

ÖZEL SAYI/SPECIAL ISSUE 30  
KASIM/NOVEMBER 2021

# EUROPEAN JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi



E-ISSN 2148-2683

<https://dergipark.org.tr/en/pub/ejosat>

**Prof. Dr. Osman SAĞDIÇ**  
Editor-in-Chief and Editor

**Prof. Dr. Hüseyin TOROS**  
Editor

**Prof. Dr. Ahmet DOĞAN**  
Editor

**Editorial Board Members**

Prof. Dr. Osman SAĞDIÇ  
Subjects: Food Sciences and Engineering  
Institution: Yildiz Technical University

Prof. Dr. Tuncay GÜMÜŞ  
Subjects: Food Sciences and Engineering  
Institution: Namık Kemal University

Prof. Dr. Hüseyin TOROS  
Subjects: Engineering  
Institution: Istanbul Technical University

Assoc. Prof. Dr. Juliana JALALUDIN  
Subjects: Air Pollution and Control, Environmental Sciences  
and Engineering  
Institution: Universiti Putra Malaysia, Faculty of Medicine  
and Health Sciences, Department of Environmental and  
Occupational Health

Prof. Dr. Ahmet DOĞAN  
Subjects: Environmental Sciences and  
Engineering, Geological Sciences and Engineering, Civil  
Engineering  
Institution: Yildiz Technical University

Asst. Prof. Dr. Abdulatef AHHMED  
Subjects: Meat Technology  
Institution: Aljfarah University

Prof. Dr. Osman TAYLAN  
Subjects: Energy Systems Engineering, Machine  
Learning, Quality Management, Artificial  
Intelligence, Multiple Criteria Decision Making, Fuzzy Logic  
Institution: Department of Industrial Engineering, Faculty of  
Engineering, King Abdulaziz University.

Prof. Dr. İskender AKKURT  
Subjects: Physics, Computer Sciences and Engineering  
Institution: Suleyman Demirel University

The European Journal of Science and Technology (EJOSAT) is a scientific and peer-reviewed journal published online four times in January, April, August, and November. The European Journal of Science and Technology is scanned in indexes such as TR Index, Scilit, Index Copernicus, CiteFactor, International Innovative Journal Impact Factor, Eurasian Scientific Journal Index, SJIFactor, DRJI, Scientific Indexing Services and Google Scholar.



Yüksek Güvenlikli Ağlar İçin DDS Kullanılarak Tek Yönlü Güvenli Veri Aktarımı

Alper KILIÇ

Sayfa: 1 - 5

Proteus ve MATLAB Simulink Yazılımı Kullanılarak Bağımsız Solar Fotovoltaik İnverterin Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi

Muhammad AWAİS, Muhammad ANEES, Umair YOUNAS, Ahmet Afşin KULAKSIZ

Sayfa: 6 - 11

Salp Sürü Algoritması ile Öznitelik Seçimi ve Sınıflandırıcı Performans Değerlendirmesi

Celal CAN, Yasin KAYA, Fatih KILIÇ

Sayfa: 12 - 16

Değişen Çevresel Koşullar İçin Üç MGNT Algoritmasının Deneysel Doğrulaması ve Karşılaştırmalı Analizi

Göksel GÖKKUŞ, Ahmet Afşin KULAKSIZ

Sayfa: 17 - 34

Normalizasyon Yöntemlerinin Biyomedikal Verilerde Sınıflandırma Performansına Etkisi

Hakan YÜCE, Ali Osman ÖZKAN

Sayfa: 35 - 43

FMCW Radar İle Endüstriyel Uygulamalarda Mesafe Ölçüm

Hasan GÜZ, Levent CİVCİK, Süleyman CANAN

Sayfa: 44 - 47

Evrşimsel Sinir Ağlarını Kullanarak Sefalometrik Noktaların Otomatik Tespiti

Mogham Njikam MOHAMED NOURDİNE, Betül UZBAŞ

Sayfa: 48 - 52

Balata ve Şim Bileşenlerinin Yarı Sıcak Preslenmesi ve Prosesler Sonrası Uygunluk Kontrolünün Sağlanması

Muhammed Abdullah ÖZEL, Cemil SUNGUR

Sayfa: 53 - 55

Çoklu Çözünürlük Analiz Yöntemleri Kullanılarak BT ve MR Karaciğer Görüntülerinin Füzyonu

Mücahit CİHAN, Murat CEYLAN

Sayfa: 56 - 61

Kolluk Kuvvetleri Tarafından Yapılan Araç Denetimlerindeki Verimliliğinin Artırılmasını Amaçlayan Plaka Tanıma Sistemi

Rumeysa ÇELİK, Kemal ERDOĞAN

Sayfa: 62 - 65

Elastomer Karakterli Kauçuk Burçlar İçin Otomatik Test Kontrol Ünitesi Geliştirilmesi ve SCADA ile İzlenmesi

Selim Sefa BAYSAL, Muhammed Abdullah ÖZEL, Mehmet Can KÜÇÜKBAŞAK, Furkan GÖĞER, Cemil SUNGUR

Sayfa: 66 - 68

Termal Görüntü İşleme İle Diz Osteoartritinin Tespit Edilmesi

Afrak QALI, Murat SELEK, Sameer Saeed ABBAS

Sayfa: 69 - 72

LQR ve PID Kontrol Modelleri Temelinde DC Motorun Hız Kontrolü

Furkan YEŞİL, Cemil SUNGUR, Süleyman CANAN

Sayfa: 73 - 78

Görüntü İşleme ve Robot Kol Tabanlı Çikolata Toplama ve Paketleme Sistemi

Muhammed Ali YILMAZ, Cemil SUNGUR

Sayfa: 79 - 82

Otonom Sistemlerde Veri Çoğaltma Yöntemleri Kullanılarak İyileştirilmiş Gerçek Zamanlı Nesne Tespiti

Fırat BOZKAYA, Abdullah YUSEFI, Şükrücan TIĞLIOĞLU, Ahmet Kağan KAYA, Okan KAZANCI, Mustafa Yasin AKMAZ, Akif DURDU, Cemil SUNGUR

Sayfa: 83 - 87



# Yüksek Güvenlikli Ağlar İçin DDS Kullanılarak Tek Yönlü Güvenli Veri Aktarımı

Alper Kılıç<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-1567-0213), [akilic@ktun.edu.tr](mailto:akilic@ktun.edu.tr)

(2nd International Conference on Computer, Electrical and Electronic Sciences ICCEES 2021, September 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.993933)

**ATIF/REFERENCE:** Kılıç, A. (2021). Yüksek Güvenlikli Ağlar İçin DDS Kullanılarak Tek Yönlü Güvenli Veri Aktarımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (30), 1-5.

## Öz

Bilgi güvenliğinin oldukça hassas olduğu kritik bilgiler içeren siber sistemlerin ve ağların yetkisiz erişim ve dış müdahalelerden korunması oldukça önemlidir. Ağ güvenliğinin sağlanması ve fiziksel olarak tek yönlü güvenli veri aktarımının yapılması için son yıllarda veri diyotları olarak isimlendirilen sistemler kullanılmaktadır. Tek yönlü veri aktarımı için veri merkezli bir ara katman mimarisi olan Data Distribution Service (DDS) gerek güvenli veri aktarımı özelliği gerekse barındırdığı yönlendirme, filtreleme ve izleme özellikleri ile oldukça uygun bir teknolojidir. Bu çalışmada DDS ara katman mimarisini kullanan tek yönlü güvenli veri aktarım sistemi önerilmiş ve performansı incelenmiştir. Buna göre kabul edilebilir performans kaybı olsa dahi kritik bilgiler içeren ağ sistemleri için DDS mimarisindeki tek yönlü iletim sisteminin uygun bir çözüm olabileceği, siber güvenlik sistemleri için birçok avantajı barındıran bir seçenek olacağı değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ağ Güvenliği, Tek Yönlü Aktarım, DDS, Endüstriyel Ağlar, Veri Diyotları.

## Unidirectional Secure Data Transfer Using DDS for High Security Networks

### Abstract

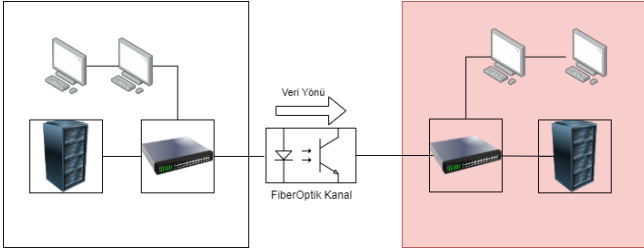
Protecting cyber systems and networks containing critical information, where information security is very sensitive, from unauthorized access and external interventions is very important. In recent years, systems called data diodes have been used to ensure network security and physically one-way secure data transfer. Data Distribution Service (DDS), which is a data-centric middleware architecture for one-way data transfer, is a very suitable technology with both its secure data transfer feature and its routing, filtering, and monitoring features. In this study, a one-way secure data transfer system using DDS middleware architecture is proposed and its performance is examined. Accordingly, it has been evaluated that one-way transmission system in DDS architecture can be a suitable solution for network systems containing critical information, even if there is acceptable performance loss, and it will be an option with many advantages for cyber security systems.

**Keywords:** Network Security, Unidirectional Data Transfer, DDS, Industrial Networks, Data Diodes.

\* Sorumlu Yazar: [akilic@ktun.edu.tr](mailto:akilic@ktun.edu.tr)

## 1. Giriş

Hassas bilgiler içeren siber sistemlerin ve ağların yetkisiz erişim ve dış müdahalelerden korunması kritiktir. Endüstriyel kontrol ve izleme, proses kontrol ağları, kurumsal ağlar ve diğer ağ bağlantılı sistemlerin güvenliğini siber saldırı ve bilgi sızıntılarına karşı korumak için güvenlik duvarları (Anaya et al., 2009) veya akıllı anahtarlar gibi hem yazılım hem de donanım çözümleri içeren sistemler kullanılabilir. Daha üst seviye koruma sağlamak ve gizlilik derecesine sahip bilgilerin fiziksel olarak da korunmasına yönelik olarak tek yönlü veri diyotları, fiziksel izoleli sözde/sanal hava boşluğu teknolojisi gibi farklı sistemler de kullanılmaktadır (Arkhangelskii et al., 2016; Rogowski, 2014; Van Besien et al., 2021). Tek yönlü aktarım için fiziksel bir engel oluşturan veri diyotları bilgi güvenliğini artırarak farklı güvenli seviyelerindeki ağlar arasında verinin tek yönde iletilmesini sağlayan araçlardır. Sadece gönderici → alıcı kanalı açık fiber optik bir aktarım ortamının kullanılması iki yönlü haberleşmeyi fiziksel olarak imkânsız hale getirmektedir (Şekil-1). Bununla birlikte TCP gibi donanım anlaşması (*handshaking*) kullanan ve ACK, NACK gibi sinyal cevaplarına ihtiyaç duyacak protokoller tek yönlü iletim sistemlerinde kullanılmayacaktır. Bu kapsamda literatürde donanımsal çözüm (Arkhangelskii et al., 2016), protokol dönüşümü (Reeves, 2015) ya da mesaj-dosya dönüşümü ve aktarımı yöntemi (Maatkamp et al., 2016) gibi farklı çözümlere rastlanmaktadır. Ticari ürünlerin de çoğu donanımsal çözümlere ek olarak kural tabanlı mesaj filtresi uygulaması ve protokol dönüşümünü entegre olarak kullanmaktadır (Menoher, 2013; Van Besien et al., 2021).

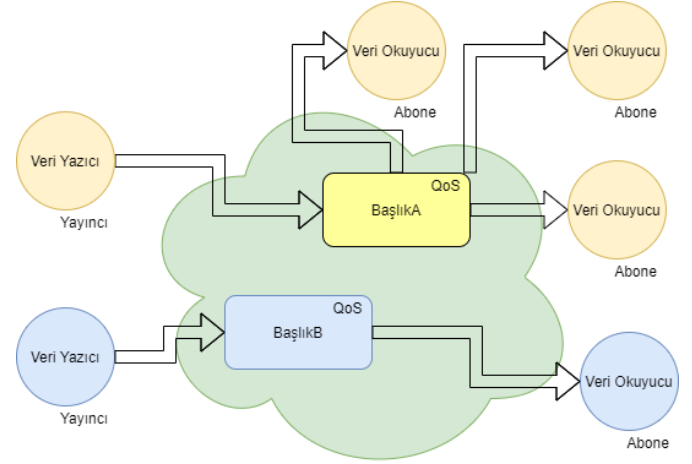


Şekil 1. Tek yönlü veri aktarım sistemi şeması

Ağ bileşenleri arasındaki veri alışverişi doğal olarak çift yönlü, asenkron ve yüksek performans gerektiren bağlantı modelini kullanmaktadır (Neelam & Shimray, 2021). Bununla birlikte siber saldırıların öncelikli amaçları sistemi işlevsiz hale getirmek, yetkisiz olarak veri toplamak ve tutarsız veri transferi ile bilgi güvenilirliğini azaltmak gibi (Yaşar & Çakır, 2015) hem saldırının hem de veri sızıntısının olduğu sistemler her defasında tehdit altında olacaktır. Bu kapsamda yönetim ve konfigürasyon kolaylığı gibi operasyonel faydalarından ötürü güvenlik duvarlarının yeteneklerinin artırılması için çalışmalara rastlanabilmektedir (Anaya et al., 2009; Mukkamala & Rajendran, 2020). Bununla birlikte fiziksel olarak veri sızıntısının engellenmesine yönelik çalışmalar tamamen verinin tek yönlü aktarılması, güvenliğin artırılması ve yüksek performansın sağlanmasına odaklanmıştır (Stevens, 1999).

Ağ bileşenlerinin güvenlik gereksinimlerini karşılamak üzere birçok hassas bilgiler içeren sistemlerin yetkisiz erişim ve dış müdahalelerden korunması, veri sızıntısının önlenmesi ve sistemin çalışır halde tutulması önemlidir. Bununla birlikte aktarılan verinin bütünlüğü, güvenilirliği ve aktarım başarısı da

göz ardı edilmemelidir. Bu kapsamda son yıllarda veri merkezli aktarım ara katman mimarileri kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle kritik sistemlerin veri paylaşımı için Data Distribution Service (DDS) (David et al., 2013; Pardo-Castellote, 2003) Object Management Group (OMG) tarafından önerilerek yayıncı-abone (*publish-subscribe*) metodolojisini merkeze alan ve birçok farklı servis kalitesi (QoS) sunan bir standart ara katman mimarisi sunmuştur. DDS ile uygulamalar veri transferi için gereken alt seviye kütüphaneler ile etkileşimden ziyade veri odaklı olarak belirli başlıklar (*topics*) kapsamında veri gönderimi yapabilir, ya da abone oldukları başlık altında yayınlanmış verilere taahhüt edilen servis kalitesi ile ulaşabilirler (Pardo-Castellote, 2003). Bu mimaride uygulamalar ağda serbest konumda bulunabilmekte, protokol, ağ adresi, port numarası, aktarım kimlik doğrulaması ya da yetkilendirilmesi gibi ağ konfigürasyonu ile ilgili konulardan soyutlanabilmektedir. Şekil-2'de ortak ağda bulunan bileşenler yerine veri merkezli olarak yayıncı rolündeki veri yazıcıları (*data writers*), abone rolündeki veri okuyucuları (*data readers*) ile başlık (*topic*) ve servis kaliteleri (*QoS*) şeması verilmiştir. Böylece ağ bileşenleri arasındaki iletişim çok daha net ölçeklenebilmekte, izlenebilmekte ve yönetilebilmektedir.



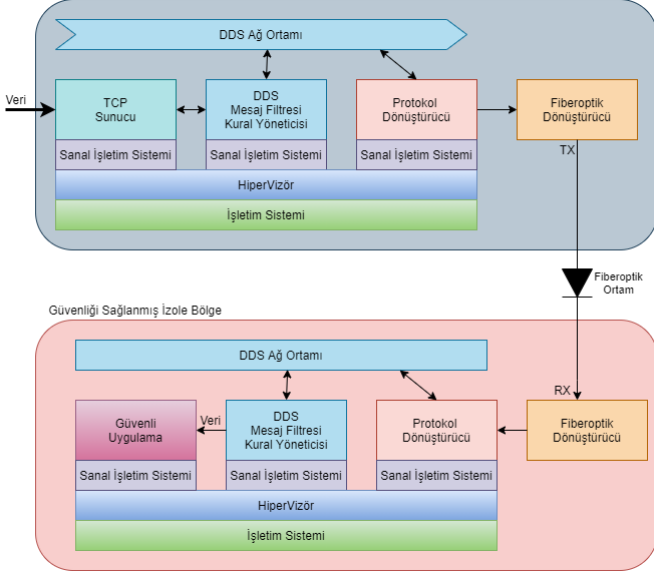
Şekil 2. DDS veri aktarım yaklaşımı şeması

DDS ara katman standardını gerçekleştiren yazılımlar (Baunthiyal, 2021; Kwon et al., 2017) yönlendirme, konfigürasyon, yönetim, izleme, kaydetme ve yeniden oluşturma benzeri birçok ek özellik de geliştirmişlerdir. Özellikle veri filtreleme, yönlendirme ve log özelliklerinin performansları oldukça dikkat çekicidir (Baunthiyal, 2021). Verinin semantik yapısına ve verinin kendisine odaklanan DDS tabanlı iletişim yazılımlarında standart iletişim katmanlarından öte filtre ve kurallar uygulanabilmektedir. Böylece TCP, UDP ya da RTPS (*Realtime Publish Subscribe*) gibi transport standartlarını kullanan fakat bağımlı olmayan veri merkezli bir yapı ortaya konabilmektedir. Verinin semantik olarak farklı başlıklar halinde gruplandırıldığı ve iletiildiği sistemlerde standart güvenliğin yanı sıra DDS ara katmanının güvenliğinin eklenmesi, güvenlik duvarı benzeri kural filtrelerinin eklenmesi ve bu ek özelliklerin performans etkisinin (Kang et al., 2020) en az olması oldukça önemli bir özelliktir.

Bu çalışmada “veri diyotu” olarak sınıflandırılabilen DDS ara katman mimarisini kullanan tek yönlü güvenli veri aktarım sistemi önerilmiş ve performansı incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada tek yönlü güvenli veri aktarım sistemi için birbirlerinden fiziksel olarak izole edilmiş iki sistem bulunmaktadır (Şekil 3). Farklı sistemler kendi içlerinde sanallaştırılmış işletim sistemleri ile kısmen soyutlanarak ölçeklenebilirliği artırılarak yönetim ve izleme kabiliyeti geliştirilmiştir. Aynı sistemdeki farklı sanal makineler üzerinde farklı görevler üstlenen yazılımlar geliştirilmiştir.



Şekil 3. Tek yönlü veri aktarım sistemi

Şekil-3'te güvenli olmayan ön sistem (üstte) ve güvenliği sağlanmış izole sistem (altta) fiber optik ortam ile bağlanmıştır. Burada gönderici ve güvenli olmayan alanda sadece TX, alıcı ve güvenli tarafta da sadece RX kanalları arasındaki kablo bağlı olduğu için fiziksel olarak ters yönde akışın fiber optik kanaldan akışı mümkün olmayacaktır. Literatürde mikrofon ve hoparlör kullanılarak verinin akustik kanallardan aktarımının yapılabildiği, ya da elektromanyetik sızmaların da güvenlik tehdidi oluşturduğuna yönelik çalışmalar bulunsa da bu çalışmada kolaylıkla önlem alınabilecek bu tehditler sistemin genel yapısı açısından dikkate alınmamıştır. Ethernet fiber optik dönüştürücü için medya dönüştürücüler kullanılmıştır. DDS ara katman olarak eProsima fastDDS yazılım kütüphanesi kullanılmıştır. Performans ölçümü için kullanılan sistem ve yazılımlar Tablo-1'de verilmiştir.

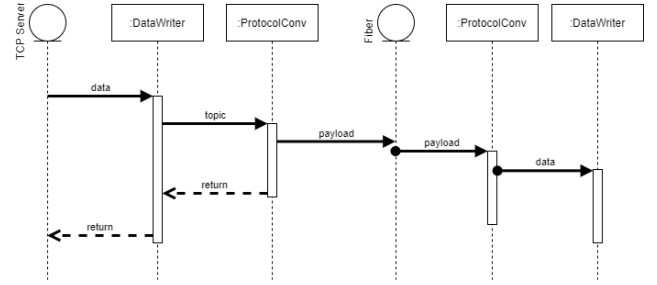
Tablo 1. Sistem Konfigürasyonu

Sistem	Özellik
İşlemci	Intel I7-6500 CPU, 2.5GHz
RAM	16GB
Ağ	1000Mbps
Medya Dönüştürücü	TPLink MC210CS Gigabit, Single Mode
İşletim Sistemi	Ubuntu 18.04
Sanallaştırma	Virtual Box

Önerilen sistemde güvenli olmayan alan olarak belirlenmiş ön sistemdeki sunucu yazılımına gelen istekler sınıflandırılarak ayrıştırılır ve DDS veri yazıcısı ile sınıflandırılmış başlık altında yayınlanır. Farklı sanal makine üzerinde çalışan DDS yöneticisi

aynı zamanda başlık yönlendiricisi ve veri filtresi olarak çalışmaktadır. Uygun başlıktaki veriler DDS ağ ortamı ile protokol dönüştürücü sanal makinesi üzerinde çalışan veri okuyucu tarafından uygun QoS ve kurallar çerçevesinde alınarak UDPv4 ya da ham Ethernet protokolüne dönüştürülür. Bu noktada her iki sistem arasında bulunan fiber kanalın kayıpsız olduğu varsayılmıştır. Yapılan çalışmalarda bit hata oranı  $10^6$  değerinden az olmasına rağmen hata düzeltme bitleri eklenmiş ve veri bütünlüğünün tamamlanması sağlanmıştır. Ayrıca ACK ve NACK sinyalleri göz ardı edilerek var olan protokollerin hata durumuna geçmesi engellenmiştir. Aşağıda TCP sunucusundan alınan veriye ait DDS IDL (Interface Description Language) yapısı ve veri geçiş diyagramı (Şekil 4) gösterilmiştir.

```
struct ServerIDL
{
    @Key long id;
    @Key string protocol;
    string sourceApplication;
    string info;
    Sequence<octet> payload;
    long payloadLength;
    unsigned short targetPort;
};
```



Şekil 4. Veri geçiş diyagramı

Performans ölçümü için düşük güvenli ağdan yüksek güvenli ağa dosya transfer uygulaması gerçekleştirilmiştir. Buna göre TCP sunucu için FTP (File Transfer Protokol) kullanılmıştır. FTP uygulamasında yüklenmek istenen dosya diske yazılmadan hafızada bölümler halinde tutulmuş, her bölüm FTP DDS başlığı altında protokol dönüştürücü yazılıma aktarılmıştır. Aynı şekilde dosya verileri octet dizisi (sequence) içerisinde kontrol edilerek aktarılacak ham Ethernet verisi şeklinde tek yönlü fiber optik kanala aktarılmıştır. Güvenliği sağlanmış izole fiber optik alıcı tarafta da dosya verisi içeren DDS paketleri toplanarak farklı sanal makinedeki uygulama yazılımına aktarılmış ve diske yazma işlemi tamamlanmıştır. Bu aşamada güvenli olmayan ağ tarafında hafıza bölgesine yazılan dosya bilgisi ile gönderici tarafın dosya transferinin tamamlandığı bilgisi aktarılmış fakat izole sisteme erişimi ve veri sızıntısı engellenmiştir.

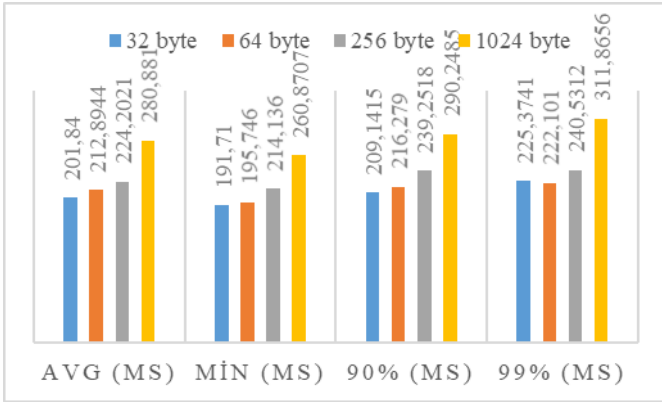
## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada DDS ara katman mimarisini kullanan tek yönlü güvenli veri aktarım sistemi önerilmiştir. Öncelikle güvenli olmayan alandan alınan veri semantik olarak ayrıştırılıp fiber optik kanal vasıtası ile güvenli tarafa aktarılmış ve aynı şekilde uygulama yazılımına iletilmiştir. Güvenli alanda olmayan sunucu tarafına veri ulaştıktan sonra güvenli alandaki uygulamaya kadar geçen süre ölçülmüş ve performansı

incelenmiştir (Tablo-2 ve Şekil-5). Örnek uygulamada FTP protokolü referans alınarak veriler 32-1024 byte arasında farklı segmentler şeklinde DDS başlıkları ile iletilmiştir. 10MB boyutundaki 250 adet dosya iletilmiş ve gecikme süreleri not edilmiştir. Gecikme miktarları veri boyutu artmasına rağmen oransal artmaması ile önerilen sistemin kabul edilebilir performansa sahip olduğu değerlendirilmiştir. Tablo-2’de gecikme miktarları sırasıyla ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum olmak üzere bulunmaktadır. Bununla birlikte elde edilen ölçümlerin %90 ve %99 histogram değerleri tabloya eklenmiştir. Böylece maksimum gecikme miktarının %1 içerisinde olduğu anlaşılmıştır.

Tablo 2. Veri Gecikme Miktarı Tablosu

Veri (byte)	Ort (µs)	Std (µs)	Min (µs)	Maks (µs)	%90 (µs)	%99 (µs)
32	201,84	6,70	191,71	1327,29	209,14	225,37
64	212,89	8,07	195,74	2192,74	216,27	222,10
256	224,20	8,02	214,13	1895,81	239,25	240,53
1024	280,88	11,68	260,87	1820,56	290,25	311,87



Şekil 5. Sistem Performans Grafiği

## 4. Sonuç

Bilgi güvenliğinin hassas olduğu kritik sistemlerin ve ağların yetkisiz erişim ve dış müdahalelerden korunması oldukça önemlidir. Ağ güvenliğinin sağlanması ve fiziksel olarak tek yönlü güvenli veri aktarımının yapılması için son yıllarda veri diyotları olarak isimlendirilen sistemler kullanılmaktadır. Tek yönlü veri aktarımı için veri merkezli bir ara katman mimarisi olan Data Distribution Service (DDS) gerek güvenli veri aktarımı özelliği gerekse barındırdığı yönlendirme, filtreleme ve izleme özellikleri ile oldukça uygun bir teknolojidir. Bu çalışmada DDS ara katman mimarisini kullanan tek yönlü güvenli veri aktarım sistemi önerilmiş ve performansı incelenmiştir. Buna göre kabul edilebilir performans kaybı olsa dahi kritik bilgiler içeren ağ sistemleri için DDS mimarisindeki tek yönlü iletim sisteminin uygun bir çözüm olabileceği, siber güvenlik sistemleri için birçok avantajı barındıran bir seçenek olacağı değerlendirilmiştir.

