçeneğini puanlamak için öncelikle dört farklı kriter özelinde tüm uygulamalar için bir ortalama puan, sonrasında ise bu eşdeğer dört kriterin ortalaması alınarak toplam fizibilite skorunun hesaplandığı iki aşamalı süreç gösterilmektedir. Burada Adım 1’deki uygulamaların ağırlık dereceleri yukarı ki bölümlerde bahsedilen kullanım faktöründen belirlenmektedir. Adım 2’deki ağırlık dereceleri ise isteğe bağlıdır.

		Uygulama Grubu						
		Uyg.1	Uyg.2	Uyg.3	Uyg.4	Uyg.5	Uyg.6	
Fizibilite Kriteri	Uygulama Gereksinimleri	Skor	Skor	Skor	Skor	Skor	Skor	Adım 1 - Ortalama Uygulama Skoru
	Konum Gereksinimleri	Skor	Skor	Skor	Skor	Skor	Skor	
	Maliyet	Skor	Skor	Skor	Skor	Skor	Skor	
	Olgunluk	Skor	Skor	Skor	Skor	Skor	Skor	
								Adım 2
								Skor
								Toplam Fizibilite Skoru

Şekil 13 - Her Depolama Teknolojisi Seçeneğinin Toplam Fizibilite Skoru için Hesaplama Süreci

5. Sonuçlar

Gerçekleştirilen çalışmada öncelikle şebeke seviyesinde enerji depolama sistemlerinin uygulama amaçlarından bahsedilmiş ve bu uygulama amaçlarıyla birlikte elde edilen faydalar ortaya konulmuştur. Enerji depolama sistemleri enerji üretim ve tüketim zamanlarının farklılaştırılmasıyla benzersiz bir şebeke elemanı olarak karşımıza çıkacak ve elektrik şebekemizde de yer alacaktır. Ancak enerji depolama sistemlerinin halen yüksek maliyetler içermesi bu uygulamalar yapılmadan önce derin fizibilite çalışmalarının yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Uygun depolama teknolojisi, kapasitesi ve noktası seçimi bu noktada kullanım amacının belirlenmesinden sonraki ilk aşamadır. Depolama sistemleri yine bu maliyetleri sebebiyle fizibilitelerinin mümkün olabilmesi için birden fazla kullanım amacının bir araya getirilmesini de gözetmek zorundadırlar. Bu amaçla uygun teknolojinin seçimi amacıyla önerilen metodoloji oluşturulmuş ve detaylıca açıklanmıştır.

Uygun seçim yapılması gerçekleştirilecek yatırımın sebeplendirilmesinde önemli bir noktaya sahiptir. Bu sebeple gerçekleştirilen işlemlerin bir metodoloji dahilinde yapıldığını göstermek hem yatırımcıyı hem de yükleniciyi güvenli hissettirecektir. Bahsekonu metodoloji ile 5 farklı elektrik dağıtım şirketi için enerji depolama uygulama teknolojileri belirlenmiş olup, belirlenen teknolojiler ile birlikte dağıtım şirketleri alıma çıkmıştır, halen kurulum süreci devam etmektedir.

Referanslar

- Amin SM, G. C. (2006). The North American power delivery system: balancing market restructuring and environmental economics with infrastructure security.
- D. A. Sbordone, L. M. (2016). Reactive Power Control for and Energy Storage System: A Real Implementation in a Micro-Grid. *Journal of Network and Computer Applications*, vol 59, p. 250 – 263.
- Denholm P, E. E. (2010). *The role of energy storage with renewable electricity generation*. National Renewable Energy Laboratory (NREL).
- K. Spiliotis, S. C. (2016). Utilizing local energy storage for congestion management and investment deferral in distribution networks. *13th International Conference on the European Energy Market (EEM)*, (s. pp. 1-5). Porto.
- Kemiwatt. (2020, 12 14). *Renewable & Integration*. Kemiwatt: <https://kemiwatt.com/renewable-integration/> adresinden alındı
- Koohi-Kamali S, T. V. (2013). mergece of energy storage technologies as the solution for reliable operation of smart power systems: a review. *Renew Sustain Energy Rev*, 25:135–65. .
- L. Maeyaert, L. V. (2020). Battery Storage for Ancillary Services in Smart Distribution Grids. *Journal of Energy Storage* , vol. 30 ISSN 2352-152X.
- M. Delfanti, D. F. (2014). Distributed Generation Integration in the Electric Grid: Energy Storage System for Frequency Control. *Computational Science in Smart Grids and Energy Systems*.
- M. Uddin, M. R. (2018). A review on peak load shaving strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, Part 3, p 3323-3332.
- Mohammed, M. F. (2016). Energy Storage Technologies for High-Power Applications. *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 52, no. 3, pp. 1953-1961.
- Sreekanth, K. J., Al Foraih, R., Al-Mulla, A., & Abdulrahman, B. (2018). Feasibility Analysis of Energy Storage Technologies in Power Systems for Arid Region. *Journal of Energy Resources Technology*, 141(1), 011901. doi:10.1115/1.4040931
- World Energy Council. (2004). *Energy End-Use Technologies for the 21st Century*.
- Z. Cheng, J. D. (2018). o Centralize or to Distribute: That Is the Question: A Comparison of Advanced Microgrid Management Systems. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol. 12, no. 1, pp. 6-24.