DDS ara katman mimarisi yüksek performansa sahip, yönetilebilir ve ölçeklenebilir yapısıyla veri merkezli iletim uygulamaları için dikkate değer bir alternatiftir. Bu çalışmada belirtilen ve önerilen sistem farklı uygulamalar için uyarlanabilir. Gelecek çalışmalar için nesnelerin interneti kapsamında sürekli olarak belirli durumlarda veri iletecek ve

güvenliği artırılması gereken kritik sistemlerde (örn. nükleer santrallerin sensör verilerinin uzaktan izlenmesi) veri akışı güvenli taraftan güvenli olmayan tarafa şeklinde düzenlenerek kritik tesise herhangi bir veri sızıntısı engellenebilecektir.

## Kaynakça

- Anaya, E. A., Nakano-Miyatake, M., & Meana, H. M. P. (2009). A History and Survey of Network Firewalls. *Midwest Symposium on Circuits and Systems*.
- Arkhangelskii, V., Epishkina, A., Kalmykov, V., & Kogos, K. (2016). Secure one-way data transfer. *Proceedings of the 2016 IEEE North West Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, EICoNusNW 2016*, 392–395. <https://doi.org/10.1109/EICoNusNW.2016.7448203>
- Baunthiyal, A. (2021). Criteria Set for Evaluation of different DDS Distributions. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 9(1), 119–128. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2021.29243>
- David, L., Vasconcelos, R., Alves, L., André, R., & Endler, M. (2013). A DDS-based middleware for scalable tracking, communication and collaboration of mobile nodes. *Journal of Internet Services and Applications*. <https://doi.org/10.1186/1869-0238-4-16>
- Kang, Z., Canady, R., Dubey, A., Gokhale, A., Shekhar, S., & Sedlacek, M. (2020). A study of publish/subscribe middleware under different iot traffic conditions. *M4IoT 2020 - Proceedings of the 2020 International Workshop on Middleware and Applications for the Internet of Things, Part of Middleware 2020 Conference*. <https://doi.org/10.1145/3429881.3430109>
- Kwon, G., Park, J., Lee, G., Tak, T., Lee, W., & Hong, J. (2017). *Development of Real-Time Data Publish and Subscribe System Based on Fast RTPS for Image Data Transmission; Development of Real-Time Data Publish and Subscribe System Based on Fast RTPS for Image Data Transmission*. <https://doi.org/10.18429/JACoW-ICALEPCS2017-TUPHA040>
- Maatkamp, M., van Delden, M., & LeKhac, N. A. (2016). *Unidirectional Secure Information Transfer via RabbitMQ. December*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1412.0720>
- Menoher, J. (2013). All Data Diodes Are Not Equal. *Owl Computing*.
- Mukkamala, P. P., & Rajendran, S. (2020). A Survey on the Different Firewall Technologies. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*. <https://doi.org/10.33564/ijeast.2020.v05i01.059>
- Neelam, B. S., & Shimray, B. A. (2021). Observation of enhanced network performance in iot process control and data sensing with RINA. *Journal of Communications Software and Systems*. <https://doi.org/10.24138/jcomss-2021-0027>
- Pardo-Castellote, G. (2003). OMG Data-Distribution Service: Architectural overview. *Proceedings - 23rd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, ICDCSW 2003*. <https://doi.org/10.1109/ICDCSW.2003.1203555>
- Reeves, S. (2015). Tactical Data Diodes in Industrial Automation and Control Systems. *Whitepaper, SANS Institute*.
- Rogowski, D. (2014). Software Support for Common Criteria Security Development Process on the Example of a Data Diode. *Proceedings of the Ninth International Conference*

*DepCoS-RELCOMEX, Advances in Intelligent Systems and Computing*, 286, 363–372. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-07013-1>

Stevens, M. W. (1999). *An Implementation of an Optical Data Diode*. 1–30.

Van Besien, W. L., Ferris, B., & Dudish, J. (2021). *Reliable, Efficient Large-File Delivery over Lossy, Unidirectional Links*. <https://doi.org/10.1109/aero50100.2021.9438494>

Yaşar, H., & Çakır, H. (2015). Kurumsal Siber Güvenliğe Yönelik Tehditler ve Önlemleri. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*.





# Comparative Assesment of Standalone Solar Photovoltaic Inverter using Proteus and MATLAB Simulink Software

Muhammad Awais<sup>1</sup>, Muhammad Anees<sup>2</sup>, Umair Younas<sup>3</sup>, Ahmet Afsin Kulaksiz<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>COMSATS University Islamabad, Dept of Electrical & Electronics Engineering, Abbottabad, Pakistan, (ORCID: 0000-0002-0361-8354), [awais.twin@gmail.com](mailto:awais.twin@gmail.com)

<sup>2</sup>COMSATS University Islamabad, Dept of Electrical & Electronics Engineering, Abbottabad, Pakistan, (ORCID: 0000-0003-2875-4923), [anees.twin@gmail.com](mailto:anees.twin@gmail.com)

<sup>3</sup> Konya Technical University, Department of Electrical & Electronics Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000- 0003-2712-3601), [umair.ciiatd@gmail.com](mailto:umair.ciiatd@gmail.com)

<sup>4\*</sup> Konya Technical University, Department of Electrical & Electronics Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3216-8185), [aakulaksiz@ktun.edu.tr](mailto:aakulaksiz@ktun.edu.tr)

(2nd International Conference on Computer, Electrical and Electronic Sciences ICCEES 2021, September 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1005660)

**ATIF/REFERENCE:** Awais, M., Anees, M., Younas, U. & Kulaksiz, A. A. (2021). Comparative Assesment of Standalone Solar Photovoltaic Inverter using Proteus and MATLAB Simulink Software. *European Journal of Science and Technology*, (30), 6-11.

## Abstract

Majority of the rising global energy demand is currently dependent on the conventional energy sources like coal, natural gas and fossil fuels etc. However, the conventional energy sources are depleting with time and the price of these sources is also increasing. Therefore, the deployment of renewable energy including solar PV, wind farms, biodiesel and biogas etc. are the need of the modern electric utility. Among renewables, the solar energy is the most abundant, geographically rich, clean, and noiseless energy source. Despite the various advantages of the solar energy, the lower efficiency of the solar panel and electronic conversion losses limits its applications. Therefore, this paper proposed the sinusoidal pulse width modulation based full bridge DC-AC inverter with higher efficiency is designed for the solar PV system. In order to enhance the accuracy, the simulation is performed in Proteus and Simulink MATLAB software. The accuracy and efficiency of the inverter is compared through the simulation results.

**Keywords:** Solar Photovoltaic, DC-AC Inverter, Pulse Width Modulation, RLC circuit, Transformer.

## Proteus ve MATLAB Simulink Yazılımı Kullanılarak Bağımsız Solar Fotovoltaik İnverterin Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi

### Öz

Artan küresel enerji talebinin büyük bir kısmı şu anda kömür, doğal gaz ve fosil yakıtlar gibi konvansiyonel enerji kaynaklarına bağımlıdır. Ancak konvansiyonel enerji kaynakları zamanla tükenmekte ve bu kaynakların fiyatları da artmaktadır. Bu nedenle, güneş PV, rüzgar çiftlikleri, biyodizel ve biyogaz vb. dahil olmak üzere yenilenebilir enerjinin yaygınlaştırılması, modern elektrik şirketlerinin ihtiyacıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi en bol bulunan, coğrafi olarak en zengin, temiz ve gürültüsüz enerji kaynağıdır. Güneş enerjisinin çeşitli avantajlarına rağmen, güneş panelinin nispeten düşük verimliliği ve elektronik dönüşüm kayıpları, uygulamalarını sınırlandırmaktadır. Bu nedenle, bu makalede güneş PV sistemi için daha yüksek verimliliğe sahip sinüzoidal darbe genişlik modülasyonu tabanlı tam köprü DC-AC evirici tasarlanmıştır. Doğruluğu artırmak için simülasyon Proteus ve Simulink MATLAB yazılımlarında gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçları ile inverterin doğruluğu ve verimliliği karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Solar Fotovoltaik, DC-AC İnverter, Darbe Genişlik Modülasyonu, RLC devresi, Transformatör.

\* Corresponding Author: [aakulaksiz@ktun.edu.tr](mailto:aakulaksiz@ktun.edu.tr)

## 1. Introduction

The The global energy demand is increasing rapidly due to urbanization and industrialization. The commonly used conventional energy sources (CES) are; fossil fuels, coal, nuclear energy and natural gas etc. The rising price of the fossil fuels, increasing environmental emissions, depleting nature of CES pose various challenges to the energy market. Considering the aforesaid demerits of the CES, the clean and economic Renewable Energy Sources (RES) like; solar photovoltaic (PV), wind energy, biogas, and geothermal etc are the intense need of the global energy society (Kumar, Singh, and others 2018). Among renewables, the solar energy is the most economical, viable, noiseless and geographically active energy source (Mertens n.d.). Solar PV can be used everywhere irrespective of the geographical location at mountains, oceans, forest, and cities etc. Despite various benefits of the solar PV energy, the lower efficiency of the solar panel, conversion losses and the DC output of the panel limits its applications. Therefore, efficient inverters with lower switching losses and effective total harmonic distortions are required to get the desired 220 V AC voltage for residential applications.

In literature, various research methodologies have been adopted to increase the efficiency of the solar panel. The authors in (Li and Chou 2004) adopted the load matching strategy to improve the efficiency and power utilization of the solar cell. To receive more irradiation from the sun, various trackers are reviewed by the authors in (Mousazadeh et al. 2009). Likewise, the combination of sun tracker strategy and maximum power point (MPP) extraction methodology is used in (Taherbaneh et al. 2010) and (System 2016). The authors in (Alhafadhi and Teh 2020) reviewed various modulation techniques to reduce the harmonic elimination in solar PV systems (Younas 2019). Likewise, half bridge inverter based control is designed for solar PV system by the authors in (Sastry et al. 2014). In this paper, sinusoidal pulse width modulation (SPWM) based full bridge inverter is designed for the standalone PV system. The proposed model is simulated in Proteus and MATLAB software. The 12 V DC voltage from the solar panel is provided to the proposed inverter and the 220 V AC output is collected at the output of the inverter. The main components used in both softwares are; DC source (solar PV output), full bridge inverter, RLC resonant circuit (square wave to sine wave converter) and step up transformer (boost up the inverted AC voltage). The MATLAB software generates variable pulses based on SPWM while, proteus use fixed modulation based on time delay circuit to turn ON and OFF the corresponding switches. The rest of the paper is structured as follows:

The section II explained the design of the solar PV cell. Section III describes sinusoidal PWM for the proposed solar system. Section IV is based on the working of the full bridge inverter. Section V is comprised of the simulation results accomplished in Proteus and MATLAB software for standalone PV system. Section VI concludes the paper in the light of future work by showing the simulation outcomes that is followed by the references.

## 2. Material and Method

### 2.1. Solar Photovoltaic Design

The solar PV cell is manufactured using the semiconductor material like cadmium and gallium etc. The solar cell converts

the sunlight into electricity using photoelectric effect. In photoelectric effect, the sunlight emits the electrons from the semiconductor the flow of electrons is dependent on the strength of the sunlight. Hence, the output of the solar cell is dependent on the nonlinear behaviour of the environmental conditions like; temperature and solar irradiance. To get the desired higher output voltage and current, the parallel and series combination of PV cells is used to form a single array (Younas, Akdemir, and Kulaksiz n.d.). The total solar output current is the addition of the individual currents of the cells.

The PV equivalent model is presented in Fig 1 (Younas et al. n.d.). The key parameters mentioned in the equivalent circuit as listed by the authors in (Younas 2019) are;  $I$  is the output terminal current that is equal to the  $I_L$  the sunlight dependent current,  $I_d$  is diode current and  $I_{sh}$  shunt leakage current. The series resistance is represented  $R_s$  that signify the internal resistance of the PV circuit for the flow of the current.

The output current  $I$  is determined by applying KCL on the solar cell equivalent circuit as presented in Eq. (1). Where  $I_{ph}$  is written in Eq. (2),

$$I = I_{ph} - (I_d + I_{sh}) \quad (1)$$

$$I_{ph} = (I_{scr} + ki\Delta T) \frac{G}{Gr} \quad (2)$$

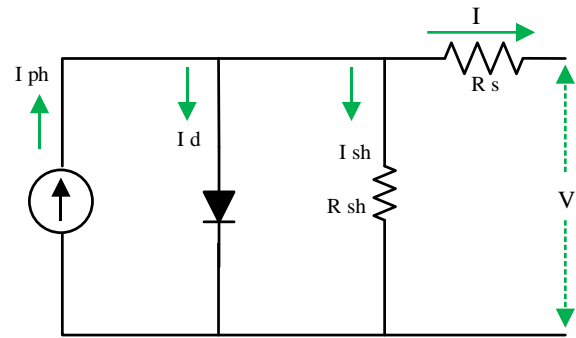


Figure 1: The equivalent circuit of the solar cell

The details of the used variables is as follows:

- $I_{scr}$  is rated solar current at normal conditions (  $25^{\circ}C$  )
- $Ki$  is temperature coefficient when circuit is in short circuit
- $G$  is the solar cell irradiance in  $W/m^2$
- $\Delta T$  is (  $T - T_{ref}$  ) difference of temperature in operating and normal conditions

$$I = I_{ph} - I_o \quad (3)$$

The output current  $I_o$  is modelled in Eq. (3).

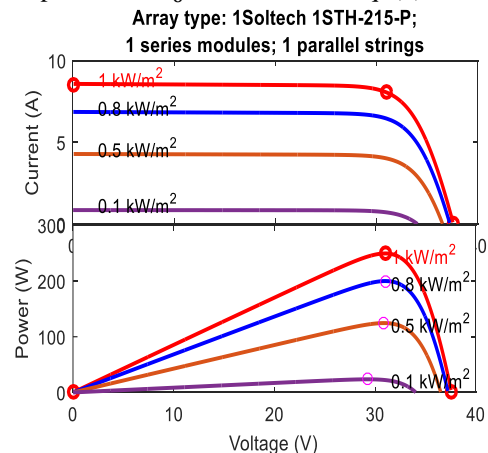


Figure 2: The PV and IV characteristics of the PV array

Based on the non-linear characteristics of the temperature and solar irradiance, there exists the maximum power point (MPP) to every irradiance and temperature level. The Solar PV can deliver the maximum electrical power at its standard test conditions. The point  $P_m$  represents the maximum value at I-V curve,  $I_m$  shows the maximum current at which MPP exists, while,  $V_m$  is the voltage at which MPP occurs. The IV and PV characteristics of the proposed solar array are shown in Fig 2.

### 2.2. Sinusoidal Pulse Width Modulation

In DC-AC inverters, the control of the MOSFET/IGBT switches is based on the modulation scheme. In square wave modulation, the fixed step size produces large number of harmonics in the output waveform. To overcome the problems associated with square wave modulation, the sinusoidal PWM is the effective alternative to reduce the harmonic eliminations. In SPWM, there are two signals; one is the reference signal which has the fundamental frequency (50 or 60 Hz), the other one is the carrier signal that has higher frequency. When the amplitude of the reference signal is greater than the carrier signal, the output will be a positive pulse. Conversely, the larger amplitude of the carrier signal gives rise to the zero pulse. The SPWM for the proposed research is presented in Fig 3.

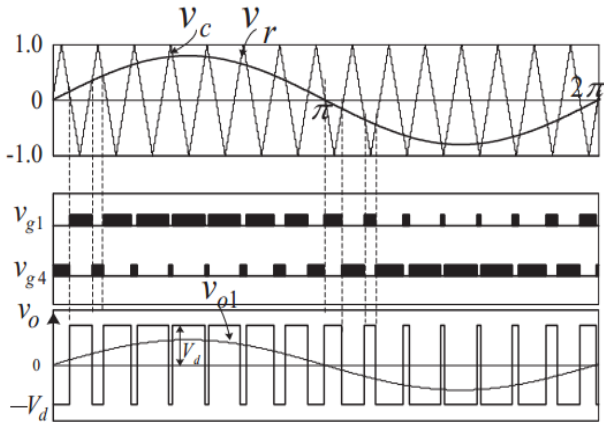


Figure 3: The Sinusoidal PWM Modulation Technique

Unlike square wave modulation, the width of all the pulses is not the same but it varies proportionally to the amplitude of a sine wave.

The sum of ON-time and OFF-time of the pulses describes the total period T as listed in Eq. (4) and the frequency is modelled in Eq. (5). The duty cycle (D) is the ratio of ON-time to the total time period T as written in Eq. (6) which is further used as the gate controller of the inverter switch. Hence, the output voltage across the inverter is acquired by changing the D of the gate signal.

$$\text{Time Period, } T = T_{ON} + T_{OFF} \quad (4)$$

$$\text{Frequency, } f = 1 / \text{time period} \quad (5)$$

$$\text{Duty cycle, } D = \frac{T_{ON}}{T_{ON} + T_{OFF}} \quad (6)$$

The frequency modulation is the ratio of the reference signal and carrier signal is known as modulation index. The magnitude and the frequency of the output voltage is controlled with the

help of modulation index. In amplitude modulation, the amplitude of a carrier signal is directly depending upon the amplitude of the reference signal. The output signal frequency and amplitude depend on the frequency and amplitude of the reference signal.

### 2.3. Full Bridge Inverter Design

The DC-AC converter is used to change direct current into AC. In the proposed PV system, the output of the solar is DC voltage. Hence, inverter is required to invert the DC voltage of the panel and make it useful for the residential ac load. Based on the nature of the input, the inverter is categorised into current source inverter (CSI) and voltage source inverter (VSI) (Converters n.d.). The CSI uses current as an input while VSI uses voltage at the input side of the inverter.

This paper is based on the single phase full bridge voltage source inverter that makes the solar power capable to operate the AC devices at homes. The schematic diagram of the proposed single phase full bridge inverter is demonstrated in Fig 4. The main difference between half bridge inverter and full bridge inverter is based on the maximum value of the output voltage. Besides, the half bridge inverter is simple, easy to implement and offers economical design by using fewer number of electronic switches. However, the magnitude of the output voltage is half as compared to input voltage that reduces the efficiency of the half bridge inverter. While, the full bridge inverter uses four switches but produces higher output peak voltage that is the same as the DC input supply voltage.

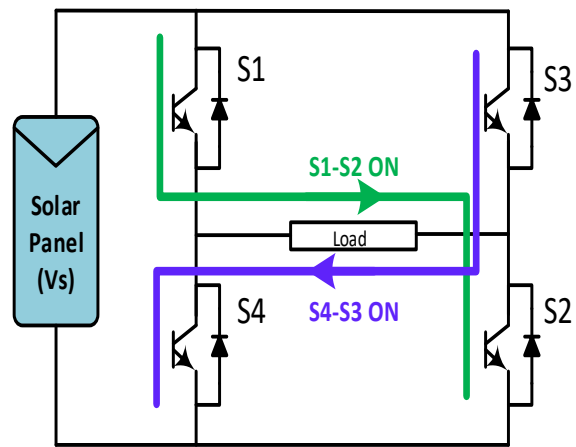


Figure 4: Full bridge inverter design for solar PV system

This paper focuses on the full bridge inverter because the average output is comparatively higher than the half bridge inverter. This higher voltage of full bridge inverter offers high efficiency as well (Younas 2019). The commonly used high frequency switches in inverters are; IGBTs, MOSFET, GTO etc. These are high frequency switching devices used in the power electronic domain because higher frequencies produce lower harmonic contents in the electronic circuits.

It is obvious from Fig 1 that the working of the proposed full bridge inverter is based on the four MOSFET switches which are;  $S_1, S_2, S_3, S_4$ .  $S_1, S_4$  and  $S_2, S_3$  are the complementary switches (Zhong and Hornik 2012). When  $S_1$  and  $S_2$  conducts, the current will flow through the switch  $S_1$ , load (left to right) and  $S_2$ . The conduction of  $S_3$  and  $S_4$  follow the current path through  $S_3$ , load (right to left) and  $S_4$ . It is noticed that the direction of current is reversed which justify the provision of the alternating current voltage at the load. The working principle

and the output voltage with sequence of the switches are listed in Table 1.

Table 1: The switching sequence of the full bridge inverter

ON Switches	OFF Switches	Output Voltage
S1 S2	S3 S4	$V_s$
S3 S4	S1 S2	$-V_s$
S1-ON S2 - ON	S4 will OFF S3 will OFF	Complementary Switches
S1 -S3	S2-S4	

In addition to four switches, the four freewheeling diodes D1, D2, D3 and D4 are also used that protect the device from the flow of leakage current during transition period of the switches.

### 3. Results and Discussion

In MATLAB, The 1soltech 1STH-215-P solar panel (see Table 2) is used to design the proposed standalone PV system. Initially, the DC voltage of the solar panel is converted to square wave AC voltage. Then, the R-LC circuit is used to transform the square wave AC to sinusoidal AC voltage. In order to get the desired 220 V sinusoidal AC voltage, the step up transformer (1:1800) is used to transform 12 V AC to 220 V AC (rms). The main components used for the simulation are; solar panel voltage, full bridge inverter, transformer, fixed pulses using delay circuit (Proteus), and SPWM (MATLAB). This section further proceed with the simulations of proteus and MATLAB respectively.

#### 3.1. Proteus based Simulation

In proteus, DC voltage source is considered as the solar DC output voltage as shown in Fig. 5. Four high frequency MOSFETS are used to generate the sequence of fixed pulses with different time delays for the switches. The T1-T4 and T2-T3 are complementary switches. The upper two switches T1-T3 and lower two switches T2-T4 cannot turn on at the same time otherwise there may be a short circuit to damage the device. The fix control pulses for the MOSFET switches are accomplished using time delay circuitry in order to avoid the complexity of the circuit. The square wave pulses are generated using the switches. The LC circuit is incorporated to make a sinusoidal waveform which is ideal for AC devices. The desired 220 V (rms) AC output voltage is accomplished with the help of the step up transformer. To generate sinewave at the output, LC network is desired which resonants at 7.2 KHz. Using Eq. (7) and Eq. (8), the value of the inductor is designed as 470  $\mu$ H and capacitor value is 1  $\mu$ F of the LC resonant frequency.

$$\text{Frequency} = 1/2\pi\sqrt{LC} \tag{7}$$

$$\text{Frequency} = 1/2\pi\sqrt{(470\mu\text{H} * 1\mu\text{F})} = 7.34\text{kHz} \tag{8}$$

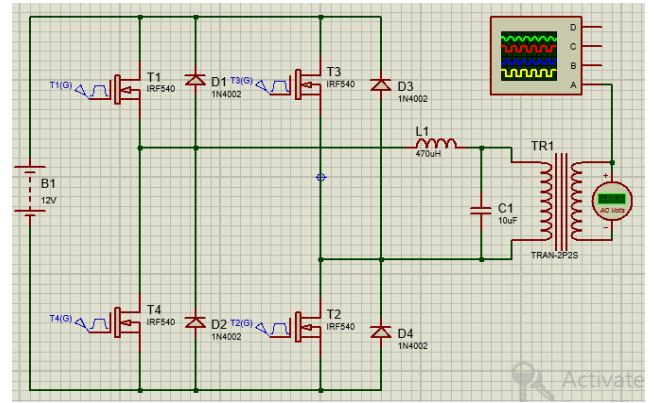


Figure 5: Proteus based simulation of the solar inverter

The sinusoidal output waveform of the full bridge inverter simulated in Proteus software is presented in Fig 6. For the 12 V DC supply which is converted to 12 V AC square wave is further converted to 310 V peak AC using step up transformer. In channel A the volt per division is selected on 20 value and the number of boxes in the sinusoidal waveform are approximately 15.5. The total voltage at the output is modelled as;

$$20 \text{ v/div} * 15.5 \text{ boxes} = 310 \text{ peak volt} \tag{9}$$

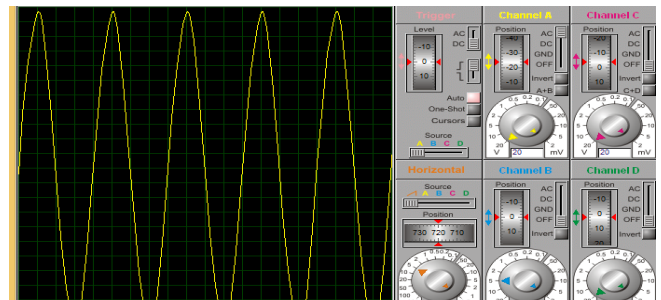


Figure 6: The sinusoidal output of the inverter in Proteus software

#### 3.2. MATLAB Simulink based Simulation

In The complete simulation model of the proposed research paper which is comprised of; the solar panel, full bridge inverter and the step-up transformer is shown in Fig 7. The same valued electronic components are used in the Simulink model as were used in Proteus. The four switches combination is used that is followed by the LC circuit and the transformer. In this paper, boost converter is not involved hence, the transformer is serving as the step up converter and isolator between the source and the load as well.

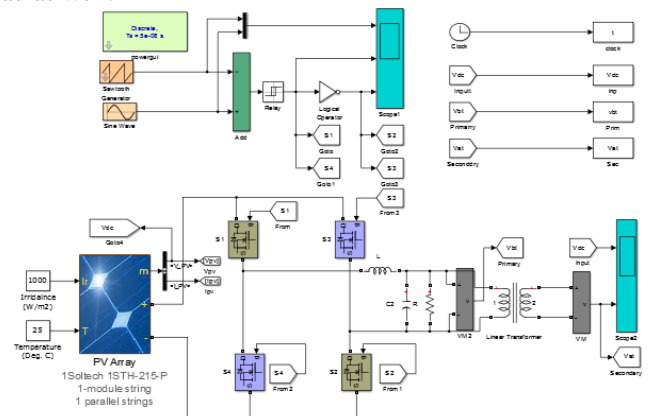


Figure 7: The simulation setup of the proposed model in MATLAB

The Isoltech 1STH-215-P solar panel with 250 watt rated power having OCV 37.6 V is given to inverter. The specifications of the proposed solar panel used in MATLAB are listed in the Table 1.

Table 2: The specifications of the solar panel used in MATLAB

Solar Panel Model	Isoltech 1STH-215-P
Mamimum Power	250 watt
Light generated current	8.57 A
Cells Per Module	60
Open Circuit Voltage	37.6 V
Short Circuit Current	8.55 A

The inverter consists of the 4 MOSFET switches having switching frequency of 20 KHz. The SPWM is used as gate control signal for the MOSFET switches. The SPWM having the sinusoidal message signal of fundamental frequency is modulated with the triangular carrier signal having 20 KHz frequency. The SPWM and the control signals generated for the full bridge inverter is demonstrated in Fig 8.

The switch S1 and S2 will turn ON at the same time. While, S3 and S4 will turn ON at the same time. In SPWM, the output will be high or 1 when the reference signal is greater than carrier signal otherwise output will be zero or low. The gate control pulses of the S1S2 and S3S4 are depicted in Fig 8.

The switch S1-S4 and S3-S2 are complementary in nature. The upper two switches S1-S3 and lower two switches S2-S4 cannot be turned ON at the same time.

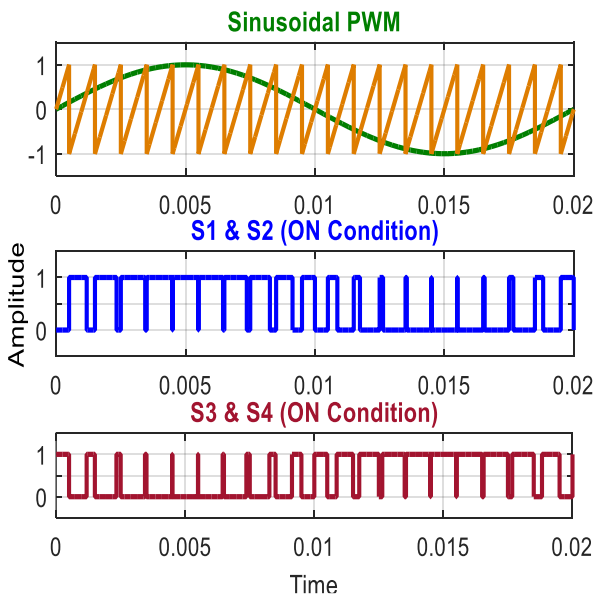


Figure 8: SPWM generated control pulses for inverter switches

The combination of S1 and S2 makes the current flow through the load in the direction from left to right as shown in Fig 3. Conversely, the S3 and S4 switch combination give rise to the current which flows through the load from right to left.

Initially, the four switch combination of inverter generates 12 V AC output voltage. Later, the step up transformer with a suitable turn ratio is used to get the desired 220 V AC at the load as shown in Fig 10.

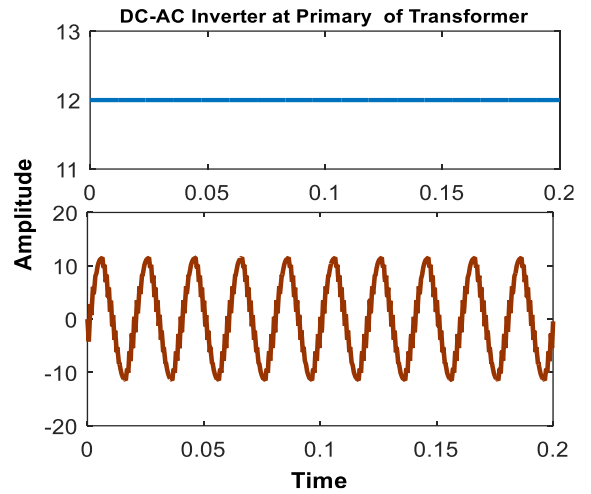


Figure 9: 12V DC-12V AC inversion at primary of the transformer

It is observed that the flow of current changes its direction means it is the ‘alternating current’.

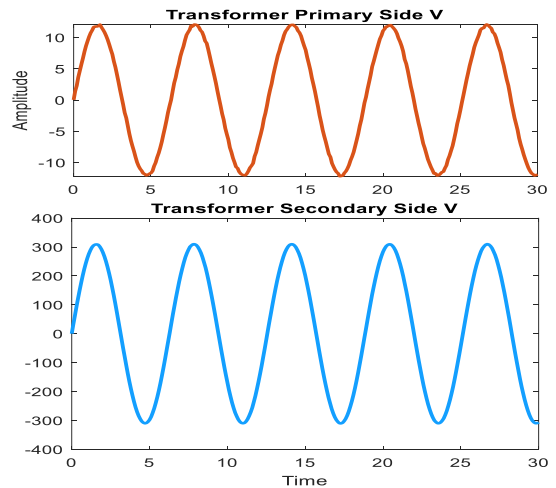


Figure 10: 12V AC to 220V (rms) AC inversion at secondary of the transformer DC-AC inverters, the control of the MOSFET/IGBT

## 5. Conclusion and Recommendations

Considering the demerits of conventional energy and merits of the renewable energy, this paper encourages the deployment of renewable solar PV energy. The 215-watt solar PV array is considered, the full bridge inverter is used to accomplish the AC voltage from the panel that can be further used to power the AC devices. The simulation setup is performed in Proteus and MATLAB software with the difference of fixed pulses control signal (proteus) and variable control pulses based on SPWM (MATLAB). It is observed that the MATLAB offers better results in terms of efficiency, and it has a vast library which offers various facilities to link the simulations with the practical world.

In the future, it is planned to add the boost converter, harmonic analysis of the output, MPPT controller for the converter switches, and DC-AC full bridge inverter to make the supply useable for the AC load.

## 5. Acknowledge

The undergraduate student authors from the COMSATS University Pakistan are thankful to the authors from Konya Technical University Turkey for their mentorship and technical support regarding this research article.

## References

- Alhafadhi, Liqaa, and Jiashen Teh. 2020. "Advances in Reduction of Total Harmonic Distortion in Solar Photovoltaic Systems: A Literature Review." *International Journal of Energy Research* 44(4):2455–70.
- Converters, A. C. n.d. "Lesson Introduction to Voltage Source Inverters." 1–14.
- Kumar, Raj, S. K. Singh, and others. 2018. "Solar Photovoltaic Modeling and Simulation: As a Renewable Energy Solution." *Energy Reports* 4:701–12.
- Li, Dexin, and Pai H. Chou. 2004. "Maximizing Efficiency of Solar-Powered Systems by Load Matching." Pp. 162–67 in *Proceedings of the 2004 International Symposium on Low Power Electronics and Design (IEEE Cat. No. 04TH8758)*.
- Mousazadeh, Hossein, Alireza Keyhani, Arzhang Javadi, Hossein Mobli, Karen Abrinia, and Ahmad Sharifi. 2009. "A Review of Principle and Sun-Tracking Methods for Maximizing Solar Systems Output." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13(8):1800–1818.
- Sastry, Jyoti, Panagiotis Bakas, Hongrae Kim, Lei Wang, and Antonios Marinopoulos. 2014. "Evaluation of Cascaded H-Bridge Inverter for Utility-Scale Photovoltaic Systems." *Renewable Energy* 69:208–18.
- System, Power. 2016. "An Intelligent MPPT Design of DC-DC Converter for PV in a PV / SC Hybrid 290 . An Intelligent MPPT Design of DC-DC Converter for PV in a PV / SC Hybrid Power System." (November).
- Taherbaneh, Mohsen, A. H. Rezaie, H. Ghafoorifard, K. Rahimi, and M. B. Menhaj. 2010. "Maximizing Output Power of a Solar Panel via Combination of Sun Tracking and Maximum Power Point Tracking by Fuzzy Controllers." *International Journal of Photoenergy* 2010.
- Younas, Umair. 2019. "Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi The Implementation of Effective Modulation Schemes to Improve the Power and Harmonic." 8:125–35. doi: 10.17100/nevbiltek.559465.
- Younas, Umair, Bayram Akdemir, and Ahmet Afsin Kulaksiz. n.d. "Modeling and Simulation of a Grid-Connected PV System under Varying Environmental Conditions." *International Journal of Energy Applications and Technologies* 6(1):17–23.
- Zhong, Qing-Chang, and Tomas Hornik. 2012. *Control of Power Inverters in Renewable Energy and Smart Grid Integration*. Vol. 97. John Wiley & Sons.



# Salp Sürü Algoritması ile Öznitelik Seçimi ve Sınıflandırıcı Performans Değerlendirmesi

Celal Can<sup>1\*</sup>, Yasin Kaya<sup>2</sup>, Fatih Kılıç<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7631-8934), [ccan@atu.edu.tr](mailto:ccan@atu.edu.tr)

<sup>2</sup> Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9074-0189), [ykaya@atu.edu.tr](mailto:ykaya@atu.edu.tr)

<sup>3</sup> Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8550-1562), [fkilic@atu.edu.tr](mailto:fkilic@atu.edu.tr)

(2nd International Conference on Computer, Electrical and Electronic Sciences ICCEES 2021, September 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1005417)

**ATIF/REFERENCE:** Can, C., Kaya, Y., & Kılıç, F. (2021). Salp Sürü Algoritması ile Öznitelik Seçimi ve Sınıflandırıcı Performans Değerlendirmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (30), 12-16.

## Öz

Son yıllarda doğadan esinlenen sürü tabanlı algoritmalar arasında yer alan Salp Sürü Algoritması oldukça popüler olmuştur. Bu çalışmada, Salp Sürü Algoritması kullanılarak farklı veri setleri üzerinde öznitelik seçimi yapılmış, farklı sınıflandırıcılar ile bazı performans metrikleri karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçların hesaplanması için UCI Makine Öğrenmesi Deposunda yer alan BreastCancer, Colon ve Ionosphere veri setleri kullanılmıştır. Sınıflandırıcı olarak k En Yakın Komşu Algoritması, Destek Vektör Makineleri ve Rastgele Orman Algoritması kullanılmıştır. Sayısal sonuçlar incelendiğinde, çalışma zamanı bakımından kNN algoritması ile yapılan testler genellikle en hızlı algoritma olmuştur. Seçilen öznitelik sayısı bakımından ise SVM ve RF algoritmaları daha iyi sonuç vermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Öznitelik seçimi, Salp sürü algoritması, Doğadan esinlenen algoritmalar, Sınıflandırıcı algoritmaları.

## Feature Selection Using Salp Swarm Algorithm and Classifier Performance Evaluation

### Abstract

Salp Swarm Algorithm, a nature-inspired swarm-based algorithm, has become very popular in recent years. This study uses Salp Swarm Algorithm for feature selection and tries different classifiers as fitness functions on various datasets. BreastCancer, Colon, and Ionosphere databases in the UCI Machine Learning Repository are used as test datasets. k Nearest Neighbor Algorithm (kNN), Support Vector Machines (SVM), and Random Forest Algorithm (RF) are used as classifiers. When the experimental results are examined, the kNN algorithm is generally the fastest in terms of runtime. However, considering the number of selected features, SVM and RF algorithms achieve better results.

**Keywords:** Feature selection, Salp swarm algorithm, Nature-inspired algorithms, Classification algorithms

\* Sorumlu Yazar: [ccan@atu.edu.tr](mailto:ccan@atu.edu.tr)

## 1. Giriş

Veri madenciliği çalışmalarında karşılaşılan sorunlardan biri de veri setlerinde boyut sayısının çok fazla olmasıdır. Öznitelik seçimi, öğrenme algoritmasının performansını artırmak için bir veri kümesinden sınıflandırmada etkisi olmayan ve farklı özelliklerin kaldırılması işlemidir. Problemlerin çözümünde öznitelik seçimi için bazı metasezgisel algoritmaların ikili versiyonları geliştirilmiştir. Literatürde hayvanların doğada besin bulma mekanizmalarını temel alan sürü tabanlı birçok algoritma bulunmaktadır. Arı Kolonisi Algoritması (Karaboga ve Akay, 2007), Parçacık Sürü Algoritması (Eberhart ve Kennedy, y.y.; Kılıç, Kaya ve Yildirim, 2021), Balina optimizasyon algoritması (Mirjalili ve Lewis, 2016), Gri Kurt Optimizasyonu (Aswani, Ghreya ve Chandra, 2016; Kumar, Chhabra ve Kumar, 2017; Mirjalili, Mirjalili ve Lewis, 2014), Karınca Kolonisi Algoritması (Dorigo, Birattari ve Stutzle, 2006), Ateşböceği algoritması (X. S. Yang, 2010), Yarasa Algoritması (X.-S. Yang, 2010) ve Salp Sürü Algoritması (SSA) (Mirjalili ve diğerleri, 2017) doğadan esinlenen algoritmalar bazılarında. Salp Sürü Algoritması basit, verimli ve esnek, uygulanması kolaydır ve diğer algoritmalarından daha az sayıda parametreye sahiptir. Literatüre bakıldığında Salp sürü algoritması ile yapılan çalışmalar ile karşılaşmak mümkündür.

Örneğin, Sayed ve ark. çalışmalarında kaotik haritalar kullanarak SSA algoritmasında C2 parametresini değiştirmişlerdir. C2 parametresi için 10 kaotik harita türünü karşılaştırmışlar ve lojistik kaotik haritanın en iyisi olduğu sonucuna varmışlardır. Bu iyileştirme ile yakınsama hızını ve yerel optimum problemini çözmek için kullanmışlardır (Sayed, Khoriba ve Haggag, 2018). İbrahim ve ark. biyomedikal veri kümelerinde öznitelik seçimi için herhangi bir iyileştirme yapılmadan SSA uygulamışlardır. SSA'nın hem gerçek hem de sentetik veri kümeleri için seçilen diğer algoritmalarla kıyasla daha az çalışma süresi ile en yüksek doğruluğu elde ettiğini göstermişlerdir (İbrahim, H. T., Mazher, W. J., Ucan, O. N., and Bayat, 2017). Hegazy ve ark. yakınsama hızını iyileştirmek ve SSA sömürüsü ile keşif arasında bir denge kurmak için SSA pozisyon güncelleme denklemlerine yeni bir ağırlık parametresi eklemişlerdir (Hegazy, Makhlof ve El-Tawel, 2020). Faris ve ark., SSA'nın ana döngü yinelemesi sırasında lider ve takipçi sayısı için zamanla değişen bir teknik önermişlerdir. Bu iyileştirme, yerel optimum ve erken yakınsama içeren SSA sorunlarını çözmek için dahil edilmiştir (Faris ve diğerleri, 2020).

Bu çalışmanın organizasyonu şu şekilde yapılmıştır: Bölüm 2, Salp Sürü Algoritmasının ayrıntılarını içeren Materyal ve Yöntemi sunmaktadır. Bölüm 3, yapılan deneysel sonuçların ayrıntılarını ve bu deneylerden elde edilen sonuçları sunmaktadır. Bölüm 4 ise çalışmanın ana sonuçların özetini sunmaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu bölümde çalışmada kullanılan Salp sürü algoritmasının ne olduğu, matematiksel modeli ve sözde kodu ile uygunluk fonksiyonu hakkında bilgilere yer verilmiştir.

Deneyler, Windows 10, Intel i7-4700HQ CPU 2.40 GHz, 12 GB belleğe sahip bir bilgisayarda MATLAB R2019b'de yürütülmüştür.

### 2.1. Salp Sürü Algoritması

Salp sürüsü algoritması, Mirjalili ve ark. tarafından geliştirilmiş rastgele popülasyon tabanlı algoritmalarından bir tanesidir [11]. Salp'ler Salpidae ailesine ait bir deniz canlısıdır ve vücutları jöle kıvamında olan balıklar gibidir. Bununla birlikte hareketleri jöle balığına çok benzer. Genellikle Salp'ler okyanusun derinliklerinde salp zinciri oluşturarak bir sürü şeklinde davranış gösterirler. Salp sürü algoritmasında iki tür salp vardır. Birincisi lider olarak tanımlanan salp, ikincisi lideri takip eden Salp'lerdir. Salp'lerin salp zinciri adı verilen belirli davranışları vardır. Bu davranış, yiyecek arama için kullanılır. Lider Salp'in pozisyon değiştirme denklemi şu şekildedir [11]:

$$x_j^i = \begin{cases} F_j + c1((ubj - lbj)c2 + lbj) c3 > 0.5 \\ F_j - c1((ubj - lbj)c2 + lbj) c3 < 0.5 \end{cases} \quad (1)$$

Burada;

$x_j^i$ : j'inci boyuttaki lider salp'in pozisyonunu,

$F_j$ : j'inci boyuttaki yiyecek kaynağının pozisyonunu,

$c1, c2, c3$ : [0,1] aralığında eşit olarak üretilen rastgele değişkenleri,

$ubj, lbj$ : Sırasıyla j'inci boyuttaki üst ve alt sınırı ifade etmektedirler.

Bu denklemde c1 parametresi şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$c1 = 2e^{-\frac{4l}{L}} \quad (2)$$

Burada l şimdiki iterasyonu ve L ise maksimum iterasyon sayısını belirtmektedir.

Lider salp'i takip eden salp'lerin pozisyonunu güncellemek için ise şu denklem kullanılmaktadır:

$$x_j^i = \frac{1}{2}at^2 + v_0t \quad (3)$$

Burada  $v_0$  başlangıç hızını, t zamanı ifade etmektedir. Bu denklemde  $i \geq 2$  olmalıdır.  $a = \frac{v_{final}}{v_0}$  ve  $v = \frac{x-x_0}{t}$  ile hesaplanır.  $v_0 = 0$  alınır ve denklem şu şekilde kullanılır.

$$x_j^i = \frac{1}{2}(x_j^i + x_j^{i-1}) \quad (4)$$

---

Algoritma 1: SSA Algoritmasının sözde kodu

---

Rastgele x (i = 1, 2, ..., n) salp popülasyonunu oluştur

**for** 1:L **do**

Popülasyondaki her bir salp'i değerlendir

En iyi Salp'i F olarak belirle

c1 değerini güncelle Eşt. (2)

**for** (her salp (xi) için) **do**

**if** xi lider ise (i=1) **then**

Liderin pozisyonunu güncelle Eşt. (1)

**else**

Takipçilerin pozisyonunu güncelle Eşt. (4)

**return** F

---

Yiyecek kaynağı ister hareketli ister sabit olsun, lider salp yiyecek etrafında konumlanır ve diğer takipçi Salp'ler lider salp arkasında zincir olacak şekilde sıralanır. Salp Sürü algoritmasına ait sözde kod Algoritma 1'de verilmiştir.



## 2.2. Uygunluk Fonksiyonu

Sınıflandırma tahmininde, genellikle uygunluk değeri olarak sınıflandırma hatası kabul edilmektedir. Sadece sınıflandırma hatasının kullanılması öznitelik seçimi için yeterli olmayabilir. Sınıflandırma hatasına ek olarak, uygunluk fonksiyonunda seçilen öznitelik sayısı da kullanılır. Böylece sınıflandırma hatasına sahip iki çözümden daha az özniteliği olan çözüm seçilmiş olur. Yapılan bu çalışmada, aşağıdaki denklem uygunluk fonksiyonu olarak kullanılmıştır.

$$Fitness = \rho Err(D) + \varphi \frac{|n|}{|N|} \quad (5)$$

Burada,  $Err(D)$  sınıflandırma hata oranını,  $\rho$  ve  $\varphi$  sabit değerler,  $n$  tanımlanan öznitelik alt kümesinin boyutunu,  $N$  ise toplam öznitelik sayısını vermektedir. Bu çalışmada,  $\rho = 0.99$  ve  $\varphi = 0.01$  alınmıştır.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu bölümde çalışmada kullanılan veri setleri ile performans metrikleri hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca elde edilen nümerik sonuçlar tablolar halinde sunulmuştur.

### 3.1. Veri Seti

Bu çalışmada, University of California Irvine üniversitesinin makine öğrenmesi çalışmalarında kullanıma sunduğu, web üzerindeki en bilindik ve en çok kullanılan veri depolarından biri olan UCI (UCI Machine Learning Repository) veri deposu kullanılmıştır. Veri setleri seçilirken farklı boyutlarda ve farklı öznitelige sahip veri setleri seçilmesine dikkat edilmiştir. UCI veri setlerinden 3 tanesi kullanılmıştır. "Breastcancer" veri setinde 9 öznitelik ve 699 örnek bulunmaktadır. "Ionosphere" veri setinde 34 öznitelik ve 351 örnek bulunmaktadır. "Colon" veri seti ise 2000 öznitelik ve 62 örneğe sahiptir.

Uygunluk fonksiyonunun hesaplanması için üç sınıflandırıcı kullanılmıştır. kNN sınıflandırıcısı için  $k=5$  olarak ayarlanmıştır ve 10-kat çapraz doğrulama tekniği eğitim ve test veri seti üretmek için veri setlerine uygulanmıştır. SVM sınıflandırıcı çekirdek fonksiyonu olarak RBF kullanılmıştır. Rastgele orman sınıflandırıcısı için ağaç sayısı 100 alınmıştır.

### 3.2. Performans Metrikleri

Farklı sınıflandırıcılar ile SSA algoritması aşağıdaki metrikler kullanılarak karşılaştırılmıştır;

- Sınıflandırma doğruluğu: test veri setinde seçilen öznitelikler kullanılarak 10 çalışmadan ortalama doğruluk hesaplanarak elde edilir.
- F ölçüsü: Bir testin doğruluğunun ölçüsüdür.
- AUC: işlem karakteristik eğrisinin (ROC) altında kalan alanı gösterir.
- Uygunluk değerleri: belirtildiği gibi her bir yaklaşımdan elde edilirler. Ortalama ve minimum uygunluk değerleri karşılaştırılır.
- Ortalama seçim boyutu: seçilen özniteliklerin ortalama sayısıdır.
- Ortalama yürütme süresi: Saniye cinsinden çalıştırma süresidir.

### 3.3. Sayısal Sonuçlar

Tüm sınıflandırıcılar tarafından 10 çalıştırma ve 100 iterasyon sonunda elde edilen BreastCancer veri setine ait performans sonuçları Tablo 1'de, Colon veri setine ait performans sonuçları Tablo 2'de, Ionosphere veri setine ait performans sonuçları Tablo 3'de verilmiştir. Elde edilen en iyi değerler tablolarda eğik ve altı çizili olarak vurgulanmıştır.

Tablo 1. BreastCancer veri seti performans sonuçları

Sınıflandırıcı	En iyi Uygunluk	Ortalama Uygunluk	Ortalama Doğruluk	F-Ölçütü	AUC	Çalıştırma Zamanı	Seçilen öznitelik sayısı
KNN	0.6287	0.7171	0.7815	0.6983	0.8382	<u>112.6270</u>	9.1
SVM	<u>0.6065</u>	<u>0.6660</u>	0.7301	0.5773	0.7623	453.3615	<u>8.6</u>
RF	0.7448	0.7803	<u>0.8461</u>	<u>0.7812</u>	<u>0.9178</u>	6953.7065	11.5

Tablo 2. Colon veri seti performans sonuçları

Sınıflandırıcı	En iyi Uygunluk	Ortalama Uygunluk	Ortalama Doğruluk	F-Ölçüsü	AUC	Çalıştırma Zamanı	Seçilen öznitelik sayısı
KNN	0.6032	0.6195	0.7364	0.6634	0.8080	<u>109.9235</u>	1012
SVM	0.6903	0.7010	<u>0.8223</u>	<u>0.7721</u>	<u>0.8641</u>	181.9140	<u>984.5</u>
RF	<u>0.4814</u>	<u>0.5423</u>	0.6401	0.6262	0.7044	6357.3490	1012.25

Tablo 3. Ionosphere veri seti performans sonuçları

Sınıflandırıcı	En iyi Uygunluk	Ortalama Uygunluk	Ortalama Doğruluk	F-Ölçüsü	AUC	Çalıştırma Zamanı	Seçilen öznetelik sayısı
KNN	0.7230	0.7468	0.8087	0.8683	0.9000	<u>107.1298</u>	12.6
SVM	<u>0.6270</u>	<u>0.7037</u>	0.7662	0.8360	0.7251	321.4078	12.4
RF	0.7960	0.8063	<u>0.8794</u>	<u>0.9084</u>	<u>0.9492</u>	6657.4206	<u>10.75</u>

Tablo 1 incelendiğinde, en iyi ve ortalama uygunluk değerini sırasıyla 0.6065 ve 0.6600 değerleri ile SVM sınıflandırıcısı ile elde edilmiştir. Ortalama doğruluk, F ölçütü ve AUC metriklerinde sırasıyla 0.8461, 0.7812 ve 0.9178 değerleri ile Rastgele orman sınıflandırıcı ile elde edilmiştir. Çalıştırma zamanı bakımından en hızlı sınıflandırıcı 112.627 saniye ile kNN sınıflandırıcı olmuştur. Seçilen öznetelik sayısına bakıldığında ise 8.6 ile SVM sınıflandırıcı ile elde edildiği görülmektedir.

Colon veri setine ait performans sonuçlarına bakıldığında (Tablo 2) en iyi ve ortalama uygunluk değerini sırasıyla 0.4814 ve 0.5423 değerleri ile RF sınıflandırıcısı ile elde edilmiştir. Ortalama doğruluk, F ölçütü ve AUC metriklerinde sırasıyla 0.8223, 0.7721 ve 0.8641 değerleri ile SVM sınıflandırıcı ile elde edilmiştir. Çalıştırma zamanı bakımından en hızlı sınıflandırıcı 109.9235 saniye ile kNN sınıflandırıcı olmuştur. Seçilen öznetelik sayısına bakıldığında ise 984.5 ile SVM sınıflandırıcı ile elde edildiği görülmektedir.

Tablo 3'te ise Ionosphere veri setine ait performans sonuçları verilmektedir. Burada da en iyi ve ortalama uygunluk değerini sırasıyla 0.627 ve 0.7037 değerleri ile SVM sınıflandırıcısı ile elde edilmiştir. Ortalama doğruluk, F ölçütü ve AUC metriklerinde bakıldığında ise sırasıyla 0.8794, 0.9084 ve 0.9492 değerleri ile RF sınıflandırıcı ile elde edilmiştir. Diğer veri setlerinde olduğu gibi çalıştırma zamanı bakımından en hızlı sınıflandırıcı 107.1298 saniye ile kNN sınıflandırıcı olmuştur. Seçilen öznetelik sayısına bakıldığında ise 10.75 ile RF sınıflandırıcı ile elde edildiği görülmektedir.

#### 4. Sonuç

Salp sürü algoritması basit ve uygulanması kolay bir algoritma olmasından dolayı geniş bir uygulama alanına sahiptir. Literatürde yapılan çalışmalarda genel olarak testler tek bir sınıflandırıcı ile yapılmıştır. Burada ise farklı veri setleri üzerinde farklı sınıflandırma algoritmaları kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmalı olarak irdelenmiştir. Çalışmada üç tane UCI veri seti kullanılmıştır. Sınıflandırıcı olarak ise kNN algoritması, SVM ve RF algoritması kullanılmıştır. Farklı sınıflandırıcı ve farklı veri setleri üzerinden Salp Sürü Algoritması performansları gerçekleştirilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Elde edilen bulgular değerlendirildiğinde her üç veri seti performans metriklerinde farklı sonuçlar ile karşılaşmıştır. Çalıştırma zamanı bakımından kNN algoritması ile yapılan testler genellikle en hızlı algoritma olmuştur. Seçilen öznetelik sayısı bakımından ise SVM ve RF algoritmaları daha iyi sonuç vermiştir. Diğer metrikler bakımından değerlendirme yapıldığında ise veri setinin büyüklüğü, öznetelik sayısı, örnek sayısı gibi parametrelere göre farklı sınıflandırıcılar daha başarılı olmuştur.

Bu çalışma farklı veri setleri üzerinde yapılan öznetelik seçimi çalışmaları için kullanılan sınıflandırıcı seçiminde fikir edinme anlamında örnek bir çalışmadır. Bu çalışma ile başka veri setleri üzerinde de sınıflandırıcılar uygulanabilir ve öznetelik seçimi için en uygun sınıflandırıcılar seçilebilir.