Quadrotorün Dikey Hareketi için Tasarlanan Oransal-İntegral-Türevsel Kontrolörünün Katsayılarının Genetik Algoritma ile Optimizasyonu

Optimization of the Coefficients of the Proportional-Integral-Derivative Controller Designed for Vertical Motion of the Quadrotor with Genetic Algorithm

Zafer Civelek

¹Karatekin Üniv. Uluyazı Kampüsü Müh. Fak., 18200 ve Çankırı, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 19/11/2020

Kabul / Accepted: 15/12/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2020

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2020

Öz

İnsansız hava araçları (İHA) sivil ve askeri alanlarda oldukça geniş uygulama alanları bulmuşlardır. Düşük maliyetli fiziksel yapıları ve emsallerine göre daha az karmaşık kontrol yapıları, bu cihazları birçok araştırmacının hedefi yapmıştır. Bu çalışmada dört motorlu İHA'nın dikey yönde hareketini kontrol eden oransal-integral-türevsel (PID) kontrolörün katsayıları Genetik Algoritma (GA) ile optimize edilmiştir. GA, Matlab/Script dilinde kodlanmıştır. Quadrotörün matematiksel modeli Matlab ortamında geliştirilmiştir. Simülasyon sonuçları GA'nın PID kontrolörün katsayılarını başarıyla optimize ettiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler

quadrotör, pid, genetik algoritma, kontrol

Abstract

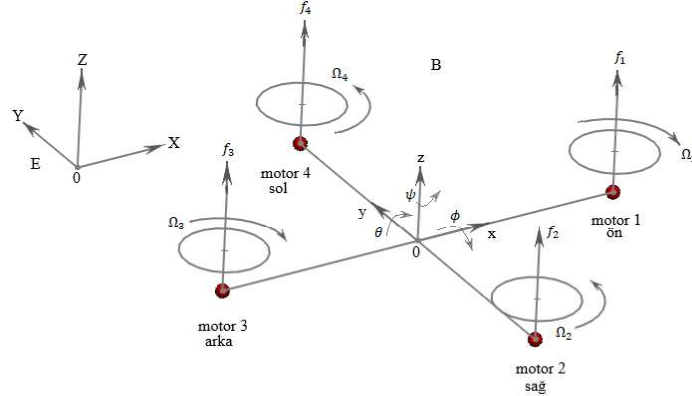
Unmanned aerial vehicles (UAVs) have found wide application areas in civil and military. Their low-cost physical structure and less complex control structures compared to their counterparts have made these devices the target of many researchers. In this study, the coefficients of the proportional-integral-derivative (PID) controller that controls the vertical movement of four-motor UAVs have been optimized with the genetic algorithm (GA). GA is coded in Matlab / Script language. Mathematical model of Quadrotor was developed in Matlab environment. The simulation results show that the GA has successfully optimized the coefficients of the PID controller.