#### Kaynakça

- Aswani, R., Ghrera, S. P. ve Chandra, S. (2016). A Novel Approach to Outlier Detection using Modified Grey Wolf Optimization and k-Nearest Neighbors Algorithm. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(44). doi:10.17485/ijst/2016/v9i44/105161
- Dorigo, M., Birattari, M. ve Stutzle, T. (2006). Ant colony optimization. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 1(4), 28–39. doi:10.1109/MCI.2006.329691
- Eberhart, R. ve Kennedy, J. (y.y.). A new optimizer using particle swarm theory. *MHS'95. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science* içinde (ss. 39–43). IEEE. doi:10.1109/MHS.1995.494215
- Faris, H., Heidari, A. A., Al-Zoubi, A. M., Mafarja, M., Aljarah, I., Eshtay, M. ve Mirjalili, S. (2020). Time-varying hierarchical chains of salps with random weight networks for feature selection. *Expert Systems with Applications*, 140, 112898. doi:10.1016/j.eswa.2019.112898
- Hegazy, A. E., Makhoulouf, M. A. ve El-Tawel, G. S. (2020). Improved salp swarm algorithm for feature selection. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 32(3), 335–344. doi:10.1016/j.jksuci.2018.06.003
- Ibrahim, H. T., Mazher, W. J., Ucan, O. N., and Bayat, O. (2017). Feature Selection using Salp Swarm Algorithm for Real Biomedical Datasets. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 17(12), 13–20.
- Karaboga, D. ve Akay, B. (2007). Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm on Training Artificial Neural Networks. *2007 IEEE 15th Signal Processing and Communications Applications* içinde (ss. 1–4). IEEE. doi:10.1109/SIU.2007.4298679
- Kılıç, F., Kaya, Y. ve Yildirim, S. (2021). A novel multi population based particle swarm optimization for feature selection. *Knowledge-Based Systems*, 219, 106894. doi:10.1016/j.knosys.2021.106894
- Kumar, V., Chhabra, J. K. ve Kumar, D. (2017). Grey Wolf Algorithm-Based Clustering Technique. *Journal of Intelligent Systems*, 26(1), 153–168. doi:10.1515/jisys-2014-0137
- Mirjalili, S., Gandomi, A. H., Mirjalili, S. Z., Saremi, S., Faris, H. ve Mirjalili, S. M. (2017). Salp Swarm Algorithm: A bio-inspired optimizer for engineering design problems. *Advances in Engineering Software*, 114, 163–191. doi:10.1016/j.advengsoft.2017.07.002

- Mirjalili, S. ve Lewis, A. (2016). The Whale Optimization Algorithm. *Advances in Engineering Software*, 95, 51–67. doi:10.1016/j.advengsoft.2016.01.008
- Mirjalili, S., Mirjalili, S. M. ve Lewis, A. (2014). Grey Wolf Optimizer. *Advances in Engineering Software*, 69, 46–61. doi:10.1016/j.advengsoft.2013.12.007
- Sayed, G. I., Khoriba, G. ve Haggag, M. H. (2018). A novel chaotic salp swarm algorithm for global optimization and feature selection. *Applied Intelligence*, 48(10), 3462–3481. doi:10.1007/s10489-018-1158-6
- Yang, X.-S. (2010). A New Metaheuristic Bat-Inspired Algorithm (ss. 65–74). doi:10.1007/978-3-642-12538-6\_6
- Yang, X. S. (2010). Firefly algorithm, stochastic test functions and design optimisation. *International Journal of Bio-Inspired Computation*, 2(2), 78. doi:10.1504/IJBIC.2010.032124



# Değişen Çevresel Koşullar İçin Üç MGNT Algoritmasının Deneysel Doğrulaması ve Karşılaştırmalı Analizi

Göksel Gökkuş<sup>1\*</sup>, Ahmet Afşin Kulaksız<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Nevşehir HBV Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Nevşehir, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4266-5556), [gokselgokkus@nevsehir.edu.tr](mailto:gokselgokkus@nevsehir.edu.tr)

<sup>2</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3216-8185), [aakulaksiz@ktun.edu.tr](mailto:aakulaksiz@ktun.edu.tr)

(2nd International Conference on Computer, Electrical and Electronic Sciences ICCEES 2021, September 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1005041)

**ATIF/REFERENCE:** Gökkuş, G. & Kulaksız, A. A. (2021). Değişen Çevresel Koşullar İçin Üç MGNT Algoritmasının Deneysel Doğrulaması ve Karşılaştırmalı Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (30), 17-34.

## Öz

Bu çalışma ile güneş dizi simülatörü (Solar Array Simulator, SAS) aracılığıyla oluşturulan üç farklı ortamda; değiştir ve gözle (Perturb and Observe, P&O), artımlı iletkenlik (Incremental Conductance, IC) ve bulanık mantık denetleyicisi (Fuzzy Logic Controller, FLC) tekniklerini temel alan maksimum güç noktası takibi (Maksimum Power Point Tracking, MPPT) algoritmalarının uygulamalı olarak performans analizleri yapılmıştır. Bu amaca yönelik olarak BK Precision firmasının güneş dizi simülatörü üzerinden sıcaklık (T) ve güneş ışınımının (G) zamana göre değişim gösterdiği 3 farklı ortam senaryosu oluşturulmuştur. Belirtilen MGNT algoritmaları bu ortamlarda ayrı ayrı çalıştırılarak performans analizleri yapılmıştır. Çalışma kapsamında yük olarak 500 W'lık omik yük (serpantinli rezistans) kullanılmış ve güneş dizi simülatöründen yüke olan güç aktarımı DA-DA (Doğru Akım, DA) yükselten (Boost, step-up) dönüştürücü üzerinden yapılmıştır. Dönüştürücünün kontrolü ve bahsedilen algoritmaların işletilmesi SMT firmasının geliştirme kartı olan Nucleo 32F103RB üzerinden yapılmış ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** MGNT algoritması, FV Panel, DA-DA Dönüştürücü.

## Experimental Verification And Comparative Analysis Of Three MPPT Algorithms For Varying Environmental Conditions

### Abstract

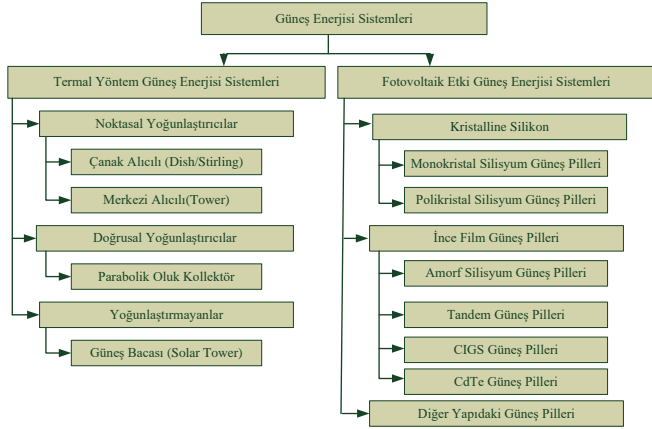
In this study, in 3 different environments created by solar array simulator (SAS); Performance analyzes of maximum power point tracking (MPPT) algorithms based on Perturb & Observe (P&O), Incremental Conductance (IC) and Fuzzy Logic Controller (FLC) techniques have been carried out. For this purpose, 3 different environment scenarios in which temperature (T) and solar radiation (G) change according to time were created on the solar array simulator of BK Precision company. Performance analyzes were made by running the specified MPPT algorithms separately in these environments. Within the scope of the study, a 500 W ohmic load was used and the power transfer from the solar array simulator to the load was made via the DC-DC Boost converter. The control of the converter and the operation of the mentioned algorithms were made on the Nucleo 32F103RB, the development board of SMT company, and the results were discussed.

**Keywords:** MPPT Algorithms, PV Panel, DC-DC Converter.

\* Sorumlu Yazar: [gokselgokkus@nevsehir.edu.tr](mailto:gokselgokkus@nevsehir.edu.tr)

## 1. Giriş

Güneş enerjisi; diğer tüm enerji kaynaklarının temelini oluşturduğu gibi tüm canlı hayatının da kaynağıdır (Yiğit&Yağcı, 2020). Güneş enerjisinden bahsedildiğinde günümüzde büyük oranda enerji üretimi akla gelirken, elektrik enerjisi üretimi güneş enerjisinden faydalandığımız alanlardan sadece biridir. Güneş enerjisinden faydalandığımız diğer alanlara örnek olarak; sağlık alanı, endüstriyel süreçler, ısıtma-soğutma-iklimlendirme, tarım, aydınlatma vb. pek çok alan sıralanabilir. Güneş enerjisi; artan enerji ihtiyacını karşılamada ve fosil kaynaklı yakıtlardan yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişte önemli rol oynar (Yarıkkaya&Vardar, 2020; Akboy, 2019). Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimine dair kullanılan yöntemleri Foto Voltaik (FV) yöntem ve termal yöntem olmak üzere iki başlıkta incelemek mümkündür. Literatürde karşılaşılan ve güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretebilen sistemler bir sema haline getirilerek Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Güneş enerjisi sistemlerinin sınıflandırılmasına dair sema

FV yöntemin kullanılması büyük oranda esnek sistem yapıları sağlarken, çevre kirliliği de üretmez (Sundararaj et al, 2020). FV yöntemi kullanan sistemlerin çıkış karakteristikleri doğrusal değildir çünkü FV etkiyi kullanan sistemlerin enerji üretimi güneş ışınması ve sıcaklık gibi dış etkilere bağlıdır (da Rocha et al, 2019). Güneşten yayılan ve ışıma yoluyla dünya atmosferine ulaşan enerji, kayıplara uğradıktan sonra atmosferin üst kademelerinde metre kareye 1360 W civarında enerji transfer eder. Atmosferde meydana gelen kayıplar ve yer yüzeyinden yansımalar neticesinde de, geriye ortalama olarak metre karelik alana 1000 W civarında enerji kalır (Ochab et al, 2017). Enerji yoktan var olabilen bir olgu olmayıp birinden diğerine dönüşür. Dünya yüzeyine ulaşan güneş enerjisi bitkiler vasıtasıyla kimyasal enerjiye dönüşür. Güneş enerjisi, ısı ve ışınma etkisi ile çeşitli doğa olaylarının da oluşmasına sebep olur. Örneğin ısınan havanın yer değişmesi sonucunda rüzgar olayı oluşur (İftikhar et al, 2018).

## 2. Materyal ve Metot

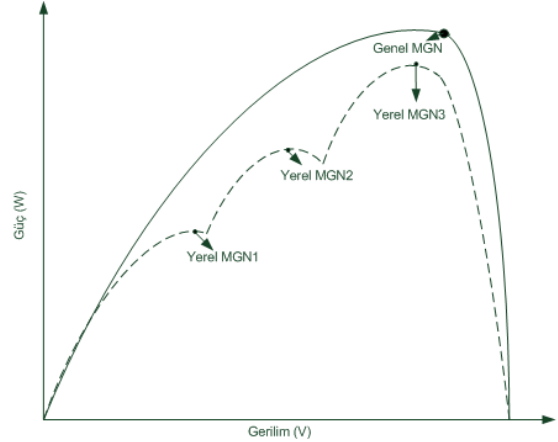
Bu bölümde; çalışma kapsamında önerilen maksimum güç noktası takibi (MGNT) ve bu maksatla oluşturulmuş algoritmalar hakkında bilgiler verilmiştir. Uygulamalı karşılaştırmayı sağlayacak donanımsal bileşenler açıklanmıştır. Ek olarak istenilen çalışmayı sağlayacak gömülü sistem yapımları hakkında da bilgilere yer verilmiştir.

### 2.1. MGNT Algoritmalarına Bakış

FV panelleri kullanan güneş enerji sistemleri için MGNT algoritmalarının kullanımı açık bir biçimde verim artışı sağlar. MGNT algoritmalarının kullanımı FV panellerin verimlerinde %20-%30 arasında artış sağlar. MGNT algoritmaları sayısal veya analog teknikleri temel alarak tasarlanabilirler (Abouelela, 2020). Günümüze gelinceye kadar, MGNT algoritmaları üzerine çok geniş kapsamda ve adette çalışmalara yer verilmiştir.

Literatürde eski veya güncel teknikleri içeren 40’ın üzerinde MGNT algoritmasının olduğu bilinmektedir. Bu algoritmalar içerisinde artımlı iletkenlik ile Değiştir & Gözle teknikleri, basitliği ve kolay uygulanabilirliği sayesinde en çok çalışma yapılan algoritmalarındandır (Bhattacharyya, 2020). MGNT algoritmaları ile FV panellerden o esnada alınabilecek en yüksek gücün alınması hedeflenir.

FV panelin maksimum güç noktasını (MGN) ifade ederken iki noktadan bahsetmek mümkündür. Bunlardan birincisi yerel MGN’dir. Yerel MGN; FV panelin tam güneş alamadığı durumlarda ortaya çıkar. Bu durumlara; parçalı gölgelenme, panelin toz vb. ile kaplanması, sıcak noktaların (hot-spot) oluşması veya güneş ışınlarının panele 90 derecelik bir açı ile gelmemesi gibi durumlar örnek verilebilir. FV panelin yüzeyi temiz ve güneş ışığını istenilen açıda alabiliyor olması sonucunda ise genel (Global) MGN oluşur. Bu nokta panelin verebileceği en yüksek gücün sağlanabildiği noktadır. Şekil 2’de bir FV panele ait güç/gerilim (P/V) grafiği üzerinde yerel ve genel MGN’ni gösteren grafik verilmiştir.



Şekil 2. FV panele ait yerel ve genel MGN’ni gösterir grafik

MGNT algoritmaları, yüksek enerji potansiyelleri ve dağıtılmış enerji kaynakları niteliği sayesinde hem rüzgar hem de güneş enerji sistemleri tarafından kullanılabilir (Ram et al, 2017). Enerji dönüşüm platformlarına uygulanan MGNT teknikleri değerlendirilirken aşağıda verilen başlıklar göz önüne alınmaktadır.

Bu başlıkları;

- Kapasite Kullanım Faktörü (Capacity utilization factor)
- Maliyet (Cost)
- Enerji Tasarrufu (Energy savings)
- Geri ödeme Süresi (Payback period)
- Yaratılan Gelir (Income generated)
- İstikrar (stability) şeklinde sıralamak mümkündür.

Literatürde ele alınan 40'tan fazla MGNT algoritmasının bir kısmını panelin elektriksel parametrelerini kullanarak maksimum güç noktasına ulaşmayı hedeflerken bazıları ışık yoğunluğu ve sıcaklık değişimini (Shengqing et al, 2020), bazıları ise FV panelin MGN'da çalıştığını gösterecek başka parametreleri kullanır. Literatürde yer alan MGNT algoritmaları aşağıda listelendiği gibi belirli başlıklar altında sınıflandırılabilir.

Geleneksel teknikler:

- Değiştir ve Gözle (Perturb & Observe)
- Tepe Tırmanışı (Hill Climbing)
- Artımlı İletkenlik (Incremental Conductance)
- Açık Devre Gerilimi Metodu (Open Voltage Method)
- Sabit Gerilim Metodu (Constant Voltage Method)
- Kısa Devre Akımı Metodu (Short-Current Pulse Method)

Yapay zeka teknikleri (Artificial Intelligence):

- Bulanık Mantık Kontrol (Fuzzy Logic Control)
- Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks)

Evrim algoritmaları (Evolutionary Algorithms):

- Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization)
- Geliştirilmiş PSO (Improved PSO)
- Deterministik PSO

- Değiştirilmiş PSO (Modified PSO)

Doğadan esinlenmiş teknikler (Bio-Inspired)

- Guguk Kuşu Araması (Cuckoo Search)
- Ateşböceği Algoritması (Firefly Algorithm)
- Rastlantısal Arama Metodu (Random Search method)
- Kaotik Kontrol Metodu (Chaotic control Method)
- Lineer Olmayan Kontrol Metotları (Nonlinear control methods)

MGNT algoritmalarının başarısı sabit olmayan ortam şartlarına bağlı olarak değişim gösterdiği gibi güç katını oluşturan devrelerin kabiliyetlerine bağlı olarak da değişim gösterir (Li, 2019). MGNT algoritması ile onu işletecek olan güç katının seçiminde aşağıda verilen başlıklar göz önüne alınmalıdır.

- Algoritmanın karmaşıklığı
- Dönüştürücü tasarımı
- Yakınsama hızı
- Bellek gereksinimi
- Hızlı değişim gösteren iklim koşulları altındaki performansı

Literatür taramasında karşılaşılan ve çalışma kapsamında incelenecek olan P&O, IC ve FLC tekniğini içeren MGNT algoritmalarının güneş ve rüzgar enerjisine uygulanmasına dair karşılaştırma Tablo 1'de verilmiştir.

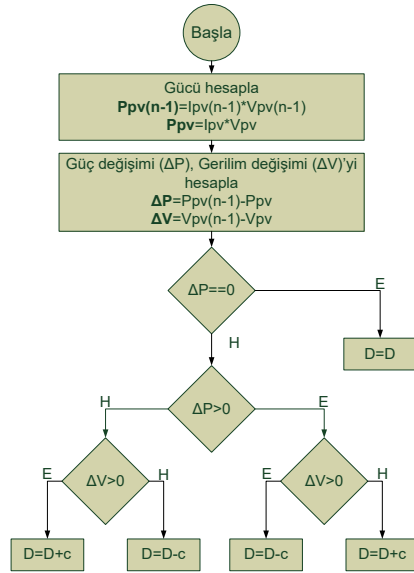
Tablo 1. P&O, IC ve FLC tekniklerini içeren MGNT algoritmalarının çeşitli başlıklar altında karşılaştırılmasına dair tablo

Algoritma Türü	Enerji Kaynağı	Algoritmanın Karmaşıklığı	Dönüştürücü Kurulumu	MGN'a Ulaşma Hızı	Hafıza Gereksinimi	Değişen Ortam Şartlarında Performansı
P&O	Rüzgar	Kolay	Orta	Orta	Düşük	Orta
	Güneş	Kolay	Kolay	Yavaş	Düşük	Düşük
IC	Rüzgar	Kolay	Karmaşık	Orta	Düşük	Orta
	Güneş	Kolay	Kolay	Düşük	Düşük	Düşük
FLC	Rüzgar	Zor	Karmaşık	Yüksek	Yüksek	Yüksek
	Güneş	Zor	Kolay	Yüksek	Yüksek	Yüksek

### 2.1.1. Değiştir ve Gözle (P&O) Tekniği

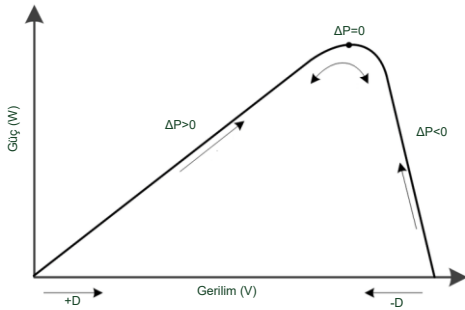
Bu teknik diğer tekniklere göre daha fazla kullanılmaktadır (Belkaid et al,2017). P&O tekniği ile panelin gerilimi kullanılarak doğrudan kontrol sinyalinin çalışma oranı (Duty, D) değiştirilebilir (Sahoo, 2020). Geleneksel yapıdaki P&O algoritması sabit adımlıdır ve bu sebeple genel MGN etrafında salınımlara sahiptir. Literatürde bu algoritmanın dezavantajlı yönlerini azaltıp iyi yönlerini öne çıkarmayı hedefleyen pek çok çalışma vardır. Adaptif (AD-P&O) veya hibrit (HB-P&O) gibi çeşitli başlıklarda geliştirmeler yapılarak sabit adımın kısıtlamalarının ortadan kaldırılması ve genel MGN etrafındaki salınımların azaltılması hedeflenmektedir (Mousa et al, 2020; Kwan&Wu, 2017). P&O algoritması panelin akım ve gerilim değerlerini kullanarak panelin MGN'a ulaşabilir. Panele bağlı sensörlerden alınan akım ve gerilim değerleri üzerinden işletilebildiği gibi çeşitli geliştirmeler ile sensör kullanmadan da MGNT yapılabilir (Liu, 2019). P&O algoritmasının çalışması şu

şekildedir: FV panelden sensörler vasıtasıyla alınan akım ve gerilim bilgisi üzerinden FV panelin o andaki sağlayabildiği güç değeri hesaplanır. Hesaplanan bu güç ve gerilim değeri üzerinden güç katını kontrol eden darbe genişlik modülasyonunun (PWM) çalışma oranı D değiştirilir (artırılır veya azaltılır). Bu değişikliğin yapıldığı güç ve gerilim değeri hafızaya alınarak bir önceki değer etiketinde kaydedilir. Bir önceki güç değeri (Ppv(n-1)) ve bir önceki gerilim değeri (Vpv(n-1)) olarak hafızaya kaydedilir. Yapılan değişiklikten sonra yeniden akım ve gerilim değeri ölçülerek güç değeri yeniden hesaplanır (Ppv=Ipv\*Vpv). Yeni ölçüm sonucunda hesaplanan güç değeri (Ppv) ile bir önceki güç değeri (Ppv(n-1)), yeni ölçülen gerilim değeri (Vpv) ile de bir önceki gerilim değeri (Vpv(n-1)) üzerinden ( $\Delta P$ ) ve ( $\Delta V$ ) değerleri hesaplanır. Tarif yapıları bu işlem Şekil 3'te verilen akış şemasına göre yapılır.



Şekil 3. P&O algoritmasının işletilmesine dair akış şeması

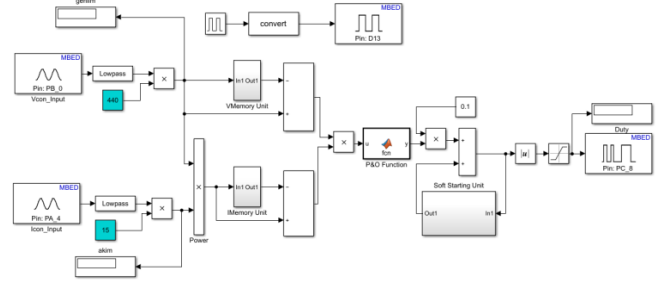
Bir FV panele ait MGN'nın tespiti güç/gerilim (P/V) eğrisi üzerinden yapılabilmektedir. Bu eğri üzerindeki yönün tespiti de güç değişimi ( $\Delta P$ ) ve gerilim değişimi ( $\Delta V$ ) üzerinden kolaylıkla yapılabilir. Şekil 4'te verilen eğri ile  $\Delta P$  ve  $\Delta V$ 'deki değişime göre Şekil 3'teki akış şeması üzerinden sürme sinyalinin çalışma oranı  $D$  değiştirilir. Akış şemasında verilen "c" P&O MGNT algoritmasının sabit adım değeridir. Çalışma kapsamında "c" değeri 0,1 olarak belirlenmiştir. P&O algoritmasının işletimi esnasında  $\Delta V$  ve  $\Delta P$ 'ye bağlı değişimler neticesinde  $D$ 'nin değerindeki artış veya azalma miktarı 0,1'dir.



Şekil 4. FV panele ait güç-gerilim eğrisi üzerinde  $\Delta P$ ,  $\Delta V$  ve  $D$ 'nin değişimi

Verilen bilgiler doğrultusunda P&O algoritmasını işletmek üzere oluşturulan Simulink modeli Şekil 5'te verilmiştir. Tasarlanan model Embedded Coder aracılığıyla geliştirme kartına yüklenerek P&O algoritmasının fiziksel ortamda çalıştırılması sağlanmıştır. Akım (PA\_4) ve gerilim (PB\_0) bilgileri geliştirme kartının analog kanallarından alınarak sayısal verilere dönüştürülmüştür. Sayısal bilgilere dönüştürülen akım ve gerilim bilgisi alçak geçiren dijital filtrelerden geçirilerek anahtarlama frekansından (20 kHz) kaynaklı gürültülerden arındırılmıştır. Bundan sonraki adımda  $\Delta V$  ve  $\Delta P$  hesaplanmış ve algoritmayı işleten fonksiyon bloğuna uygulanmıştır. Fonksiyon bloğu çıkışı ise 0,1'lik sabit adım ile PWM üretici bloğuna (PC8) uygulanmıştır. Sistem maksimum güç noktası takibine başladığında, PWM'in doluluk oranı  $D$ 'nin ani olarak ve kontrolsüz bir biçimde minimum değer olan % 0'a veya maksimum değer olan % 100'e gitmesini önlemek amacıyla yumuşak başlatma isminde bir blok tasarlanmıştır. Yumuşak başlatma bloğu, PWM çalışma oranını belirli bir seviyeye kadar

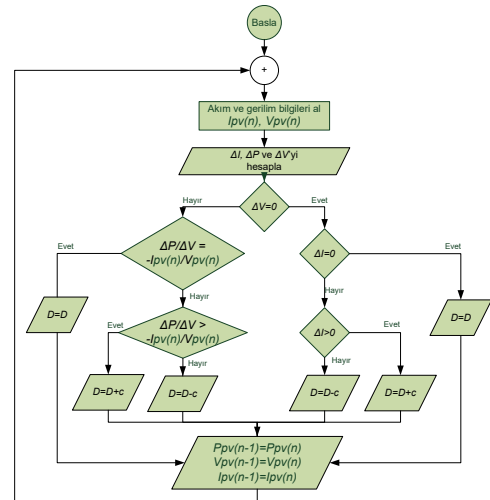
artırarak MGNT algoritmasını devreye alır ve MGNT algoritmasının sağlıklı başlamasını sağlar. Tasarlanan Simulink bloğundaki analog giriş kanalları, PWM üretici bloğu ve yumuşak başlatma bloğu çalışma kapsamındaki üç algoritmanın da yapısında bulunur. Bu blokların işlevi ve amacı her üçü içinde aynıdır. Tasarlanan Simulink bloğundaki farklı olan kısımlar ise MGNT algoritmalarını içeren fonksiyon bloğudur.



Şekil 5. P&O algoritmasının işletilebilmesi için oluşturulmuş Simulink modeli

### 2.1.2. Artımlı İletkenlik (INC) Tekniği

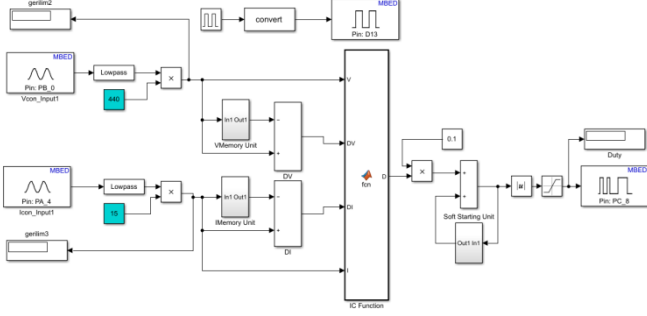
FV panelleri kullanan sistemlerin verimlerini ve ekonomisini güçlendirmek için çok miktarda algoritma vardır bunlar içerisinde en çok kullanılan ve önerilen MGNT algoritmalarından biri de artımlı iletkenlik tekniği veya algoritmasıdır (Shang et al, 2020; Wellawatta et al, 2017; Alsumiri, 2019; Kandemir et al 2018). Ek olarak artımlı iletkenlik tekniğini kullanan bu algoritma basitliği ve verimi sayesinde de yoğun olarak kullanılır. (Ammar et al, 2019; Gökkuş, 2020) Artımlı iletkenlik algoritması, FV panelin MGN'a ulaşması amacıyla sabit adımlı veya değişken adımlı olarak tasarlanmakta ve kullanılabilir (Yin et al, 2017). Bu teknik aynı zamanda FV panel ile beslenen hava araçlarının motor kontrol uygulamalarında ve motorların kontrolünü yapan DA-DA dönüştürücünün kontrolünde ve düşük maliyetli uygulamalarda da tercih edilen bir tekniktir (Ilyas et al, 2018; Sener et al, 2019; Necaibia et al, 2017). P&O algoritmasının çalışmasında olduğu gibi IC algoritmasında da bir akış şemasına ihtiyaç duyulur. IC algoritmasının işletilmesine dair oluşturulan akış şeması Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. IC algoritmasına ait algoritma işletme akış şeması

Çalışma kapsamında oluşturulan IC algoritması da P&O algoritmasında olduğu gibi sabit adımlıdır. IC algoritmasında da anahtarlama elemanını sürecektek sürme sinyalinin doluluk oranı olan  $D$ , akış şemasında yer alan süreçlerden geçerek

hesaplanır. Şekil 7’de IC algoritmasını işletmek maksadıyla oluşturulan Simulink modeli görülmektedir.