Key Words

quadrotor, pid, genetic algorithm, control

1. Giriş

Quadrotör dik yönde iniş-kalkış yapabilen bir hava aracıdır. X veya + yapısında olup, quadrotörün kollarının ucunda motor ve pervane çiftleri bulunur. Şekil 1’de görüldüğü gibi iskelet yapının tam ortası kütle ağırlık merkezidir. Motorların ikisi saat yönüne dönerken ikisi de saat yönünün tersine döner. Bu helikopterlerde arka kuyruktaki pervanenin yaptığı görevi yapar ve dengelemeyi sağlar. Quadrotörün modellenmesinde iki koordinat sistemi kullanılır. Bunlardan birisi yer koordinatı (earth axis) diğeri cihaz koordinatı (body axis) dir. Yer koordinatı sabittir ve X, Y ve Z harfleri ile gösterilir. Cihaz koordinatı ise hareketlidir ve x, y, z harfleri ile gösterilir.



Şekil 1. Dört Motorlu İnsansız Hava Aracının Modeli

Yalpa (roll) açısını (ϕ) değiştirmek için sol ve sağdaki motorların hızları artırılıp azaltılır. Yunuslama (pitch) açısı (θ) değişimi ön ve arka motorların hızları ayarlanarak yapılır. Sapma (yaw) açısını (ψ) değiştirmek için arka, ön, sağ ve sol motorların hızları değiştirilir. Bu açılar değiştirilirken toplam itme kuvveti sabit tutularak, quadrotörün dikey ekseninde sabit kalması sağlanır. Quadrotörün dikey eksenindeki (z) hareketi ise dört motorun itme kuvvetlerinin aynı oranda değişmesiyle belirlenir. Ω_i , i'inci motorun hızıdır, ($i=1, 2, 3, 4$). b, itme katsayısı, d ise sürtüleme katsayısıdır. Üç Euler açısındaki (ϕ, θ, ψ) değişimlerin küçük olduğu kabul edilerek; bu açıların zaman türevleri, quadrotör eksenlerinin açısal hızlarına eşitlenmiştir.

Quadrotörün hareketi iki kısma ayrılabilir; açısal dönüş hareketi ve doğrusal yer değiştirme hareketi. Sistem denklemleri Denklem 1 ve Denklem 2'den de görülebileceği gibi yer değiştirme hareketi açısal harekete bağlı olduğu halde açısal hareket yer değiştirme hareketinden bağımsızdır.

Son yıllarda quadrotörün modellenmesi ve kontrolü ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bunlar klasik PID kontrol (Li & Li, 2011), (Goodarzi et al., 2013), H_∞ kontrol (Raffo et al., n.d.), predictive kontrol (Abdolhosseini et al., n.d.), (Bouffard et al., n.d.), backstepping kontrol (Madani et al., n.d.), sliding mode kontrol (Xu et al., n.d.), LQR kontrol (Reyes-Valeria et al., n.d.), dynamic surface kontrol (Shao et al., 2018), adaptive kontrol (Dydek et al., n.d.), neural network kontrol (Nicol et al., n.d.), fuzzy kontrol (Santos Peñas et al., 2010) ve bu metotların hibrit karışımları gibi çalışmalardır.

Bunlarla birlikte hala klasik PID kontrol basitliğinden dolayı en çok kullanılan ve tercih edilen kontrol çeşitidir. PID kontrolörün kazanç katsayılarının ayarlanmasının kolay olması, tasarımının basit olması ve doğrusal sistemler için iyi bir kararlı kontrol mekanizması sağlaması gibi avantajları vardır. Bu makalede dikey ekseninde hareketi kontrol eden klasik PID kontrolörün katsayıları ilk önce Ziegler-Nichols (ZN) yöntemi ile sonra genetik algoritma ile belirlenmiştir.

2. Quadrotörün Dinamiği

Quadrotörün dinamik yapısı üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Birçok çalışmada kabul edilen matematiksel denklemler Denklem 1 ve Denklem 2'de gösterilmiştir.