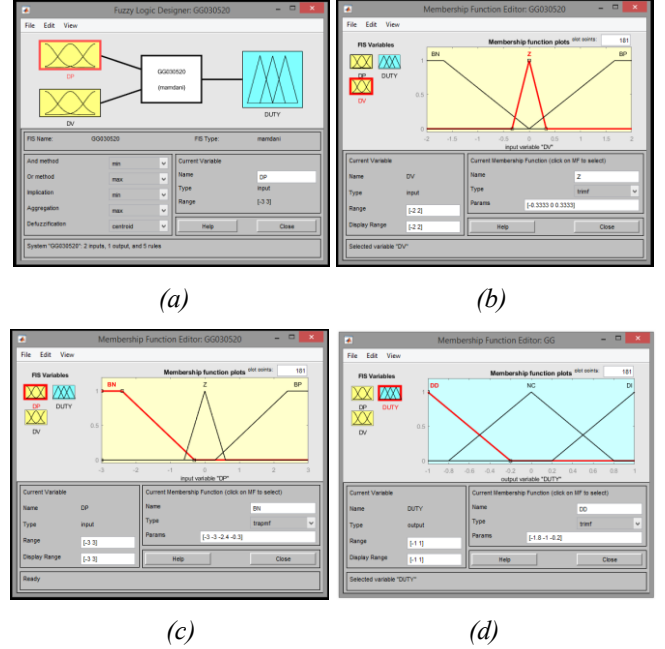
Şekil 7. IC algoritmasının işletilebilmesi için oluşturulmuş Simulink modeli

P&O’da olduğu gibi IC algoritması için tasarlanan Simulink modeli Embedded Coder aracılığıyla STM32F103RB geliştirme kartına yüklenmiştir. Akım (PA\_4), gerilim (PB\_0) pininden geliştirme kartına alınmış ve sayısal verilere dönüştürülmüştür. Dönüştürülen akım ve gerilim bilgisi alçak geçiren dijital filtrelerden geçirilerek anahtarlama frekansından kaynaklı gürültülerden arındırılmıştır. Sonraki adımda analog kanallardan alınan ve sayısal verilere dönüştürülmüş I, V üzerinden  $\Delta V$  ve  $\Delta P$  hesaplanmış ve algoritmayı işleten fonksiyon bloğuna uygulanmıştır. Fonksiyon bloğu çıkışı ise 0,1’lik sabit adım ile PWM üretici bloğuna (PC8) uygulanmıştır.

### 2.1.3. Bulanık Mantık (FLC) Tekniği

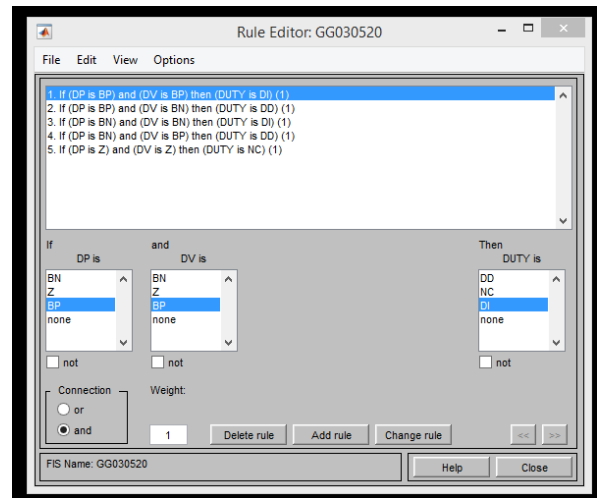
Bir FV paneleden maksimum oranda güç alınabilmesi çevre koşullarına bağlıdır ve bu çevresel koşulların başında ortam sıcaklığı ve güneş ışınması gelmektedir (Robles et al, 2017). Bulanık mantık denetleyicisi panele ait akım ve gerilim değerleri üzerinden MGNT yapabildiği gibi P&O ve IC’den farklı olarak ortam sıcaklığı (T) ve güneş ışınması (G) ile de FV panelin MGN’na ulaşabilir. Güneş ışınması ve ortam sıcaklığını kullanan FLC tekniği basitliği, doğruluğu ve uygulanabilirliği sayesinde FV sistemler için MGNT algoritması olarak kullanılabilir (Rezk et al, 2019). FV panele uygulanan FLC aynı zamanda başka algoritmalar ile hibrit yapılar oluşturularak değişken adım tekniği ile de panelin MGN’na ulaşması sağlanabilir. Aynı zamanda FV sistemler dışında başka alanlarda da kullanılabilir. Bu maksatla; FLC ilk olarak artımlı iletkenlik tekniğini içeren bir algoritma ile birleştirilerek değişken adımlı olarak kullanılmıştır (Harrag&Messalti, 2018). Sayılan bu özellikleri sayesinde FV sistemlere uygulanan ve özellikle hibrit yapıdaki FLC tekniğini içeren algoritmaların değişen çevre koşulları altında daha dinamik tepkiler verdiği görülmüştür (Kulaksız et al, 2019; Tang et al, 2017; Ali et al, 2021). Benzer olarak FLC tekniği iklimsel değişimlere daha iyi tepki verebilen gelişmiş algoritmalar içerisinde yer alır (Talbi 2017). FLC, esnek tasarım özelliği sayesinde FV sistemler dışında rüzgar enerjisi dönüşüm sistemlerinde de kullanılabilir (Gouabi et al, 2021). FLC tekniğini içeren FV panellerin kullanıldığı şebekeden bağımsız sulama sistemleri için de kurulum tercihinde ön plana çıktığı akademik araştırmalar da vardır (Tawanna et al, 2020). Tüm bunların yanında geleneksel algoritmaların tam güneş ışınması altında verimli çalışmalarına rağmen özellikle parçalı gölgeleme altında istenilen verimi sağlayamadığı, buna karşın parçalı gölgeleme durumunda bile FLC tekniğini içeren algoritmaların verimli çalıştığını gösteren akademik çalışmalar vardır (Verma et al, 2020). FLC tekniği üç aşamadan oluşur bunlar: bulanıklaştırma (fuzzification), kural tabanı tablo araması ve

durulaştırma (defuzzification) şeklinde sıralanabilir (Omar et al, 2019). Çalışma kapsamında oluşturulan sistemde bahsedilen üç algoritma için de ortak alt yapının kullanılması sebebiyle FLC tekniğini içeren algoritmanın diğerlerinde olduğu gibi panelin akım ve gerilimine bağlı olarak MGNT yapması hedeflenmiştir. Bu maksatla FLC tekniğine girdi olarak panel gerilimi ve panel gücü kullanılmıştır. Tasarlanan FLC tekniğine ait üyeler Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Tasarlanan FLC tekniğine ait üye fonksiyonları

Üye fonksiyonları: Güç değişimini ifade eden ( $\Delta P$ ) yerine DP, gerilim değişimini ifade eden ( $\Delta V$ ) yerine de DV son olarak çıkış değeri olan D yerine DUTY şeklinde tanımlanmıştır. Üye fonksiyonları arasındaki ilişkiyi ifade eden kural tablosu ise Şekil 9’da verilmiştir.

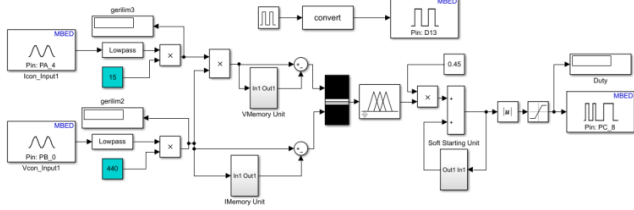


Şekil 9. Algoritmayı oluşturan girdiler  $\Delta P$ ,  $\Delta V$  ve çıktı DUTY arasındaki ilişkiyi gösteren kural tablosu

Diğer iki teknikte olduğu gibi FLC tekniğini içeren algoritma için de bir Simulink modeli oluşturulmuştur. FLC tekniği için oluşturulan bu model de diğerlerinde olduğu gibi aynı alt yapıyı kullanmaktadır. FLC algoritması için tasarlanan



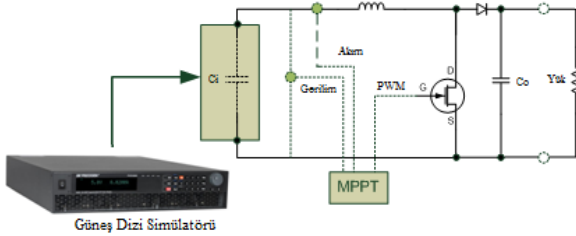
Simulink modeli Embedded Coder aracılığıyla derlenerek STM32F103RB geliştirme kartına yüklenmiştir. Panel akım (PA\_4), panel gerilim (PB\_0) pininden geliştirme kartına bağlanmıştır. Akım ve gerilim değerleri analog dijital dönüştürücü (ADC) kanalları üzerinden sayısal verilere dönüştürülmüştür. Sayısal değerlikli akım ve gerilim bilgisi alçak geçiren dijital filtrelerden geçirilerek sürme frekansının gürültülerinden arındırılmıştır. Son olarak da ADC kanallarından alınan ve sayısal verilere dönüştürülmüş I, V üzerinden DV ve DP hesaplanmış ve algoritmayı işleten FLC fonksiyon bloğuna uygulanmıştır. Fonksiyon bloğu çıkışı ise PWM üretici bloğuna (PC8) uygulanmıştır. Bu amaca yönelik tasarlanan Simulink modeli Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. FLC tekniğini içeren MGNT algoritmasının Simulink modeli

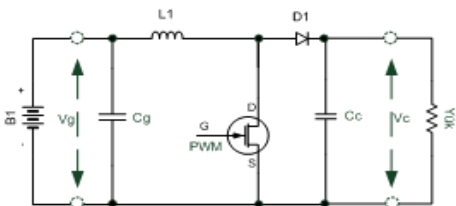
## 2.2. Donanımsal Gerçekleştirmeler

Bu bölümde çalışma kapsamında önerilen MGNT algoritmalarını işletecek olan donanımsal bileşenler hakkında bilgiler verilecektir. Önerilen sistemin genel yapısını gösterir blok şema Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11. Çalışma kapsamında önerilen sisteme ait blok şema

Blok şemaya göre güneş dizi simülasyonu tarafından beslenen bir güç elektroniği katı vardır. Güç elektroniği katı 32 bit mikro denetleyici (MD) tarafından kontrol edilir. MD aynı zamanda hedeflenen üç MGNT algoritmasının ayrı ayrı işletilebilmesini sağlar. Güç elektroniği katı izolesiz yapıdaki DA-DA dönüştürücü yapısındadır. Uygulaması yapılan güç katı aynı zamanda yükseltilen dönüştürücü yapısındadır. Çalışma kapsamında tasarım ve uygulaması yapılan yükseltilen dönüştürücüye ait blok şema Şekil 12'de verilmiştir. Bu dönüştürücü türü basit yapısı ve neredeyse her enerji dönüşüm sistemine kolayca adapte edilebilir bir niteliğe sahip olduğundan literatürde en çok kullanılan dönüştürücü türüdür.



Şekil 12. İzolesiz yapıdaki yükseltilen dönüştürücüye ait blok şema

Uygulaması yapılan yükseltilen dönüştürücü yapısında bir adet güç MOSFET'i kullanılmıştır ve IXYS firmasının IXFH60N50P3 modelidir. Toroidal nüveye elde sarılmış bir adet bobin içerir. Dönüştürücü yapısında IXYS firmasının DSEI120-12A modeli bir adet hızlı toparlama diyot içerir. Güç katının çalışması esnasında meydana gelen gerilim dalgalanmalarını azaltmak için de birer adet giriş-çıkış kondansatörü içerir.

İzolesiz yapıdaki yükseltilen dönüştürücünün giriş gerilimi, çıkış gerilimi ve anahtarlama frekansı çalışma oranı arasındaki bağlantı Denklem (1)'de verilmiştir.

$$V_c = \frac{1}{1-d} V_g \quad (1)$$

Burada  $V_c$  dönüştürücünün çıkış gerilimi,  $V_g$  dönüştürücünün giriş gerilimi ve  $d$  % cinsinden sürme sinyalinin çalışma oranıdır. Dönüştürücüyü meydana getiren diğer bileşenlerden olan çıkış kondansatörü ve bobinin değeri Denklem (2) ve (3)'te verilmiştir.

$$L > \frac{V_{g_{min}} * d}{F_s * \Delta I_L} \quad (2)$$

$$C > \frac{I_{C_{max}} * d}{F_s * \Delta V_C} \quad (3)$$

Burada  $F_s$  sürme sinyalinin frekansı,  $\Delta I_L$  bobin akımındaki müsaade edilen dalgalanma değeri,  $\Delta V_C$  çıkış gerilimindeki müsaade edilen dalgalanma değeri,  $C$  çıkış kondansatörünün değeri ve  $L$  bobinin değeridir. Tasarım ve uygulaması gerçekleştirilen dönüştürücüye ait diğer tasarımsal bilgiler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Uygulaması yapılan yükseltilen dönüştürücüye ait parametreler tablosu

Parametre/Malzeme	Değeri/Açıklama	Adet
Giriş Kondansatörü	1200 uF/400 V	1
Çıkış Kondansatörü	470 uF/400 V	1
Bobin	1 mH	1
Diyot	1200 V/ 75A	1
MOSFET	1200 V/1024 W	1
Anahtarlama Frekansı	40 kHz	-
Giriş Gerilimi	42 Vda	-
Çıkış Gerilimi	320 Vda	-
Panel Gücü	250 W	1
Yük (omik)	500 W/108 R	2

Uygulaması yapılan dönüştürücü birden fazla kattan meydana gelir. Bu katlar sistemin sağlıklı bir biçimde çalışmasını sağlayacak elektronik bileşenleri içerir. Bu katlar ve onlara ait detaylar aşağıda başlıklar halinde incelenmiştir;

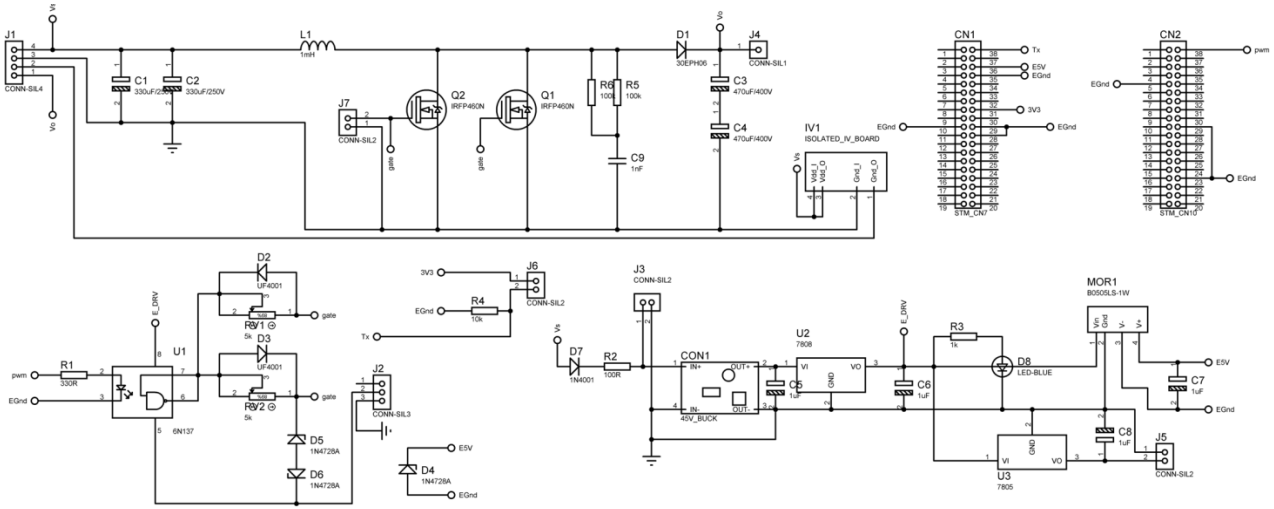
### 2.2.1. MOSFET Sürücü Katı

Sistemin kontrolünü sağlayan MD'nin çıkış geriliminin genlik değeri (3,3V) MOSFET'i sürmek için yeterli değildir. Tasarımda kullanılan MOSFET'in nominal sürülme gerilimi 10V civarındadır. Sürücü katı, MD'nin üretmiş olduğu sürme sinyalinin genliğini 0-3,3V'tan 0-10V'a yükseltir. Ek olarak bu kat optik izoleli olduğu için güç katı ile MD arasında elektriksel izolasyon da sağlar.

### 2.2.2. Akım-Gerilim Okuma Katı

Bu kat her üç MGNT algoritmasının da çalışması için gerekli olan, FV panelin elektriksel parametrelerini ölçmek maksadıyla oluşturulmuştur. Bu kat ADC modülü arasında bir araçtır ve her bir parametre için birer işlemsel yükselteç katı kurulmuştur. Bu kat hem gürültüleri filtreler hem de analog sinyalleri kalibre etmek için kullanılır.

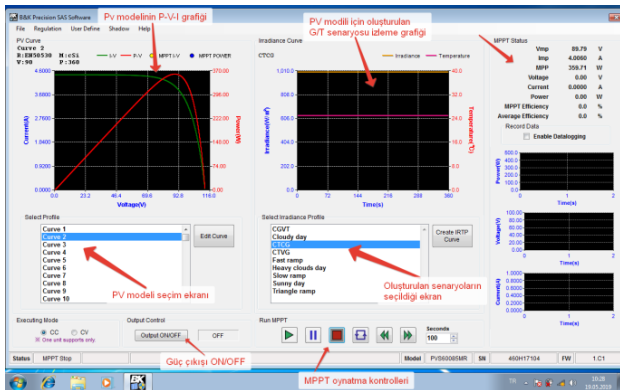
### 2.2.3. Güç Katı



Şekil 13. Çalışma kapsamında tasarım ve uygulaması yapılan elektronik karta ait devre şeması

## 2.3. Ortam Profillerinin Oluşturulması

Çalışma kapsamında, P&O, IC ve FLC algoritmalarının kendi aralarındaki verim analizlerini yapabilmek için 3 farklı güneş ışınması (G) ve ortam sıcaklığı (T) profili oluşturulmuş ve bu profiller üzerinden karşılaştırmaları sağlanmıştır. Şekil 14'te güneş simülörünün ara yüzü ve kullanımına dair detaylar görülmektedir.



Şekil 14. Güneş dizi simülörüne ait kullanıcı ara yüzü ve ara yüz araçları

Bu kat güneş dizi simülöründen elde edilen DA türündeki enerjinin yüke aktarılmasını sağlar. Güç katı izolesiz yapıdaki yükseltilen DA-DA dönüştürücüdür.

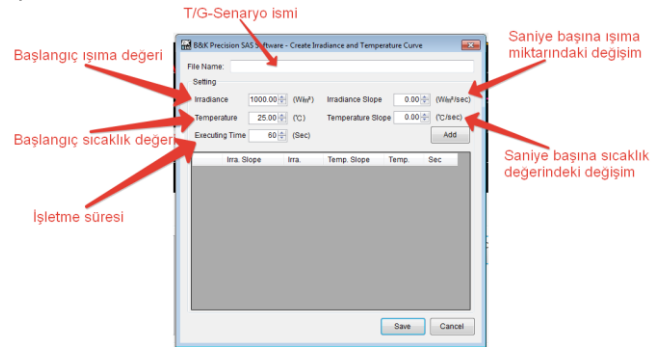
### 2.2.4. MD Katı

Mikro denetleyici katı STM firmasının 32 bitlik geliştirme kartlarından olan Nucleo STM32F103RB modelidir. MD, hem panele ait akım-gerilim değerlerini okur hem MGNT algoritmalarını işletir hem de güç katındaki anahtarlama elemanını sürmek için gerekli olan anahtarlama sinyalini üretir.

### 2.2.5. Diğer Bileşenler

Diğer bileşenler içerisinde sistemin sağlıklı çalışmasına yardımcı olan çeşitli pasif devre elemanları ve sistemin ihtiyacı olan çeşitli seviyedeki (5V-3,3V) gerilimleri sağlayan gerilim regülatörleri, sesli ve ışıklı uyarıcılardan meydana gelir. Çalışma kapsamında tasarım ve uygulaması yapılan elektronik kartın devre şeması Şekil 13'te verilmiştir.

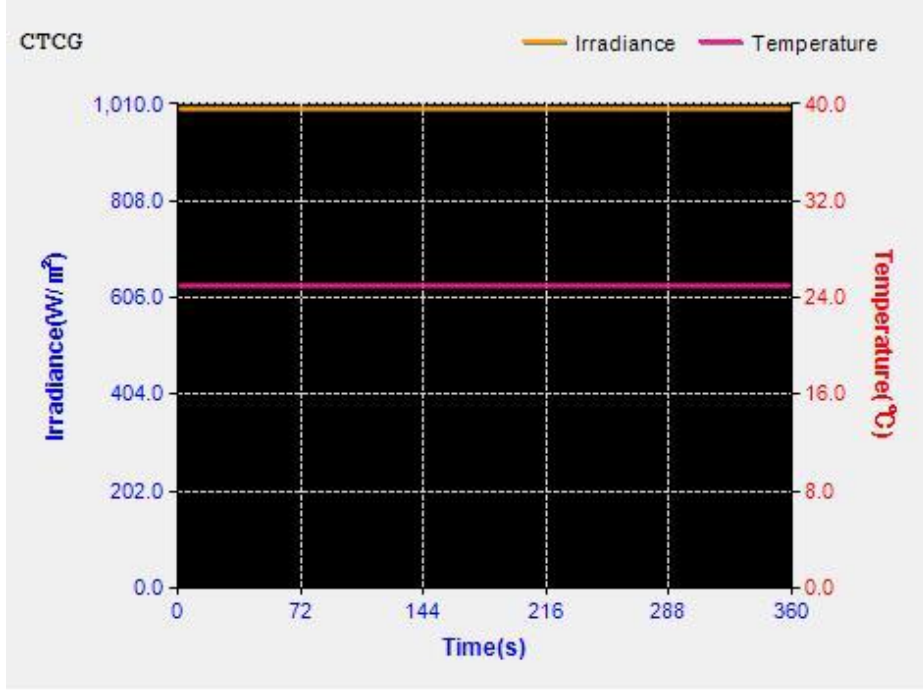
Kullanıcı bu ekran üzerinden çeşitli kontrolleri yönetebilmektedir. Firmanın sunmuş olduğu PV modelini, G/T profilini ve MGNT kontrollerini yönetebilmekte, MGNT işletimi esnasında elde edilen çıktılar gözlemlenebilmektedir. Şekil 15'te kullanıcı tarafından G/T profilinin oluşturulduğu ara yüz verilmiştir. Ara yüz ile kullanıcı kendi belirlediği güneş ışınması (G) ve panel sıcaklığını (T) belirten grafiği aşama aşama oluşturabilmektedir.



Şekil 15. Kullanıcının kendi güneş ışınması/sıcaklık profilini oluşturabileceği ara yüz

Bu kapsamda oluşturulmuş üç farklı profilden ilki sabit güneş ışınması ve sabit sıcaklık (CTCG) profilidir. Bu profilede hava

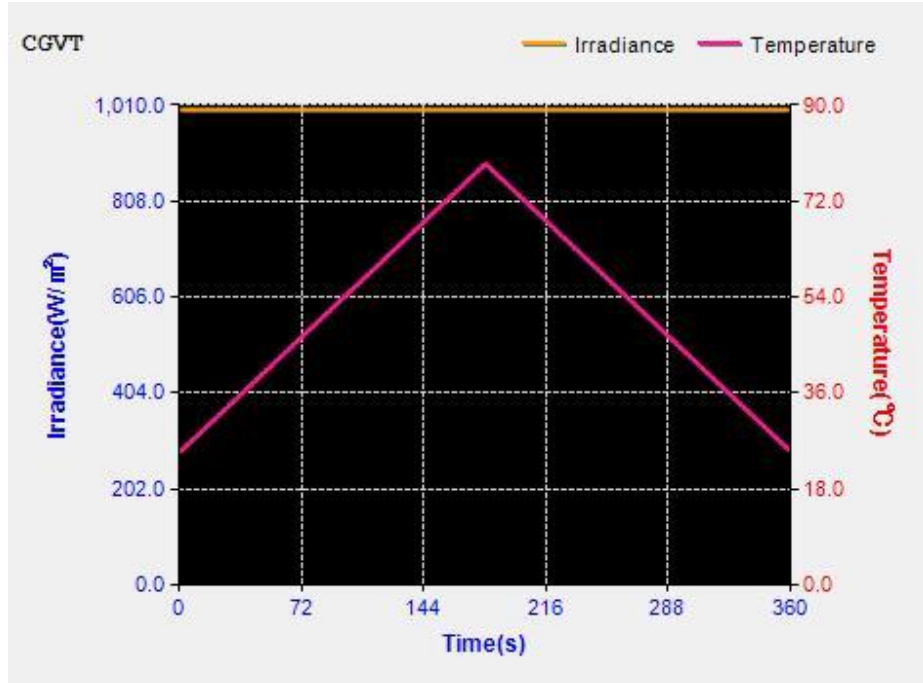
sıcaklığı 25 °C ve güneş ışınması ise 1000 W/m<sup>2</sup>'dir. İlk profile ait grafik Şekil 16'da verilmiştir.



Şekil 16. Sabit güneş ışınması ve sabit sıcaklık grafiği

Oluşturulan ikinci profile (CGVT) panel sıcaklığının 20 °C ile 75 °C arasında değişmesi sağlanmıştır. Değişen panel sıcaklığına karşılık güneş ışınmasının 1000 W/m<sup>2</sup>'de sabit

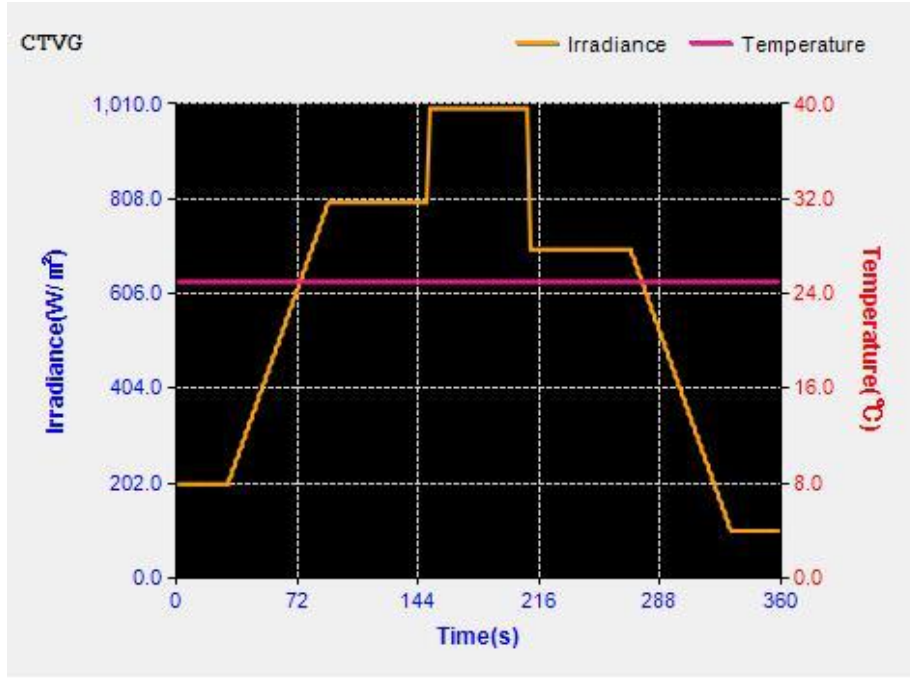
kalması sağlanmıştır. Oluşturulan ikinci profile ait grafik Şekil 17'de verilmiştir.



Şekil 17. Sabit güneş ışınması, değişken sıcaklık grafiği

Oluşturulan son profile ise (CTVG) panel sıcaklığı 25 °C'de sabit kalırken, güneş ışınması 200 W/m<sup>2</sup> ile 1000 W/m<sup>2</sup>

arasında değişmektedir. Son profile ait grafik Şekil 18'de verilmiştir.



Şekil 18. Sabit sıcaklık ve değişken güneş ışımaya ait profil grafiği

Yukarıda detayları açıklanan ortam profillerinin işletilmesi için 360 saniyelik bir süreye ihtiyaç vardır. Bu profiller literatürdeki benzer çalışmaların incelenmesi

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

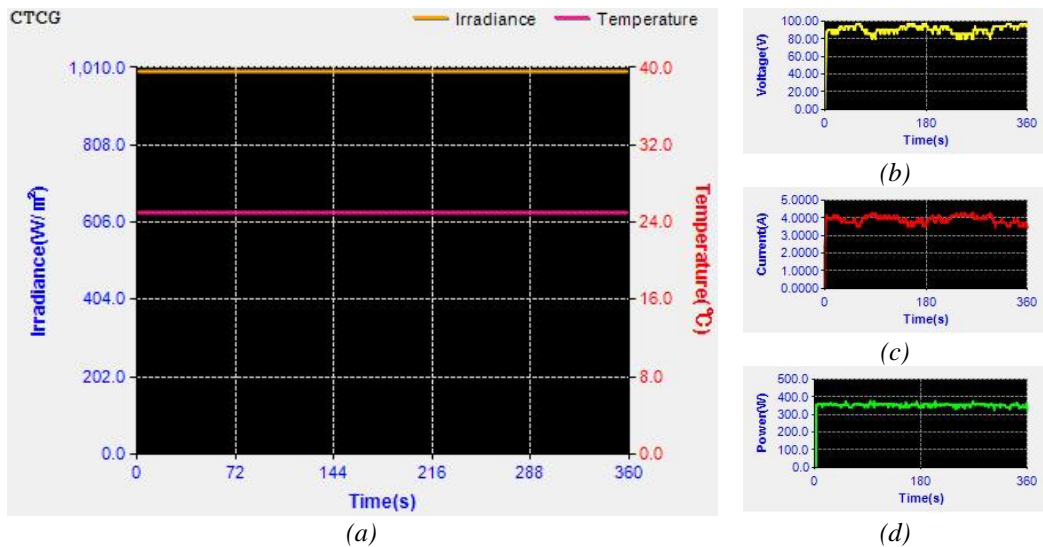
Bu bölümde çalışma kapsamında önerilen değiştir ve gözle, artımlı iletkenlik ve bulanık mantık denetleyicisi tekniğini içeren maksimum güç noktası takibi algoritmalarının 32 bitlik mikro denetleyiciye yüklenmesi ve ayrı ayrı çalıştırılması sonucunda elde edilen bulgular yer almaktadır. Bulguların daha net anlaşılabilmesi için grafikler ile görselleştirilmiştir. Görsellerin bir kısmı güneş dizi simülatörünün ara yüzünden alınmış, bir kısmı ise yine güneş

sonucunda, güneş dizi simülatörü (SAS) ara yüzü üzerinden kullanıcı tarafından oluşturulmuştur.

dizi simülatörünün veri kayıtcısına yapılan kayıtlardan çekilerek çizdirilmiştir.

#### 3.1. P&O Algoritması ve Çıktılarının Analizi

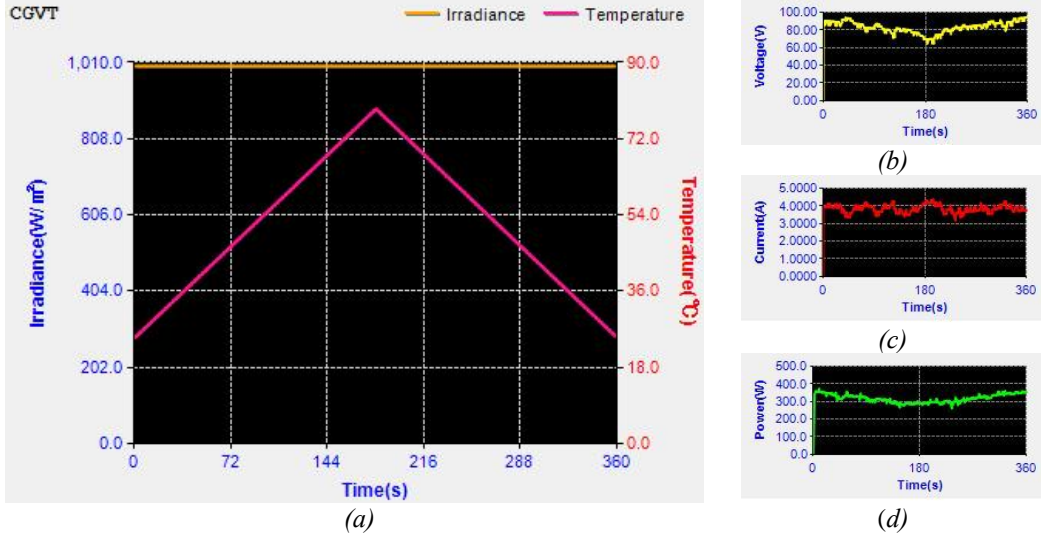
Değiştir ve gözle tekniğini içeren Simulink modeli 32-bitlik mikro denetleyiciye yüklenmiş ve yukarıda bahsedilen üç ortam profili altında davranışları gözlemlenmiştir. İlk olarak sabit sıcaklık, sabit güneş ışımaya altında elde edilen grafikler Şekil 19'da verilmiştir.



Şekil 19(a) Sabit sıcaklık, sabit güneş ışımaya ait profil grafiği, (b) seçilen profil altında panel çıkış gerilimi grafiği, (c) panelden çekilen akım, (d) panelin sağladığı güç grafiği

Şekil 19'da verilen akım ve gerilim grafiklerinden P&O algoritmasının, sürekli maksimum güç noktasına ulaşma konusunda çaba gösterdiğini ve bu noktada akım ve gerilim değerleri üzerinde sınımlara sebep olduğunu görmek mümkündür. İkinci profilde ise güneş ışınması sabit tutulurken

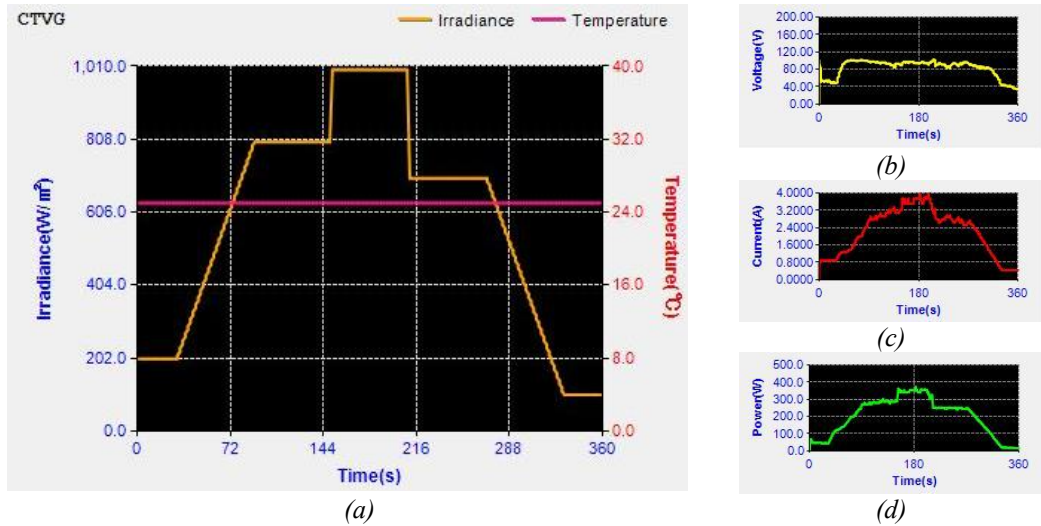
ortam sıcaklığının zamana göre değişmesi sağlanmıştır. Sıcaklık değerinin değişmesi PV paneller üzerinde fark edilir güç değişimine sebep olur. İkinci profil altında P&O algoritmasına ait grafikler Şekil 20'de verilmiştir.



Şekil 20 (a) Sabit güneş ışınması, değişken ortam sıcaklığı profiline ait grafik, (b) seçilen profil altında panel çıkış gerilimi grafiği, (c) panelden çekilen akım, (d) panelin sağladığı güç grafiği

Algoritma; ilk profilde olduğu gibi MGN'na ulaşmak için çaba göstermiştir. Algoritma, ortam sıcaklığın değişimi ile panel çıkışındaki değişime sınımlar yaparak ayak uydurabilmiştir. Son ortam profilinde ise ortam sıcaklığı

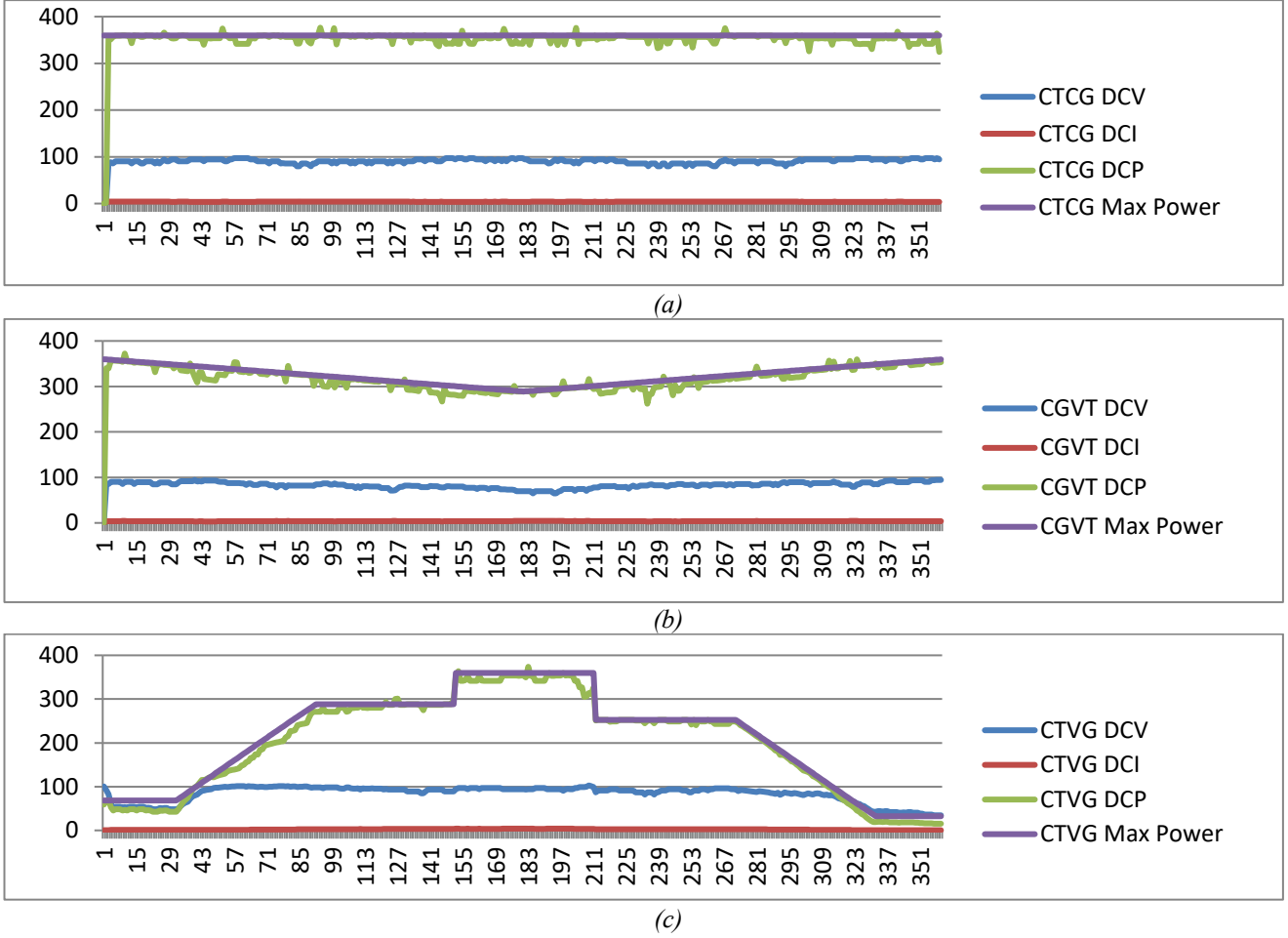
sabitken güneş ışınmasının zamana bağlı olarak değişmesi sağlanmıştır. Bu durumda P&O algoritması Şekil 21'de verilen grafikleri oluşturmuştur.



Şekil 21 (a) Değişken güneş ışınması, sabit ortam sıcaklığı profiline ait grafik, (b) seçilen profil altında panel çıkış gerilimi grafiği, (c) panelden çekilen akım, (d) panelin sağladığı güç grafiği

Şekil 21'deki grafiklerden de anlaşılacağı üzere P&O algoritmasının, ışımadan kaynaklı büyük değişimlere ayak uydurmada kayda değer oranda başarılı olduğu güç grafiğinden görülebilmektedir. P&O algoritması tüm ortam profillerinde MGN'na ulaşma konusunda çalışmış ve MGN'nda sınımlar yapmıştır. Kullanılan güneş dizi

simülatörü MGNT algoritmalarının işletimi esnasında pek çok elektriksel veriyi kayıt edebilmektedir. Bu verilerin alınarak Excel ortamında grafiklere dönüştürülmesi mümkündür. Güneş dizi simülatörünün kayıt ettiği verilerin Excel ortamında çizilmesi sonucunda elde edilen elektriksel grafikler Şekil 22'de verilmiştir.

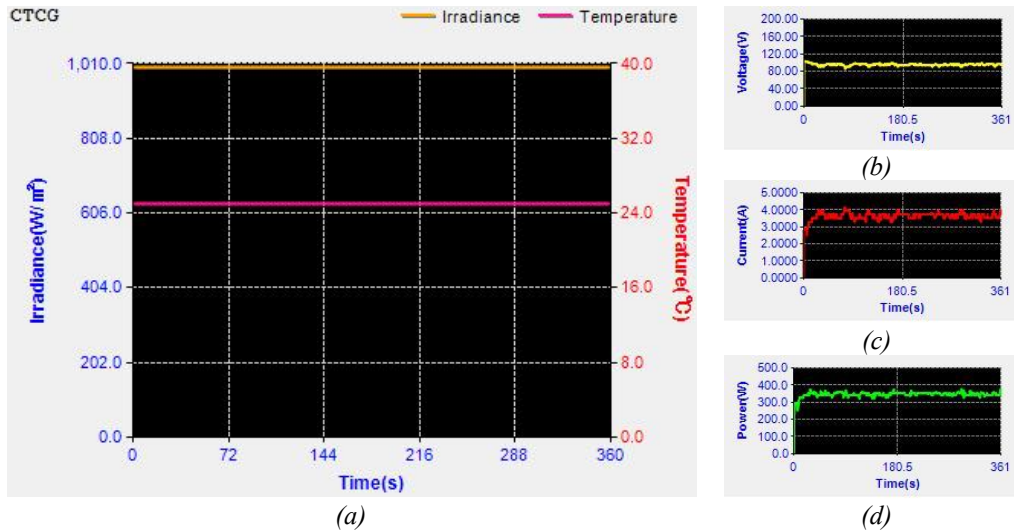


Şekil 22. P&O tekniğinin üç ortam profili altındaki elektriksel veri grafikleri. (a) sabit sıcaklık ( $T$ ), sabit güneş ışınması ( $G$ ) altında dönüştürücünün giriş gerilim (DCV), akımı (DCI) ve çıkış gücü (DCP), (b) değişken sıcaklık ( $T$ ), sabit güneş ışınması ( $G$ ) altında dönüştürücünün giriş gerilim (DCV), akımı (DCI) ve çıkış gücü (DCP), (c) sabit sıcaklık ( $T$ ), değişken güneş ışınması ( $G$ ) altında dönüştürücünün giriş gerilim (DCV), akımı (DCI) ve çıkış gücü (DCP)

### 3.2. IC Algoritması ve Çıktılarının Analizi

Değiştir ve gözle algoritmasında olduğu gibi artımlı iletkenlik algoritması da, panelin akımı ve gerilimi üzerinden FV panelin MGN'na ulaşmayı amaçlar. IC algoritmasının da

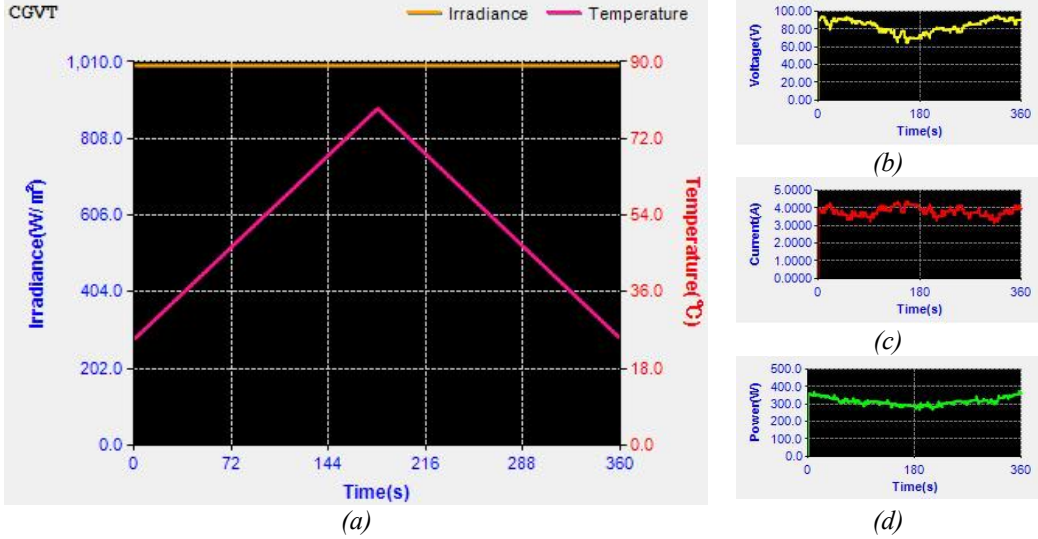
üç ortam profili altında davranışları gözlemlenmiştir. İlk olarak sabit sıcaklık, sabit güneş ışınması altındaki davranışı Şekil 23'teki grafiklerde verilmiştir.



Şekil 23 (a) Sabit sıcaklık, sabit güneş ışınmasına ait profil grafiği, (b) seçilen profil altında panel çıkış gerilimi grafiği, (c) panelden çekilen akım, (d) panelin sağladığı güç grafiği

Şekil 23'te verilen akım ve gerilim grafiklerinden IC algoritmasının sürekli maksimum güç noktasına ulaşma çabası içerisinde olduğu görülmektedir. IC algoritmasının özellikle akım değeri üzerinde sınımlara sebep olduğunu

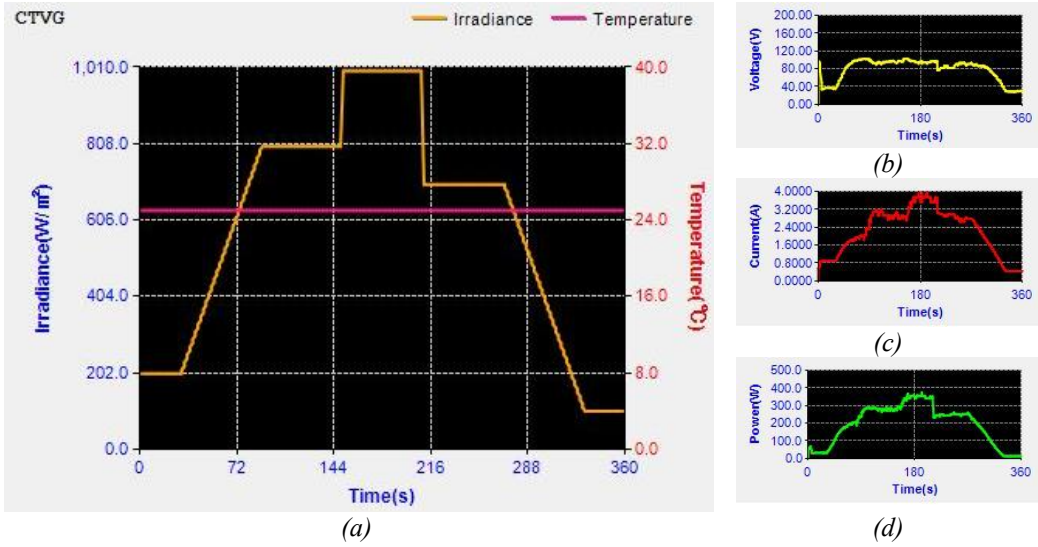
akım grafiğinden görmek mümkündür. Güneş ışımasının sabit tutulduğu ancak ortam sıcaklığının zamana göre değişmesinin sağlandığı ikinci profilde IC tekniğini içeren MGNT algoritmasının incelenmesi Şekil 24'te verilmiştir.



Şekil 24 (a) Sabit güneş ışması, değişken ortam sıcaklığı profiline ait grafik, (b) seçilen profil altında panel çıkış gerilimi grafiği, (c) panelden çekilen akım, (d) panelin sağladığı güç grafiği

İkinci profilde IC algoritması, ilk profilden farklı olarak hem akım hem gerilim değerleri üzerinde sınımlara sebep olmasına rağmen maksimum güç noktasına çok yakın

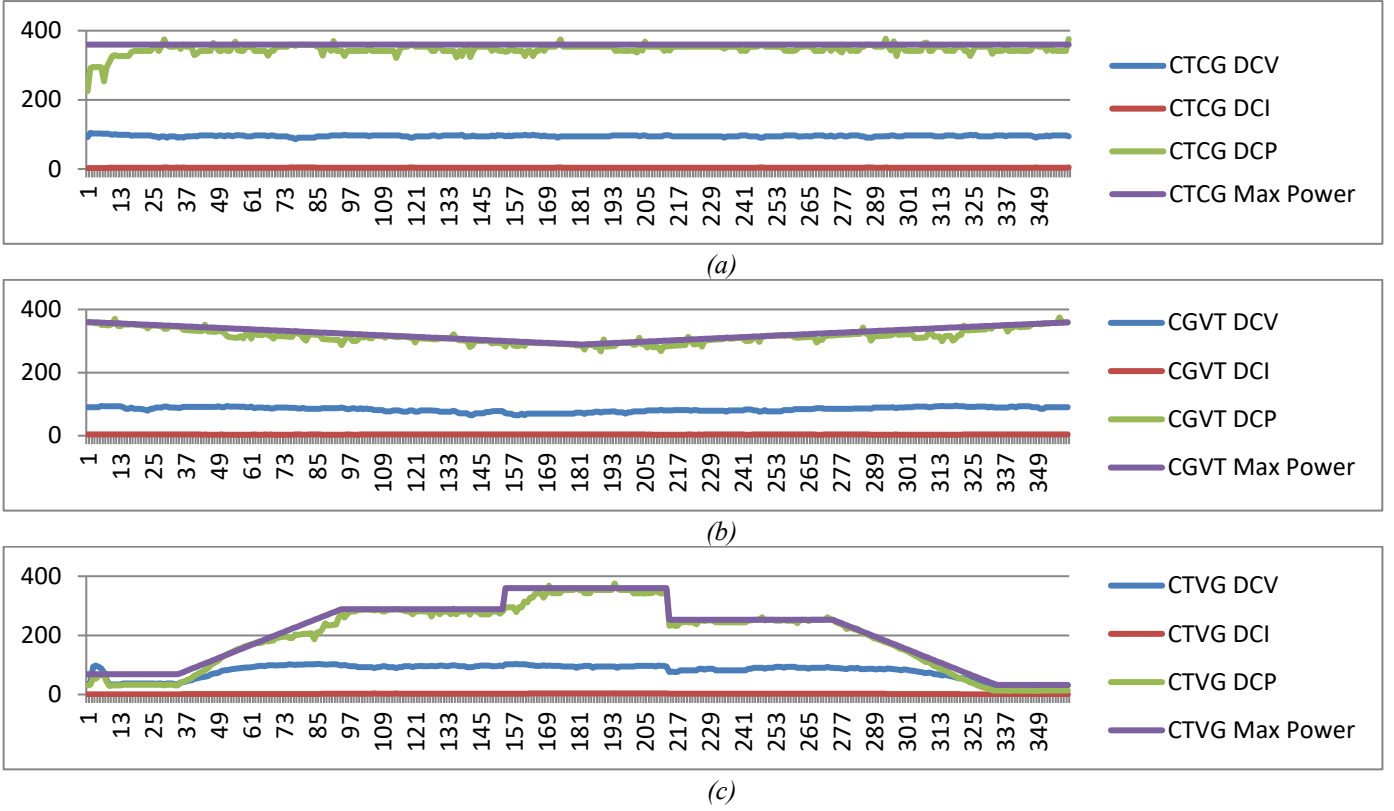
seyretmiştir. Son profilde ise sabit sıcaklık değişken güneş ışması altında IC tekniğinin davranışları incelenerek Şekil 25'te grafikleri verilmiştir.



Şekil 25 (a) Değişken güneş ışması, sabit ortam sıcaklığı profiline ait grafik, (b) seçilen profil altında panel çıkış gerilimi grafiği, (c) panelden çekilen akım, (d) panelin sağladığı güç grafiği

Son profil ile ortam sıcaklığı sabitken güneş ışımasının zamana bağlı olarak değişmesi sağlanmıştır. Bu durumda oluşan grafiğe göre güneş ışımadaki değişimin PV paneller üzerinde çok büyük bir etkiye sahip olduğu görülebilmektedir. Artımlı iletkenlik algoritması bütün ortam

profilleri üzerinde aynı şekilde davranmış ve MGN'na ulaşma konusunda çalışmış ve P&O'ya göre daha az sınımlar yapmıştır. IC tekniği ile tasarlanan MGNT algoritmasının üç farklı ortam profili altındaki elektriksel değerlerin grafiksel değişimi Şekil 26'da verilmiştir.

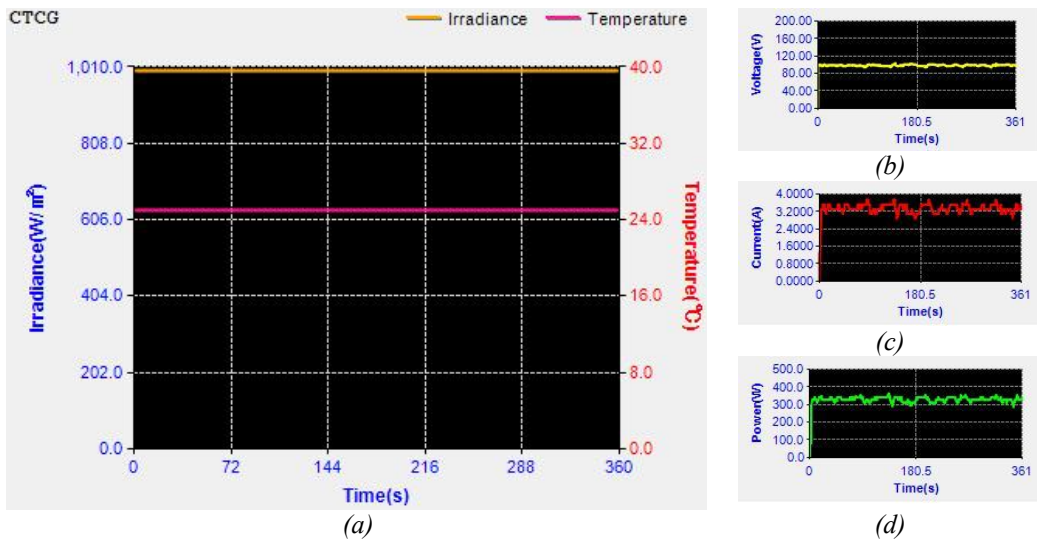


Şekil 26. IC tekniğinin üç ortam profili altındaki elektriksel veri grafikleri. (a) sabit sıcaklık (T), sabit güneş ışınması (G) altında dönüştürücünün giriş gerilim (DCV), akımı (DCI) ve çıkış gücü (DCP), (b) değişken sıcaklık (T), sabit güneş ışınması (G) altında dönüştürücünün giriş gerilim (DCV), akımı (DCI) ve çıkış gücü (DCP), (c) sabit sıcaklık (T), değişken güneş ışınması (G) altında dönüştürücünün giriş gerilim (DCV), akımı (DCI) ve çıkış gücü (DCP)

### 3.3. FLC Algoritması ve Çıktılarının Analizi

Bulanık mantık denetleyicisi tekniği ile oluşturulan MGNT algoritması için oluşturulan Simulink modeli derlenerek 32-bitlik mikro denetleyiciye yüklenmiştir. Diğer iki tekniğin çalıştırıldığı ortamlar altında bulanık mantık denetleyicisi

teknikinin analizi yapılmıştır. Birinci durumda ilk profil olan sabit sıcaklık ve sabit güneş ışınması altında denemeler yapılmış ve Şekil 27’de verilen grafikler elde edilmiştir.