$$\left. \begin{aligned}
 \ddot{x} &= \frac{1}{m} (\sin\psi \sin\phi + \cos\psi \sin\theta \cos\phi) U_1 \\
 \ddot{y} &= \frac{1}{m} (-\cos\psi \sin\phi + \sin\psi \sin\theta \cos\phi) U_1 \\
 \ddot{z} &= \frac{1}{m} \cos\theta \cos\phi U_1 - g \\
 \ddot{\phi} &= \frac{(I_y - I_z)}{I_x} \dot{\theta} \dot{\psi} - \frac{J_r}{I_x} \dot{\theta} \Omega_r + \frac{l}{I_x} U_2 \\
 \ddot{\theta} &= \frac{(I_z - I_x)}{I_y} \dot{\phi} \dot{\psi} + \frac{J_r}{I_y} \dot{\phi} \Omega_r + \frac{l}{I_y} U_3 \\
 \ddot{\psi} &= \frac{(I_x - I_y)}{I_z} \dot{\theta} \dot{\phi} + \frac{1}{I_z} U_4
 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Burada x, y, z hareketsiz ekseninde cisim merkezinin bulunduğu konumdur. ϕ, θ, ψ ise quadrotor ekseninin hareketsiz eksene göre durumunu belirleyen Euler açılarıdır. m , quadrotorun kütlesi, l ise quadrotörün kütle merkezi ile pervanelerin dönüş eksenini arasındaki mesafedir. J_r , motorun eylemsizlik momenti, I_x, I_y, I_z ise quadrotorun kütle merkezinin etrafındaki eylemsizlik momentleridir ve x, y, z eksenleri için simetrik olduğu farz edilmektedir. U_1 , dört motorun quadrotora uyguladığı toplam itme kuvvetidir. U_2, U_3, U_4 ise motorlar tarafından üretilen ve quadrotor ekseninde açısal harekete sebep olan torklardır. Ω_r ise motorların bağlı hızlarıdır. $\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3, \Omega_4$ ise sırasıyla 1, 2, 3 ve 4. motorların hızlarıdır.

$$\left. \begin{aligned}
 U_1 &= b(\Omega_1^2 + \Omega_2^2 + \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \\
 U_2 &= b(-\Omega_2^2 + \Omega_4^2) \\
 U_3 &= b(\Omega_3^2 - \Omega_1^2) \\
 U_4 &= d(-\Omega_1^2 + \Omega_2^2 - \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \\
 \Omega_r &= \Omega_1 - \Omega_2 + \Omega_3 - \Omega_4
 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Bu çalışmada kullanılan quadrotörün parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Quadrotörün Parametreleri

Parametre Sembolleri	Değer	Birim	Parametre Tanımı
I_x	0.0086	$kg \ m^2$	x eksenini eylemsizlik momenti
I_y	0.0086	$kg \ m^2$	y eksenini eylemsizlik momenti
I_z	0.0172	$kg \ m^2$	z eksenini eylemsizlik momenti
J_r	$3,7404 \cdot 10^{-5}$	$kg \ m^2$	motor eylemsizlik momenti
b	$3,13 \cdot 10^{-5}$	$N \ s^2$	itme katsayısı
d	$9 \cdot 10^{-7}$	$N \ m \ s^2$	sürüklenme katsayısı
m	0.4794	kg	quadrotörün kütlesi
l	0.225	m	quadrotör kol uzunluğu

Kontrolörün ürettiği kontrol sinyallerinin quadrotörün ürettiği toplam torku koruması istenirse Denklem (3)'deki hesaplamaların dikkate alınması gereklidir. Bu durum özellikle quadrotörün bulunduğu yükseklikte açısal hareket yapılması istendiğinde önemli olmaktadır.

$$\left. \begin{aligned}
 \Omega_1 &= \frac{1}{2} \left(\frac{U_4}{d} + \frac{U_1}{b} + 2 \frac{U_3}{b} \right)^{1/2} \\
 \Omega_2 &= \frac{1}{2} \left(-\frac{U_4}{d} + \frac{U_1}{b} - 2 \frac{U_2}{b} \right)^{1/2} \\
 \Omega_3 &= \frac{1}{2} \left(\frac{U_4}{d} + \frac{U_1}{b} - 2 \frac{U_3}{b} \right)^{1/2} \\
 \Omega_4 &= \frac{1}{2} \left(-\frac{U_4}{d} + \frac{U_1}{b} + 2 \frac{U_2}{b} \right)^{1/2}
 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

3. Genetik Algoritma (GA)

Genetik Algoritma Yapısı

Genetik algoritmada onlu sistemi kullanan bazı genetik algoritma yapıları bulunsa da çoğunlukla ikili kodlama sistemi kullanılmaktadır. Bu çalışmada, optimize edilmek istenen kontrol sisteminde onlu sayılar kullanılmasına rağmen, genetik algoritma kodlamasında ikili sistem sayıları tercih edilmiştir. GA'nın içine bir takip ve kontrol algoritması yerleştirilmiştir. Bu algoritma popülasyondaki en iyi bireyleri takip ederek, en iyi bireylerin tekrarlanma sayılarını hesaplamakta ve GA'nın herhangi bir lokal minimum veya maksimuma takılıp takılmadığını kontrol etmektedir. Eğer GA'nın lokal bir minimum veya maksimuma takıldığına karar verirse çaprazlama ve mutasyon oranlarını değiştirmektedir. Böylece GA'yı lokal minimum veya maksimum kurtarmaya çalışmaktadır.