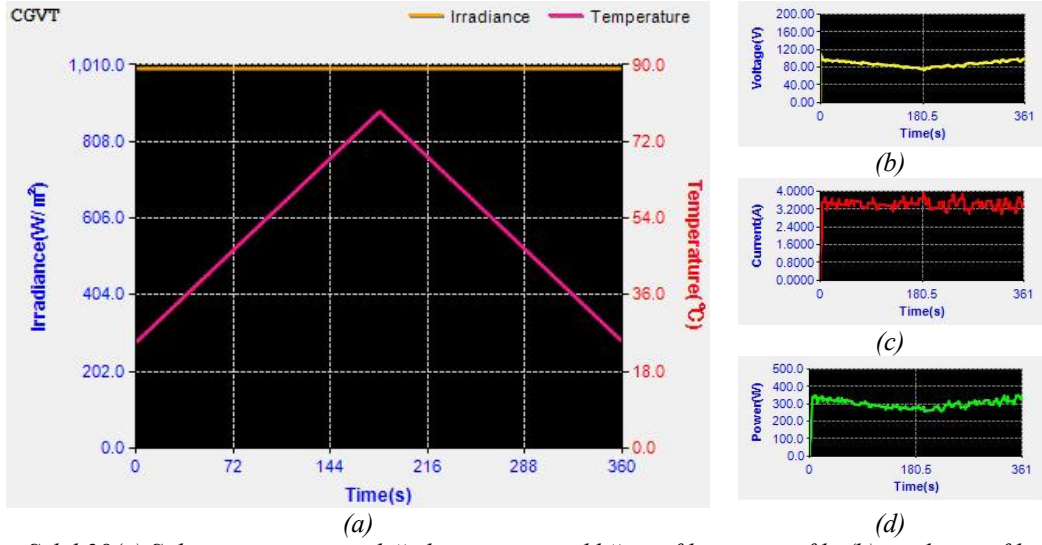


Şekil 27 (a) Sabit sıcaklık, sabit güneş ışınmasına ait profil grafiği, (b) seçilen profil altında panel çıkış gerilimi grafiği, (c) panelden çekilen akım, (d) panelin sağladığı güç grafiği



Bulanık mantık denetleyici tekniğinin diğer tekniklere göre, sabit sıcaklık ve ışımada daha fazla salınım yaptığı gözlemlenebilmektedir. Ek olarak FLC tekniğini içeren algoritmanın özellikle akım değeri üzerinde salınımlara sebep

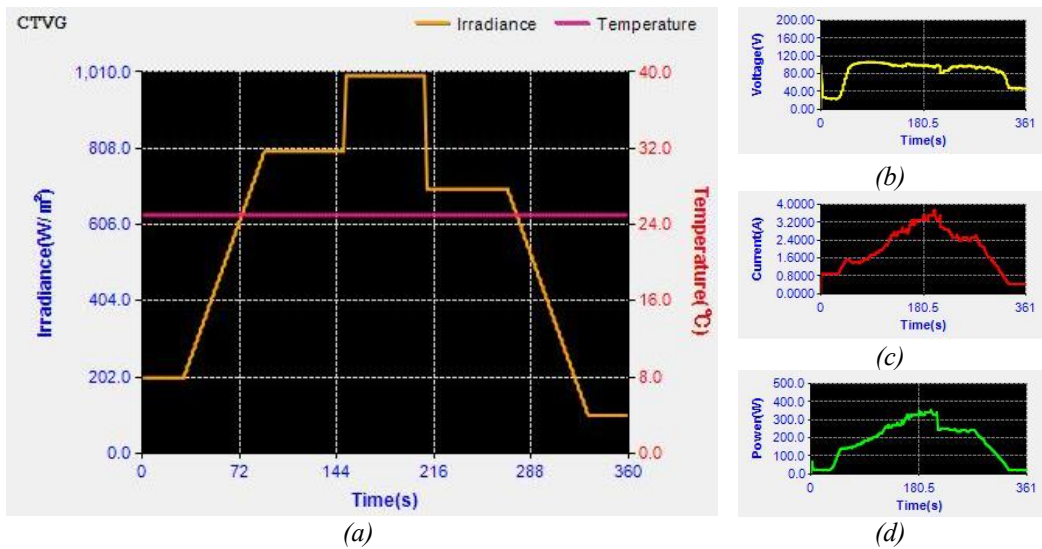
olduğunu görmek mümkündür. İkinci aşamada güneş ışımasının sabit tutularak, ortam sıcaklığının zamana göre değişmesi sağlanmıştır. Bu profil altında FLC tekniğini içeren MGNT algoritmasının incelenmesi Şekil 28'de verilmiştir.



Şekil 28(a) Sabit güneş ışması, değişken ortam sıcaklığı profiline ait grafik, (b) seçilen profil altında panel çıkış gerilimi grafiği, (c) panelden çekilen akım, (d) panelin sağladığı güç grafiği

Şekil 28'den de anlaşılacağı üzere FLC tekniğinin bir önceki ortamdaki davranışlarını tekrarladığı görülebilmektedir. Son ortam profilinde ise sabit sıcaklık, değişken güneş ışması

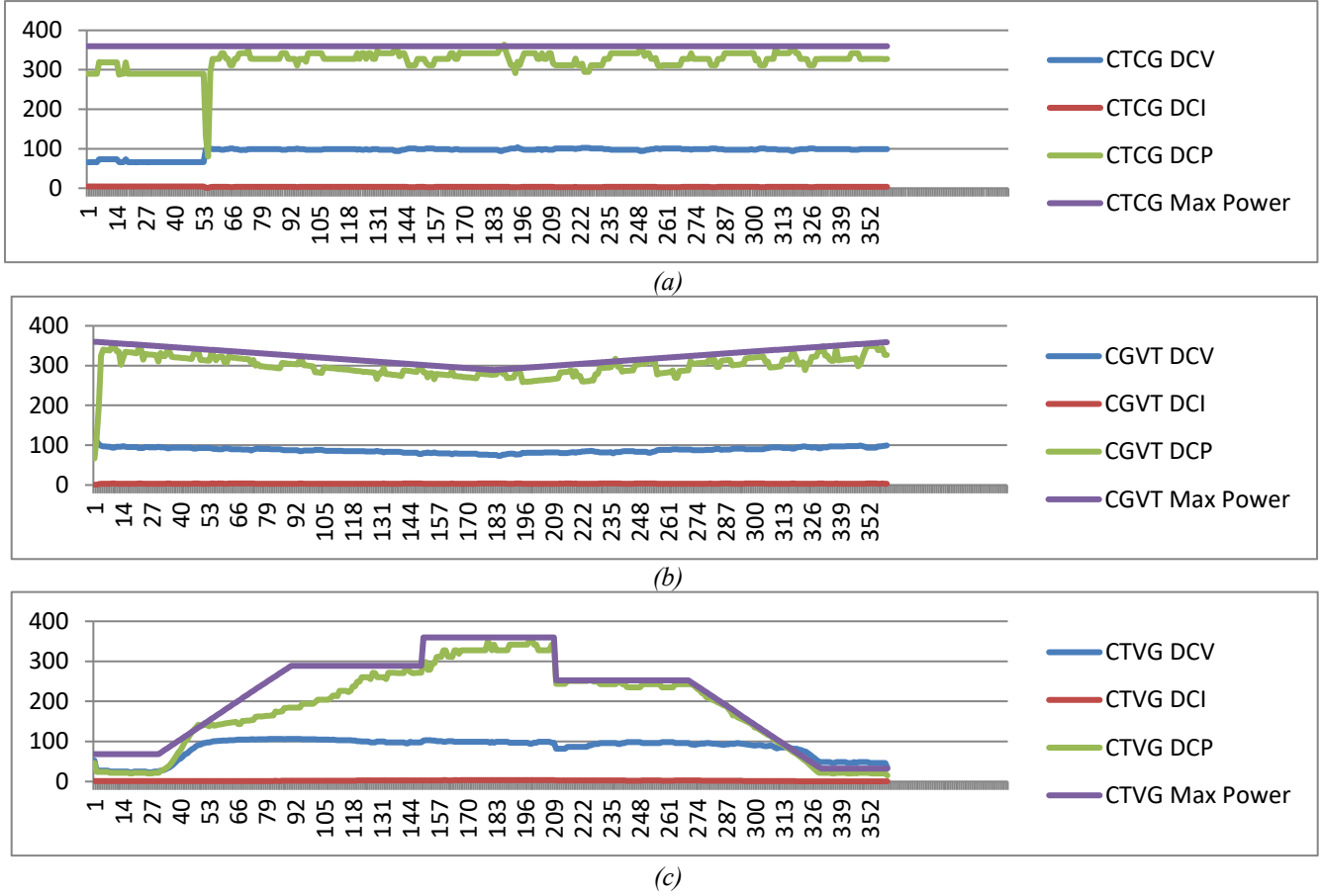
altında FLC tekniğinin davranışları incelenerek Şekil 29'da grafikleri verilmiştir.



Şekil 29 (a) Değişken güneş ışması, sabit ortam sıcaklığı profiline ait grafik, (b) seçilen profil altında panel çıkış gerilimi grafiği, (c) panelden çekilen akım, (d) panelin sağladığı güç grafiği

Şekil 29'dan görüldüğü üzere FLC tekniğinin özellikle güneş ışmasının büyük değişimlere ayak uydurmada belirgin oranda başarısız olduğunu görmek mümkündür. Bu durumun sebebi sonuçlar ve tartışma bölümünde detaylıca açıklanmıştır.

FLC tekniğini içeren MGNT algoritmasının işletimi esnasında elektriksel veriler üzerinde meydana gelen değişimlerin grafikleri Şekil 30'da verilmiştir.

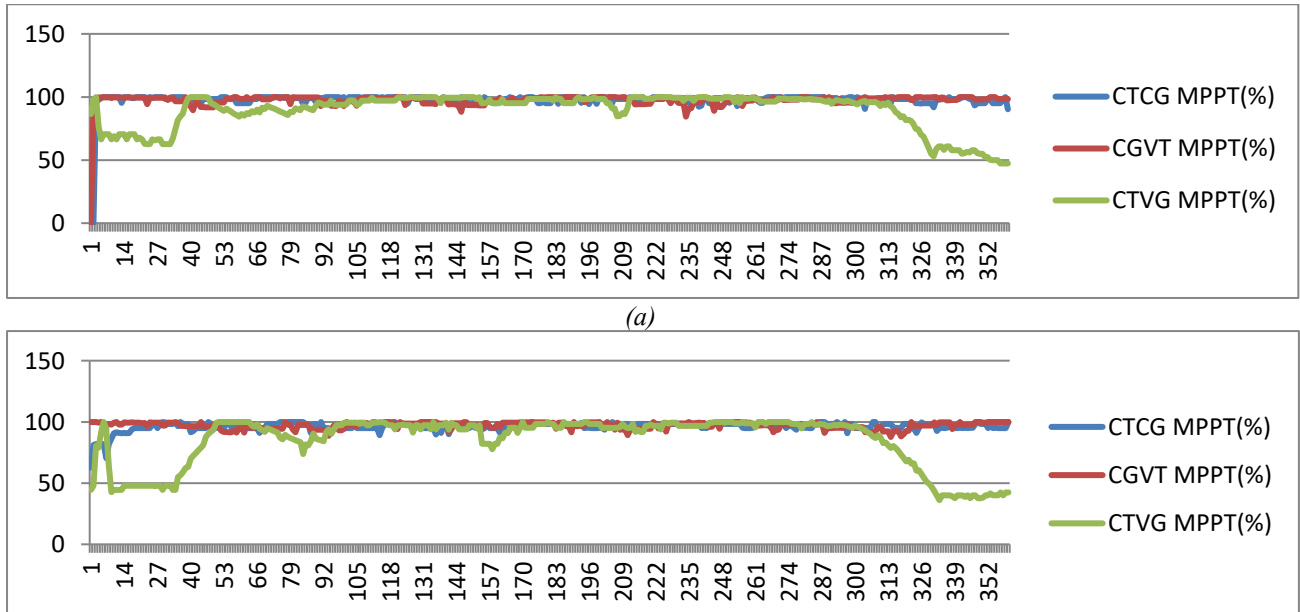


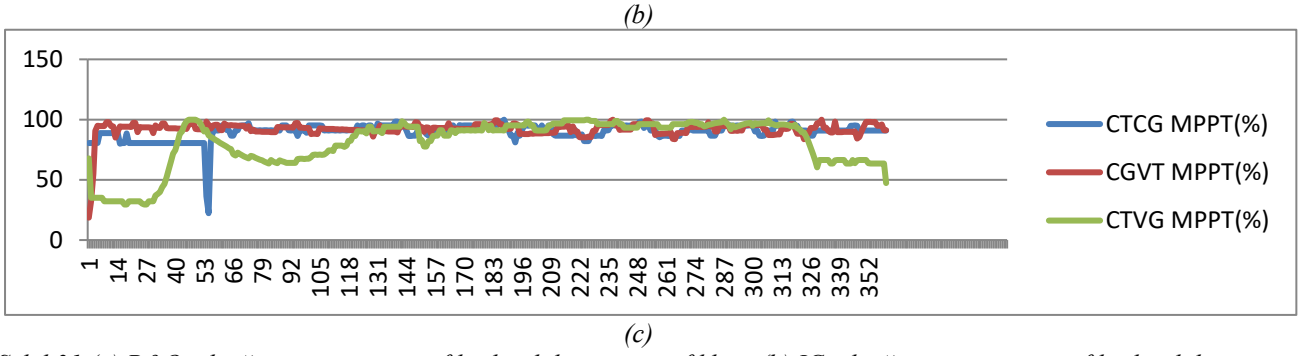
Şekil 30. FLC tekniğinin üç ortam profili altındaki elektriksel veri grafikleri. (a) sabit sıcaklık ( $T$ ), sabit güneş ışıması ( $G$ ) altında dönüştürücünün giriş gerilimi (DCV), akımı (DCI) ve çıkış gücü (DCP), (b) değişken sıcaklık ( $T$ ), sabit güneş ışıması ( $G$ ) altında dönüştürücünün giriş gerilimi (DCV), akımı (DCI) ve çıkış gücü (DCP), (c) sabit sıcaklık ( $T$ ), değişken güneş ışıması ( $G$ ) altında dönüştürücünün giriş gerilimi (DCV), akımı (DCI) ve çıkış gücü (DCP)

### 3.4. P&O, IC ve FLC algoritmalarının verim analizleri

Şekil 31'deki grafiklerden anlaşılmaktadır ki özellikle güneş ışımasının değişimi her üç MGNT tekniğini de olumsuz etkilemektedir. Genel maksimum güç noktasından yerel maksimum güç noktasına geçmesi veya tersi durumda algoritmalar yeni maksimum güç noktasını ararken güç grafiklerinin bozulduğu gözlemlenmiştir. Her yönden aynı donanımsal ve yazılımsal ortamda olmalarına rağmen verimleri

bakımından en iyi P&O, ikinci sırada IC ve son sırada FLC'nin geldiği gözlemlenebilir. Güneş simülatörü, MGNT'leri işletmesi sırasında panel akımını, gerilimini ve gücünü ölçerek MGNT verimini kendi veri tabanına kaydeder. Algoritmalar arasındaki bu sıralamaya güneş simülatörünün veri tabanından alınan verim değerlerinin çizdirilmesi ile ulaşılmıştır.





Şekil 31 (a) P&O tekniğinin üç ortam profili altındaki verim grafikleri, (b) IC tekniğinin üç ortam profili altındaki verim grafikleri, (c) FLC tekniğinin üç ortam profili altındaki verim grafikleri

#### 4. Sonuç

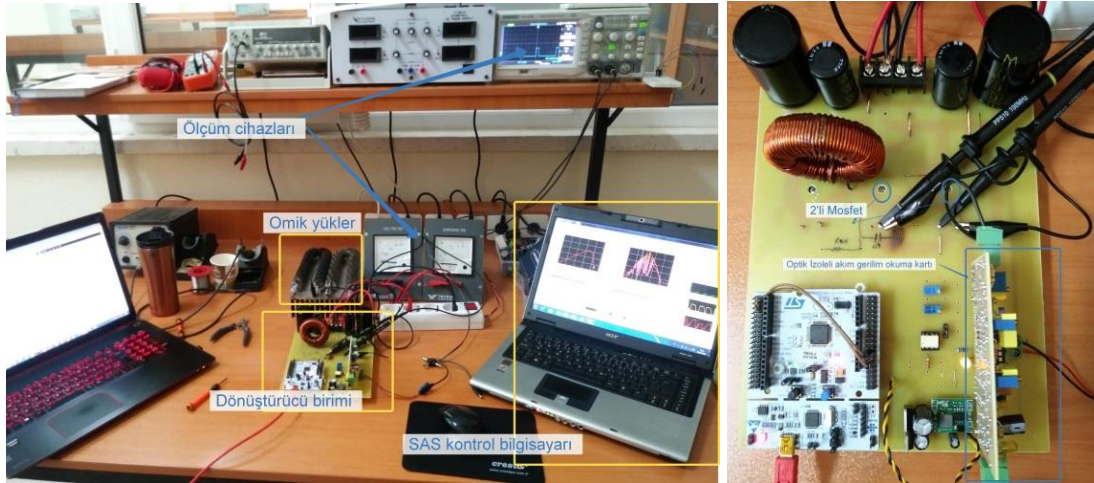
Bu çalışmada güneş ışınması ve ortam sıcaklığının kullanılması ile üç adet ortam profili oluşturulmuş ve güneş dizi simülörünün güneş paneli gibi davranması sağlanmıştır. Güneş dizi simülörünün üretmiş olduğu DA türündeki elektrik enerjisi ile DA-DA dönüştürücü üzerinden yükün beslenmesi sağlanmıştır. Ek olarak tasarlanan sistem üzerinde günümüzde popüler olan P&O, IC ve FLC tekniğini temel alan MGNT algoritmalarının uygulaması yapılarak bulgularının analizi yapılmıştır. Önerilen çalışma kapsamında oluşturulan sistem Şekil 32'de verilmiştir.

Sistemin çalışması esnasında elde edilen bulguların tartışması başlıklar halinde yapılmıştır:

- FLC algoritmasının verimini artırabilmek için dönüştürücü giriş akım ve gerilimi dışında; panel veya ortam sıcaklığı ve güneş ışınması bilgileri kullanılabilir. FLC tekniğinin çıkış gücündeki sınımların bu derece fazla olmasındaki en temel neden Şekil 8 ve 9'da verilen FLC tasarım detaylarından da anlaşılabilir. Üzerine fonksiyon üye sayısının az olmasıdır. Fonksiyon üyelerinin sayısının artırılması ile sınımların azaltılması mümkün olabilir.
- P&O, IC ve FLC tekniklerini içeren MGNT algoritmaları MGN'na ulaştıklarında bu noktada kalabilmek için yaptıkları denemeler sonucunda sınımlar meydana gelmektedir. Bu sınımlar, MGNT tekniklerinin tasarımı sırasında sabit adım yerine değişken adım kullanılması veya FLC tekniği için üye fonksiyonlarının sayısını artırarak azaltılabilir.
- Tekniklerin tasarımlarında kullanılan değişken adım yöntemi aynı zamanda algoritmaya,

sistemlerin maksimum güç noktasına daha hızlı ulaşmasında da yardımcı olur.

- MGNT algoritmalarının verimlerin artırılması ve MGN'ndaki sınımlar, tasarım esnasında kullanılan akım-gerilim sensörleri ve okuma devrelerinin üzerinde yapılacak geliştirmeler ile azaltılabilir.
- Yükselten dönüştürücü yapısındaki bobin üzerinde anahtarlama sırasında vuruntular oluşur. Bu vuruntular akım ve gerilim değerleri üzerinde zıplamalara sebep olur.
- Tasarlanan DA-DA dönüştürücülerin izolesiz olması bu dönüştürücülerin kontrol edilmesi esnasında ciddi problemler çıkarabilmektedir. İzolesiz yapılarda ortak şase oluşur, bu durum okunan akım ve gerilim değerinde hatalara dolayısıyla MGNT algoritmalarının yanlış işlemesine sebep olur.
- Ek olarak izolesiz yapılar, sistemi kontrol eden mikro denetleyicinin çalışma esnasında tıkanmasına, reset atmasına ve aşırı gerilim yüzünden bozulmasına sebep olabilir.
- Tasarım esnasında güç katının diğer bileşenlerden optik olarak izole edilmesi ile bu durumlardan sakınılmıştır.
- Öneri olarak, izolesiz DA-DA dönüştürücü yerine yüksek frekanslı transformatör kullanılan Fly-Back Boost veya Forward Boost dönüştürücü yapılarına yer verilmesi ile izolasyon sağlanabilir bunun sonucunda da kontrol kolaylığı sağlanabilir.
- DA-DA dönüştürücü çıkışındaki omik yük yerine endüktif yapıdaki DA yükleri de (DA motorları) bağlanabilir ve incelemeler yapılabilir.



Şekil 32. Çalışma kapsamında tasarım ve uygulaması yapılan çalışmaya ait detaylar

## Kaynakça

- Ali, M. N., Mahmoud, K., Lehtonen, M., & Darwish, M. M. (2021). An efficient fuzzy-logic based variable-step incremental conductance MPPT method for grid-connected PV systems. *Ieee Access*, 9, 26420-26430.
- Abouelela, M. (2020). Power Electronics for practical implementation of PV MPPT. In *Modern Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Energy Systems* (pp. 65-105). Springer, Cham.
- AKBOY, E. Modelling and Control of A High Power Factor Grid Connected PV Sytem Under Varying Irraditions. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 794-802.
- Alsumiri, M. (2019). Residual incremental conductance based nonparametric MPPT control for solar photovoltaic energy conversion system. *IEEE Access*, 7, 87901-87906.
- Ammar, H. H., Azar, A. T., Shalaby, R., & Mahmoud, M. I. (2019). Metaheuristic optimization of fractional order incremental conductance (FO-INC) maximum power point tracking (MPPT). *Complexity*, 2019.
- Belkaid, A., Colak, I., & Kayisli, K. (2017). Implementation of a modified P&O-MPPT algorithm adapted for varying solar radiation conditions. *Electrical Engineering*, 99(3), 839-846.
- Bhattacharyya, S., Samanta, S., & Mishra, S. (2020). Steady Output and Fast Tracking MPPT (SOFT-MPPT) for P&O and InC Algorithms. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 12(1), 293-302.
- da Rocha, N. M. M., Brighenti, L. L., Passos, J. C., & Martins, D. C. (2019). Photovoltaic Cell Cooling as a Facilitator for MPPT. *IEEE Latin America Transactions*, 17(10), 1569-1577.
- Gökkuş, G., (2020). Meteorolojik Verileri Kullanan Mppt Kontrollü Rüzgar-Güneş Hibrit Enerji Sistemi Tasarımı Ve Uygulaması, (Doktora Tezi). Konya Teknik Üniversitesi, Konya.
- Gouabi, H., Hazzab, A., Habbab, M., Rezkallah, M., & Chandra, A. (2021). Experimental implementation of a novel scheduling algorithm for adaptive and modified P&O MPPT controller using fuzzy logic for WECS. *International Journal of Adaptive Control and Signal Processing*.
- Harrag, A., & Messalti, S. (2018). How fuzzy logic can improve PEM fuel cell MPPT performances?. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(1), 537-550.
- Iftikhar, R., Ahmad, I., Arsalan, M., Naz, N., Ali, N., & Armghan, H. (2018). MPPT for photovoltaic system using nonlinear controller. *International Journal of Photoenergy*, 2018.
- Ilyas, A., Ayyub, M., Khan, M. R., Jain, A., & Husain, M. A. (2018). Realisation of incremental conductance the MPPT algorithm for a solar photovoltaic system. *International Journal of Ambient Energy*, 39(8), 873-884.
- Kandemir, E., Borekci, S., & Cetin, N. S. (2018). Comparative Analysis of Reduced-Rule Compressed Fuzzy Logic Control and Incremental Conductance MPPT Methods. *Journal of Electronic Materials*, 47(8).
- Kulaksiz, A. A., ALHAJOMAR, F., & GOKKUS, G. (2019). Rapid Control Prototyping based on 32-Bit ARM Cortex-M3 Microcontroller for Photovoltaic MPPT Algorithms. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 9(4), 1938-1947.
- Kwan, T. H., & Wu, X. (2017). High performance P&O based lock-on mechanism MPPT algorithm with smooth tracking. *Solar Energy*, 155, 816-828.
- Li, S. (2019). A variable-weather-parameter MPPT control strategy based on MPPT constraint conditions of PV system with inverter. *Energy Conversion and Management*, 197, 111873.
- Liu, L., Huang, C., Mu, J., Cheng, J., & Zhu, Z. (2019). A P&O MPPT with a novel analog power-detector for WSNs applications. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 67(10), 1680-1684.
- Mousa, H. H., Youssef, A. R., & Mohamed, E. E. (2020). Hybrid and adaptive sectors P&O MPPT algorithm based wind generation system. *Renewable Energy*, 145, 1412-1429.
- Necaibia, S., Kelaiaia, M. S., Labar, H., & Necaibia, A. (2017). Implementation of an improved incremental conductance MPPT control based boost converter in photovoltaic applications. *International Journal of Emerging Electric Power Systems*, 18(4).