Seçim

GA popülasyon tabanlı bir algoritma yapısına sahiptir. Popülasyondaki her bir bireyin hedef fonksiyona yada değere yakınlığını gösteren bir uygunluk değeri vardır. Bir bireyin uygunluk değeri ne kadar yüksek ise gelecek neslin ebeveyni olma ihtimali o kadar fazladır. Oluşturulan yeni popülasyon içindeki uygun bireyler çeşitli yöntemlerle seçilir. Bu yöntemlerin bazıları; rulet tekerleği, turnuva, sıralama gibi isimlere sahiptir. Bu çalışmadaki GA'da rulet tekerleği seçim yöntemi tercih edilmiştir.

Çaprazlama

Çaprazlama genetik algoritmanın kalbidir ve temel amacı yüksek uygunluk değerine sahip iki bireyden bir yada daha fazla yeni birey üretmektir. Kullanılan çaprazlama yöntemi GA'nın hedefe ulaşımını çok etkilemektedir. İyi bir çaprazlama yöntemi seçimi ile GA hedefe kısa bir sürede ulaşmaktadır. Çaprazlama işlemi içerisinde çaprazlama oranı denilen bir kavram bulunmaktadır. Çaprazlama oranı çaprazlamaya tabi tutulacak bireylerin miktarını belirler. Bu oran GA'yı tasarlayan uzmana bağlı olmakla birlikte, genelde %70 - %90 arasında seçilen yüksek bir değerdir. Bu çalışmadaki GA'da çaprazlama oranı %90 olarak ayrıca çaprazlamada kullanılan nokta sayısı da değişken olarak belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan GA çaprazlamaya tek noktadan başlamaktadır. GA'nın içinde başka bir algoritma popülasyonunun en iyi bireylerini takip etmektedir. Eğer belirli bir sayıda bu bireyler aynen tekrar edilirse, algoritma çaprazlama sayısını da arttırmaktadır. Bu yöntemle çaprazlama işlemine bir zenginlik katılmıştır. Çaprazlama noktasının üst sınırı ise kromozom uzunluğunun bir fonksiyonu olarak belirlenmiştir.

Uygunluk Fonksiyonu

Genetik algoritmada, popülasyondaki her bir bireyin çözüme yakınlığını göstermek için uygunluk fonksiyonu kullanılmaktadır. Bu çalışmada, z eksenindeki hatanın mutlak değerinin ortalaması uygunluk fonksiyonunda kullanılmıştır. Sıfıra bölme hatasından kaçınmak için mutlak değer ortalama hata $1 \cdot 10^{-3}$ ile toplanmıştır. Uygunluk fonksiyonu Denklem 4'de verilmiştir.

$$F(t) = 1/(ort(|hata_z|) + 1 \cdot 10^{-3}) \quad (4)$$

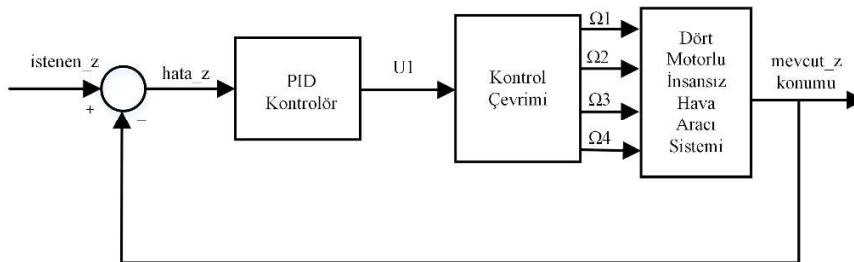
4. Kontrolör Yapısı

PID kontrolör

Denklem 5'de gösterildiği gibi, PID-oransal-integral-türevsel kontrol yönteminde, hata_z sinyali, kp oransal katsayısı ile, hata_z sinyalinin türevi, kd türevsel katsayısı ile hata_z sinyalinin integrali de, ki integral katsayısı ile çarpılarak, toplanır ve U_1 kontrol sinyalinin değeri elde edilir. Şekil 2'de Quadrotor ve PID Kontrol Sistemi Blok Şeması görülmektedir.

PID-oransal-integral-türevsel

$$U_1 = kp \cdot hata_z + ki \int hata_z dt + kd \cdot \frac{d(hata_z)}{dt} \quad (5)$$



Şekil 2. Quadrotor ve PID Kontrol Sistemi Blok Şeması

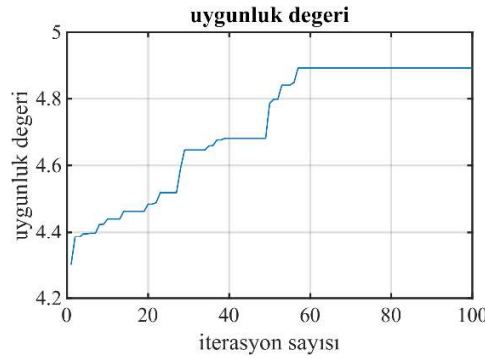
5. Simülasyon Sonuçları

Quadratör modeli Matlab/Script ortamında modellenmiştir. Simülasyon süresi 20 sn dir ve İterasyon adımı 0.01 sn olarak seçilmiştir. Yalpa (roll) açısı (ϕ) için sınır değerleri $\pi/2$ ile $-\pi/2$, yunuslama (pitch) açısı (θ) için sınır değerleri $\pi/2$ ile $-\pi/2$, sapma (yaw) açısı (ψ) için sınır değerleri π ile $-\pi$ arasında alınmıştır. Simülasyon süresince quadratör 20 sn içinde z ekseninde (istenen_z) 0 m den 20 m ye çıkarılmak istenmektedir. PID kontrolör katsayıları ilk önce ZN yöntemi ile belirlenip, sistem buna göre çalıştırılmıştır. Daha sonra Matlab/Script dilinde kodlanan genetik algoritma ile PID kontrolörün katsayıları optimize edilmiştir. Her iki yöntem ile bulunan katsayılar Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. PID Kontrolörün Katsayıları

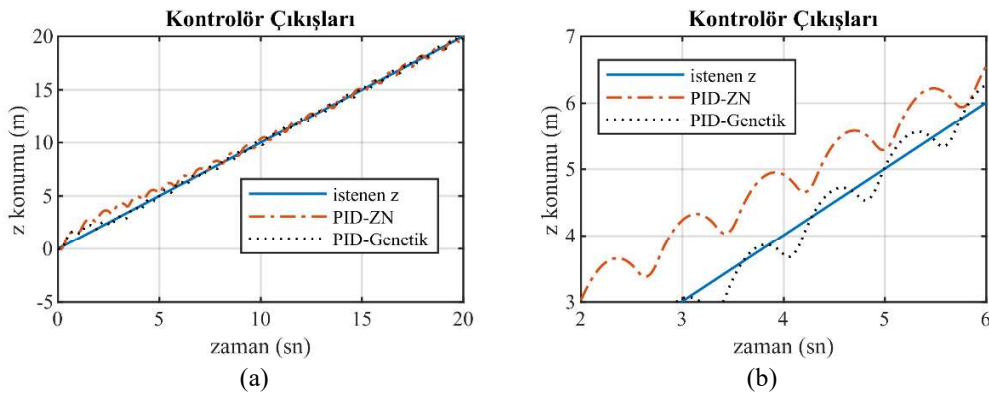
Yöntem/Katsayılar	kp	ki	kd
Ziegler-Nichols	30	30	7
Genetik Algoritma	67	56	99

GA, 100 iterasyon yaparak 10 kere çalıştırılmıştır. 10 çalışmanın her ne kadar sonuçları birbirine yakın ise de en iyi olan seçilmiştir. GA’nın uygunluk fonksiyon grafiği Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. GA uygunluk fonksiyon grafiği

GA ve ZN yöntemleri ile bulunan PID katsayıları ile çalıştırılan PID kontrolörün kontrol ettiği z-ekseni kontrolünün çıkışları Şekil 4 (a) ve (b) de gösterilmiştir.



Şekil 4. Kontrolör Çıkışları

Şekil 4 (a)’da genel hatları ile görülen quadratörün z eksenindeki hareketi Şekil 4 (b)’de daha detaylı olarak görülmektedir. GA ile optimize edilen PID kontrolörün çıkışları, ZN ile belirlenen katsayılardan daha iyi sonuç verdiği Şekil 4 (b)’den görülmektedir. Bu çalışmada hareketlendiricideki gecikme de dikkate alınarak simülasyona 0.1 sn gecikme uygulanmıştır. Yani kontrolörden gelen sinyaller 0.1 sn sonra çıkış üretmektedirler. Bunun sebebi motor pervanelerindeki dönme hareketinin kuvvete aktarılmasında oluşan gecikme süresidir.

Referanslar

- Abdolhosseini, M., Zhang, Y., robotic, C. R.-J. of intelligent &, & 2013, undefined. (n.d.). An efficient model predictive control scheme for an unmanned quadrotor helicopter. *Springer*. Retrieved October 28, 2020, from <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10846-012-9724-3.pdf>
- Bouffard, P., Aswani, A., International, C. T.-2012 I., & 2012, undefined. (n.d.). Learning-based model predictive control on a quadrotor: Onboard implementation and experimental results. *Ieeexplore.Ieee.Org*. Retrieved October 28, 2020, from <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6225035/>
- Dydek, Z., ... A. A.-... T. on control, & 2012, undefined. (n.d.). Adaptive control of quadrotor UAVs: A design trade study with flight evaluations. *Ieeexplore.Ieee.Org*. Retrieved October 28, 2020, from <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6220873/>
- Goodarzi, F., Lee, D., & Lee, T. (2013). Geometric nonlinear PID control of a quadrotor UAV on SE(3). *2013 European Control Conference, ECC 2013*, 3845–3850. <https://doi.org/10.23919/ecc.2013.6669644>
- Li, J., & Li, Y. (2011). Dynamic analysis and PID control for a quadrotor. *2011 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, ICMA 2011*, 573–578. <https://doi.org/10.1109/ICMA.2011.5985724>
- Madani, T., International, A. B.-2006 I., & 2006, undefined. (n.d.). Backstepping control for a quadrotor helicopter. *Ieeexplore.Ieee.Org*. Retrieved October 27, 2020, from https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4058900/?casa_token=dQH8u6f5YWUAAAAA:ii12Y0DQF_ekTjLsuLSzFZp8ZP1dzLME5tSNDbEMxYjQ6I_WnOcyAHtkQmyfMw2EZBznKHOF8g
- Nicol, C., ... C. M.-... C. on E., & 2008, undefined. (n.d.). Robust neural network control of a quadrotor helicopter. *Ieeexplore.Ieee.Org*. Retrieved October 28, 2020, from <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4564736/>
- Raffo, G., Ortega, M., Automatica, F. R.-, & 2010, undefined. (n.d.). An integral predictive/nonlinear H_∞ control structure for a quadrotor helicopter. *Elsevier*. Retrieved October 28, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0005109809004798>
- Reyes-Valeria, E., ... R. E.-C.-C., & 2013, undefined. (n.d.). LQR control for a quadrotor using unit quaternions: Modeling and simulation. *Ieeexplore.Ieee.Org*. Retrieved October 28, 2020, from <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6525781/>
- Santos Peñas, M., López, V., Santos, M., & Madrid, T. (2010). Intelligent fuzzy controller of a quadrotor Early prediction of depressive disorders based on complexity analysis and machine learning View project PriceProfor View project Intelligent Fuzzy Controller of a Quadrotor Francisco Morata. *Ieeexplore.Ieee.Org*. <https://doi.org/10.1109/ISKE.2010.5680812>
- Shao, X., Liu, J., Cao, H., Shen, C., & Wang, H. (2018). Robust dynamic surface trajectory tracking control for a quadrotor UAV via extended state observer. *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, 28(7), 2700–2719. <https://doi.org/10.1002/rnc.4044>
- Xu, R., Control, U. O.-I. C. on D. and, & 2006, undefined. (n.d.). Sliding mode control of a quadrotor helicopter. *Ieeexplore.Ieee.Org*. Retrieved October 27, 2020, from https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4177181/?casa_token=1V4tu_LTXrQAAAAA:IoPm4aZbbWy4QbC_5Y4uyMGIQI_LnMks1jDd65FezifDHMCYwaBliwZo-_PNIAybMwIcYH7X_A



e-issn: 1308-5514