- Ochab, P., Kokoszka, W., Kogut, J., Skrzypczak, I., Szyszka, J., & Starakiewicz, A. (2017, December). Passive Residential Houses with the Accumulation Properties of Ground as a Heat Storage Medium. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 95, No. 4, p. 042017). IOP Publishing.
- Omar, F. A., Gökkuş, G., & Kulaksız, A. A. (2019). Şebekeden Bağımsız FV Sisteminde Maksimum Güç Noktası Takip Algoritmalarının Değişken Hava Şartları Altında Karşılaştırmalı Analizi. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(3), 585-594.
- Ram, J. P., Rajasekar, N., & Miyatake, M. (2017). Design and overview of maximum power point tracking techniques in wind and solar photovoltaic systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 1138-1159.
- Rezk, H., Aly, M., Al-Dhaifallah, M., & Shoyama, M. (2019). Design and hardware implementation of new adaptive fuzzy logic-based MPPT control method for photovoltaic applications. *Ieee Access*, 7, 106427-106438.
- Robles Algarín, C., Taborda Giraldo, J., & Rodriguez Alvarez, O. (2017). Fuzzy logic based MPPT controller for a PV system. *Energies*, 10(12), 2036.
- Sahoo, J., Samanta, S., & Bhattacharyya, S. (2020). Adaptive PID controller with P&O MPPT algorithm for photovoltaic system. *IETE Journal of Research*, 66(4), 442-453.
- Sener, E., Turk, I., Yazar, I., & Karakoç, T. H. (2019). Solar powered UAV model on MATLAB/Simulink using incremental conductance MPPT technique. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*.
- Shengqing, L., Fujun, L., Jian, Z., Wen, C., & Donghui, Z. (2020). An improved MPPT control strategy based on incremental conductance method. *Soft Computing*, 24(8), 6039-6046.
- Shang, L., Guo, H., & Zhu, W. (2020). An improved MPPT control strategy based on incremental conductance algorithm. *Protection and Control of Modern Power Systems*, 5(1), 1-8.
- Sundararaj, V., Anoop, V., Dixit, P., Arjaria, A., Chourasia, U., Bhambri, P., ... & Sundararaj, R. (2020). CCGPA-MPPT: Cauchy preferential crossover-based global pollination algorithm for MPPT in photovoltaic system. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 28(11), 1128-1145.
- Talbi, B., Krim, F., Rekioua, T., Laib, A., & Feroura, H. (2017). Design and hardware validation of modified P&O algorithm by fuzzy logic approach based on model predictive control for MPPT of PV systems. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 9(4), 043503.
- Tawanna, N., Takkabutr, F., Kesutha, A., & Wongsathan, R. (2020). MAXIMIZING EFFICIENCY OF A PHOTOVOLTAIC WATER PUMPING SYSTEM USING THE MPPTBASED FUZZY LOGIC CONTROLLER. *Suranaree Journal of Science & Technology*, 27(4).
- Tang, S., Sun, Y., Chen, Y., Zhao, Y., Yang, Y., & Szeto, W. (2017). An enhanced MPPT method combining fractional-order and fuzzy logic control. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 7(2), 640-650.
- Verma, P., Garg, R., & Mahajan, P. (2020). Asymmetrical interval type-2 fuzzy logic control based MPPT tuning for PV system under partial shading condition. *ISA transactions*, 100, 251-263.
- Wellawatta, T. R., Seo, Y. T., Lee, H. H., & Choi, S. J. (2017, October). A regulated incremental conductance (r-INC) MPPT algorithm for photovoltaic system. In 2017 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE) (pp. 2305-2309). IEEE.
- YARIKKAYA, S., & Vardar, K. (2020). Rapid Prototype Development of Single Phase Grid Connected PV Inverter Using Stm32f4 and Matlab. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 213-223.
- Yiğit, S., & YAĞCI, M. (2020). Modelling of Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic Module Using Incremental Conductance Method. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1-5.
- Yin, L., Yu, S., Zhang, X., & Tang, Y. (2017). Simple adaptive incremental conductance MPPT algorithm using improved control model. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 9(6), 065501.



# Normalizasyon Yöntemlerinin Biyomedikal Verilerde Sınıflandırma Performansına Etkisi

Hakan Yüce<sup>1\*</sup>, Ali Osman Özkan<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3275-1944), [hakanyuce91@gmail.com](mailto:hakanyuce91@gmail.com)

<sup>2</sup> Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2226-9786), [alozkan@erbakan.edu.tr](mailto:alozkan@erbakan.edu.tr)

(2nd International Conference on Computer, Electrical and Electronic Sciences ICCEES 2021, September 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1011723)

**ATIF/REFERENCE:** Yüce, H., Özkan, A. O. (2021). Normalizasyon Yöntemlerinin Biyomedikal Verilerde Sınıflandırma Performansına Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (30), 35-43.

## Öz

Günümüzde tıpta hastalıklara ait veri miktarı giderek artmakta ve bu verilerden hastalığın sınıfı hakkında tahminler yapılmaktadır. Bu tahminlere olumlu sonuç sağlayabilecek teknikler üzerinde çalışmalar artmaktadır. Bu tahminleri yapacak olan sınıflandırma algoritmaları bu tekniklerle daha doğru sınıflandırma performansı gösterebilmektedir. Bu çalışmada karaciğer ve kalp hastalığı veri setleri minimum maksimum, ondalık ölçekleme, z-skor ve norm normalizasyon yöntemleriyle normalize edilmiştir. Daha sonra bu normalize edilmiş ve ham verilere, 4 farklı k-kat çapraz değerlendirmede (2,5,10,20) yapay sinir ağları, karar ağacı, destek vektör makinesi, k-NN ve Naive Bayes gibi çeşitli sınıflandırma algoritmalarıyla ORANGE programı kullanılarak sınıflandırma işlemine tabi tutulmuştur. Verilerin sınıflama doğrulukları değerlendirilmiş ve normalizasyon yöntemlerinin sınıflandırma performansını artırdığı gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Normalizasyon yöntemleri, Sınıflama algoritmaları, ORANGE programı, Sınıflama doğruluğu, k-kat çaprazlama

## Effect of Normalization Techniques on Classification Success in Biomedical Data

### Abstract

Nowadays, the amount of data about diseases in medicine is increasing and predictions about the class of the disease are made from these data. Studies on techniques that can provide positive results to these predictions are increasing and being used. Classification algorithms that will make these predictions can show more accurate classification performance with these techniques. In this study, liver and heart disease data sets were normalized using minimum maximum, decimal scaling, z-score and norm normalization methods. Then, these normalized and raw data are classified using the ORANGE program with various classification algorithms such as artificial neural networks, decision tree, support vector machine, k-NN and Naive Bayes in 4 different k-fold cross validation (2,5,10,20) has been processed. The classification accuracies of the data were evaluated and were observed that normalization methods increased the classification performance.

**Keywords:** Normalization method, Classification algorithms, ORANGE program, Classification accuracy, k-fold cross validation

\* Sorumlu Yazar: [hakanyuce91@gmail.com](mailto:hakanyuce91@gmail.com)

## 1. Giriş

Normalizasyon sıklıkla kullanılan veri ölçekleme ve haritalama tekniğidir. Verilerin özelliklerini normalleştirme, önceden karar verilen aralıklardaki tüm özelliklerin değerlerini sınırlamak için yararlı bir adımdır. Veri seti içinde birçok özellik var olabilir ve bu özelliklerin boyutları farklı olabilir. Boyutu büyük olan değer sınıflandırma işleminde daha büyük ağırlığa neden olabilir ve sınıflama doğruluğunu o ekseninde kaydırabilir. Fakat doğruluk ağırlığı küçük olan bir değer tarafında da olabilir. Bu nedenle veri içindeki her özellik yaklaşık olarak eşit aralığa ve aynı etkiye sahip olmalıdır. Ayrıca veri setinin özellik çıkarımından sonra oluşturulan yeni veri setinin boyutu fazla olabilir. Veri setinde ilgisiz, fazla ve gürültülü özellikler olabilir. Bu özellikler sınıflama performansını azaltabilir, sınıflandırıcının hesaplama maliyetini artırabilir ve sonuçların kalitesini düşürebilir. Ayrıca ölçekleme işlemi girdi veriye uygulanabildiği gibi çıktı veriye de uygulanabilir. Çünkü bir işlemin çıktı verisi başka verinin girdi verisi olabilir (Shalabi ve ark., 2006; Singh ve ark., 2015; Atomi, 2012; Polat, 2008; Yavuz ve Deveci, 2012; Muthuselvan ve ark., 2018; Akdemir, 2009).

Bu çalışmada, minimum maksimum, ondalık ölçekleme, z-skor ve norm normalizasyon yöntemleri kullanılmıştır ve normalizasyon işlemi sonrasında sınıflandırma işleminde destek vektör makinesi (DVM), yapay sinir ağları (YSA), karar ağaçları (KA), k-en yakın komşu algoritması (k-NN) ve Naive Bayes (NB) gibi sınıflandırma yöntemleri uygulanmıştır (Yüce, 2021).

Yapılan çalışmada karaciğer hastalığı ve kalp hastalığı için 50 sağlıklı, 50 hasta bireyin verileri kullanılmış olup veri setleri UCI internet sitesinden alınmıştır. Karaciğer vücudumuzdaki üçgen şeklindeki en büyük organdır. Vücuttaki glikoz, yağ, vitamin, hormon v.s birçok kimyasalın dengelenmesinde görevlidir. Kalp ise iki fonksiyona sahip kaslı bir pompadır. Birincisi; vücudun dokularından kanı toplayarak akciğerlere iletmek ikincisi ise akciğerlerden alıp vücudun bütün dokularına iletmektir. Karaciğer ve kalp hastalıklarının erken teşhisinde hastanın hayatta kalma olasılığı artmaktadır. Verilerin sınıflandırma işlemi ORANGE programı kullanılarak yapılmış ve (2,5,10,20) k-kat çaprazlamada sınıflama doğruluğu kriteri baz alınarak değerlendirilmiştir (Yüce, 2021).

## 2. Materyal ve Metot

Yapılan bu çalışmada; karaciğer ve kalp hastalığı verilerine DVM, YSA, KA, k-NN ve NB sınıflandırma yöntemlerinde 4 farklı (2,5,10,20) k-kat çaprazlamada minimum maksimum, ondalık ölçekleme, z-skor ve norm normalizasyon yöntemleri uygulanmıştır. Normalizasyon yöntemi sonrasında ORANGE programı kullanılarak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar ham veri setlerinin sınıflandırma performansı ile karşılaştırılmıştır (Yüce,2021).

### 2.1. Normalizasyon Yöntemleri

Normalizasyon,  $x$  veri boyutuna sahip bir veri setini bir uzaydan alıp başka bir uzaya taşıma işlemidir. Bu taşımada yeni maksimum ve minimum noktaları oluşur ancak veri setinin  $x$  boyutunda herhangi bir değişiklik meydana gelmez. Burada ham verinin aksine normalize edilmiş veri sayesinde sınıflandırıcının kararlılığı artabilecektir. Fakat şunu bilmeliyiz ki her veri seti için normalizasyon gerekmez. Özellikler farklı aralıklara sahip olduğu zaman gerekir (Akdemir,2009).

Şimdi sırayla çalışmada kullanılan bu normalizasyon yöntemlerini inceleyelim.

#### 2.1.1. Minimum Maksimum Normalizasyon Yöntemi

Bu normalizasyon yöntemi genellikle mühendislik problemlerinde kullanılan en yaygın yöntem olup veri setini lineer bir şekilde yeni bir aralığa sıkıştırır. Sıkıştırma işlemi sonrasında veriler arasındaki ilişki korunur (Akdemir, 2009; Adeyemo ve Wimmer, 2018).

Lineer dönüşümü aşağıdaki gibi ifade edebiliriz.

$$x' = \frac{(x_i - x_{\min})}{(x_{\max} - x_{\min})}$$

Bu eşitlikte;

$x'$  = Normalize edilmiş değer

$x_i$  = Normalize edilecek değer

$x_{\min}$  = Veri setindeki en küçük değer

$x_{\max}$  = Veri setindeki en büyük değer

Normalizasyon işlemi sonrasında şayet eksi işaretli bir özellik olsa bile artık pozitif işaretli olacaktır. Ayrıca unutulmamalıdır ki minimum maksimum yöntemi uç noktalara iyi odaklanamaz (Akdemir,2009; www.codecademy.com/articles/normalization).

#### 2.1.2. Ondalık Ölçekleme Normalizasyon Yöntemi

Ondalık ölçekleme yöntemi minimum-maksimum yöntemi kadar yaygın kullanılmamaktadır. Bu normalizasyon yönteminde veri seti değerlerini 1'den küçük yapmak için mevcut değerleri 10 ve 10'un katı değerlere bölmek gerekir. Bu 10'un kuvveti olan değer mevcut değeri 1'den küçük yapmak için kullanılır (Akdemir, 2009).

Bu normalizasyon yöntemini aşağıdaki gibi ifade edebiliriz.

$$A' = \frac{A_i}{10^J}$$

Bu eşitlikte;

$A'$  = Normalize edilmiş veri

$A_i$  = Normalize edilecek değer

$J$  =  $A'$  değerini 1'den küçük yapan değer.

#### 2.1.3. Z-Skor Normalizasyon Yöntemi

Bu yöntem istatistiksel normalizasyon yöntemi olarak da bilinir. Veri seti içinde bazı uç değerler olabilir ve bu değerler sonuçlara daha fazla etki yapabilir. Veri seti içindeki mevcut uç verilerin diğer veriler gibi modele tahmin için eş katkı sağlaması istenir. Z-skor yöntemiyle mevcut verilerin standart sapması ve ortalaması hesaplanıp z-skor formülü kullanılarak eş katkı yapması sağlanır (www.codecademy.com/articles/normalization).

Bu normalizasyon yöntemi için aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$x' = \frac{x_i - \mu_i}{\sigma_i}$$

Bu eşitlikte;

$x_i$  = Normalize edilecek değer

$\mu_i$  = Veri setinin ortalama değeri

$\sigma$  = Verideki standart sapma

Standart sapmanın hesaplaması için aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

Bu eşitlikte;

$N$  = Dizinin eleman sayısı

$x_i$  = Dizinin i. elemanı

$\bar{x}$  = Dizinin elemanlarının aritmetik ortalaması

#### 2.1.4. Norm Normalizasyon Yöntemi

Herhangi bir vektörün normu ya da uzunluğu Öklid mesafesine eşittir. Norm ya da vektör normalizasyonun da aşağıdaki eşitlikte görüldüğü gibi ilk olarak özelliğın tüm değişkenlerinin kareleri alınıp toplanır ve sonra sonucun kare kökü alınarak norm değeri hesaplanır. Sonrasında her bir değişken norm değerine bölünerek yeni normalize değeri bulunur (Gautam ve ark., 2015). Norm hesabını aşağıdaki gibi ifade edebiliriz (Eesa ve Arabo, 2017).

$$|x| = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + \dots + x_i^2}$$

Burada;

$|x|$  = Normalize edilecek verilerin normu

Norm normalizasyon için aşağıdaki eşitliği kullanabiliriz.

$$x_i = \frac{x_i}{|x|}$$

Bu eşitlikte;

$x$  = Normalize edilmiş veri

$x_i$  = Normalize edilecek değer

## 2.2. Sınıflama Yöntemleri

Literatürde birçok sınıflandırma yöntemi kullanılmasına rağmen bu çalışmada YSA, DVM, NB, k-NN ve KA gibi sınıflandırma yöntemleri kullanılarak 4 farklı (2,5,10,20) k-kat çaprazlamada sınıflama işlemine tabi tutulmuştur. Şimdi sırasıyla bu sınıflama algoritmalarını inceleyelim.

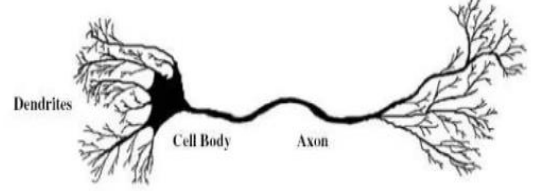
### 2.2.1. Destek Vektör Metodu (DVM)

DVM istatistiksel öğrenme teorisini temel alan parametrik olmayan öğrenim yöntemlerinden biridir. İlk olarak Vapnik tarafından 1992 yılında kullanılmıştır. Bu yöntemin çalışması, iki sınıfı birbirinden ayıran en uygun karar verme fonksiyonunun tanımlanması olarak ifade edilir. Yani, en uygun hiper düzlemin tanımlanması şeklindedir (Kavzoğlu ve Çölkesen, 2010; Mohamed, 2017).

### 2.2.2. Yapay Sinir Ağları (YSA)

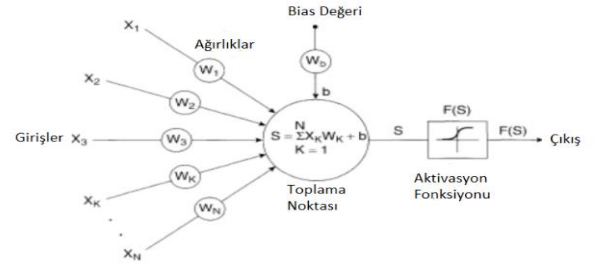
YSA sorunlara çözüm bulmak amacıyla insan beyninin gerçekleştirebileceği birçok özellik kullanılarak geliştirilmiş bilgisayar yazılımlarıdır. Bildiğimiz gibi insan beyni bilgiyi alır, yorumlar ve bu değerlendirmeyi sonuçlanır. Buradaki amaç beynimizi matematiksel olarak modellenmesidir. Bu modelleme düşüncesi makineler insan gibi düşünebilir mi fikrini ortaya atan

İngiliz matematikçi ve bilgisayar bilimci olan Alan Mathison Turing tarafından bulunmuştur (Yazıcı, 2007; <https://kod5.org/yapay-sinir-aglari-ysa-nedir/>). Şekil 1.'de insan sinir ağı genel görünümü gösterilmektedir. YSA sınıflandırma algoritması da insan sinir ağı modeline benzetilmiş ve burada *dendrites* toplama fonksiyonunu, *cell body* aktivasyon fonksiyonunu ve *axon* ise çıkış elemanını ifade etmektedir (<https://kod5.org/yapay-sinir-aglari-ysa-nedir/ysa-nedir/>).



Şekil 1. İnsan sinir ağı genel görünümü ([https://kod5.org/internet sayfasından alınmıştır](https://kod5.org/internet-sayfasından-alınmıştır))

Şekil 2.'de, Şekil 1.'de görülen insan sinir ağı modelinin YSA algoritmasında modellenmesi gösterilmiştir. YSA çarpma, toplama ve aktivasyon olmak üzere üç temel işleme sahiptir. Her giriş bir ağırlıkla çarpılır ve sonra bir *bias* değeri ile toplanır. Elde edilen sonuç çeşitli aktivasyon fonksiyonlarından geçirilerek çıkış olarak iletilir (Mohamed, 2017).



Şekil 2. YSA modeli ([www.iitmandi.ac.in](http://www.iitmandi.ac.in) internet sayfasından alınmıştır)

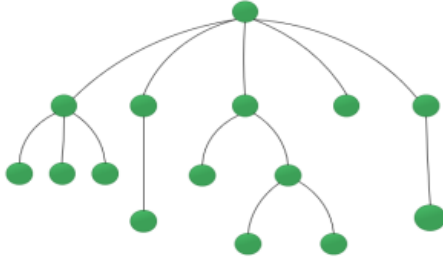
### 2.2.3. Karar Ağacı (KA)

Bir KA, birçok özelliğe sahip olan bir veri kümesini, bir dizi karar kuralları uygulayarak daha düşük birimlere ayırmak için kullanılır. Bir KA kök, iç ve yaprak düğümler ile temsil edilmektedir. Her iç düğümün öznitelik üzerinde bir test koşuluna sahiptir. Buna bağlı olarak her bir dalın test koşulunun sonucunu temsil eden bir yaprağı vardır ve her yaprak düğümünün bir sınıf etiketi ile atandığı ağaç yapısı gibi bir akış şemasıdır. İlk düğüm kök düğümü olarak ifade edilmektedir (Jadhav ve Channe, 2013).

Şekil 3.'te KA sınıflandırma algoritmasını tanımlamak için bir örnek yapı gösterilmiştir. KA sınıflandırma algoritması tek bir düğümlerle başlar ve bir dizi sorular sorarak belirli noktalara dallanarak ulaşır. Şekil 3.'de görüldüğü gibi her daire bir karar noktasını ifade etmekte olup karar sonrası yeni dallanmalar oluşmaktadır. Oluşan dallanmalardan yeni karar noktaları oluşabilir veya sonlanabilir

(<https://medium.com/@ekrem.hatipoglu/machine-learning-prediction-algorithms-decision-tree-random-forest-part-5-2970905c021e>).





Şekil 3. Karar ağacı yapı modeli

KA kolay yorumlanabilir ve anlaşılabilir özelliklerine sahip olmakla beraber düşük maliyetli ve güvenilir bir yöntemdir. Fakat KA veriyi iyi şekilde açıklamayan çok karmaşık ağaçlar ortaya çıkarabilir. Hatta bazen ezbere öğrenme bile yapabilir (Çalış ve ark., 2014; <https://medium.com/@k.ulgen90/makine%C3%B6%C4%9FFre-nimib%C3%B61%C3%BCm-5-karar-a%C4%F9a%C3%A7lar%C4%B1-c90bd7593010>).

#### 2.2.4. k-En Yakın Komşu Algoritması

k-NN sınıflandırma yöntemi denetimli öğrenme yöntemlerinden birisidir. Bu yöntemde sınıflandırılması yapılacak verilerin, normal verilere göre davranışları incelenerek en yakın olduğu düşünülen k adet veri bulunur. Bu k adet verinin ortalaması alınır ve bu eşiğe göre sınıflandırma işlemi gerçekleştirilir. k-NN, verilerin dağılımı hakkında çok az ya da önceden hiç bilgi olmadığı zaman temel ve en basit sınıflandırma tekniğinden biridir. Bundan dolayı yöntemde önemli olan verilerin özelliklerinin net olmasıdır (Çalışkan ve Soğukpınar, 2008; Bolandraftar ve Imandoust, 2013).

k-NN sınıflandırma yönteminde uzaklık hesaplanırken genelde 3 yöntemden faydalanılır. Bunlar; Öklid, Minkowski ve Manhattan uzaklığıdır. Öklid uzaklığı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$d(a, b) = \sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - y_i)^2}$$

Manhattan uzaklığı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$d(a, b) = \sum_{i=1}^k |x_i - y_i|$$

Minkowski uzaklığı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$d(a, b) = \left( \sum_{i=1}^k (|x_i - y_i|)^q \right)^{1/q}$$

k-NN sınıflandırma yönteminde k bilinmeyen noktanın en yakın komşularını temsil etmekte olup; k=1 olduğu zaman en basit halidir ve her bir örnek onu çevreleyen örneklere benzer olarak sınıflandırma işlemine tutulacaktır. Bir örneğin sınıfı bilinmiyorsa sınıflandırma işlemi ona en yakın örneğin sınıfına göre olacak demektir (Bolandraftar ve Imandoust, 2013).

#### 2.2.5. Naive Bayes (NB)

NB sınıflandırma yöntemi ismini matematikçi Thomas Bayes'den almıştır. Bu algoritma olasılık işlemleri kullanarak bir dizi hesaplama yapar ve sisteme girilen verilerin sınıfını belirlemeye çalışır. Her verinin sınıflandırmaya katkı sağladığı ve karşılıklı ilişkili olduğu varsayılır. Sınıflandırma işleminin temeli Bayes teoremine dayanır ve genellikle veri boyutu büyük olduğu zaman tercih edilir (Jadhav ve Channe, 2013; [https://en.wikipedia.org/wiki/Orange\\_\(software\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Orange_(software))). Bayes teoremi için kullanılan eşitlik aşağıdaki gibidir.

$$P(A/B) = \frac{P(B/A)P(A)}{P(B)}$$

Bu eşitlikte;

P(A): A olayının gerçekleşme durumu

P(B): B olayının gerçekleşme durumu

P(A\B): B olayının olması durumunda A olayının gerçekleşme durumu

Sınıflandırma işleminde sistem belirli miktarda sınıfı olan öğretilmiş veri ile beslenir. Öğretilmiş veriler üzerinde olasılık hesabı yapılarak sisteme sunulan belirli bir sınıfa ait olan veriler üzerinde sınıflandırma yapılmaya çalışılır. Bilinmelidir ki öğretilmiş veri sayısı arttıkça test verilerinin sınıflandırma doğruluğu daha da yüksek olacaktır ([https://en.wikipedia.org/wiki/Orange\\_\(software\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Orange_(software))).

### 2.3. Sınıflama Doğruluğu

Bir sınıflandırma işleminde yapılan gerçek ve tahmin edilmiş olan sınıflamalar hakkındaki bilgiye karışıklık matrisi vasıtasıyla ulaşabiliriz. Bu matris mxm boyutunda olup satırlar; doğru karar sınıflarına, sütunlar ise; sınıflandırıcı tarafından alınan kararlara karşılık gelir (Akdemir, 2009). Tablo 1'de karışıklık matrisi gösterilmiştir.

Tablo 1. Karışıklık matrisi

Gerçek	Tahmin Edilen	
	Negatif	Pozitif
Negatif	TN	FN
Pozitif	FP	TP

Sınıflama doğruluğu için aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$\text{Sınıflama Doğruluğu (\%)} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FN + FP} * 100$$

### 2.4. Orange Programı

ORANGE programı; açık kaynak kodlu bir program olup veri görselleştirme, makine öğrenimi ve veri madenciliği için sıklıkla kullanılmaktadır. Bu programın en önemli özelliği veri analizi için iş akışlarını çeşitli görsel araç kutucukları ile oluşturarak işleyişi kolaylaştırmaktır. Ayrıca ORANGE programı Excel, virgül ve sekme ile ayrılmış dosyaları ve Google e-tablolar gibi çevrim içi dosyaları da okuyabilme yeteneğine sahiptir

(<https://orangedatamining.com/widget-catalog/>;

<https://orangedatamining.com/download/#windows>;

<https://e-abm.com/how-to-establish-quality-and-correctness-of-classification-models-part-3-confusion-matrix/>).

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Karaciğer Hastalığı Veri Seti Özellikleri

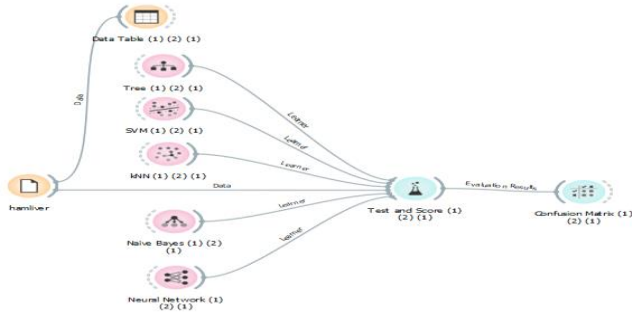
Karaciğer hastalığı verilerini UCI internet sitesinden elde edilmiştir. Elde edilen veri setinde 10 özellik bulunmasına rağmen gerek eksik bilgi gerekse diğer nedenlerden dolayı

sadece 7 özellik sınıflandırma işleminde kullanılmıştır. Veriye ait 7 özelliğin açılımı aşağıdaki gibidir:

- 1.Özellik: Yaş (Yıl)
- 2.Özellik: Toplam bilirubin miktarı (mg/dL)
- 3.Özellik: Suda çözünebilir bilirubin miktarı (mg/dL)
- 4.Özellik: Alkalen fosfataz (IU/L)
- 5.Özellik: Alanin Aminotransferaz (IU/L)
- 6.Özellik: Aspartat Aminotransferaz (IU/L)
- 7.Özellik: Albümin / globülin oranı (g/L)

### 3.2. Karaciğer Hastalığı Veri Seti Sınıflandırma İşlemi

Karaciğer hastalığı veri seti sınıflandırma işlemine tabi tutulmadan önce veri setleri minimum maksimum, ondalık ölçekleme, z-skor ve norm normalizasyon işlemlerine tabi tutulmuştur. Ayrıca veri seti karşılaştırma yapmak için ham verilerde sınıflandırma işlemine tabi tutulmuştur. Şekil 4.'de karaciğer hastalığı ham veri setine ORANGE programıyla sınıflandırma işlemine tabi tutulması gösterilmiştir.



Şekil 4. Karaciğer hastalığı ham veri setinin ORANGE programıyla sınıflandırma işlemi

Yukarıdaki şekilde görülen sınıflandırma işlemi çalışmada kullanılan tüm normalizasyon yöntemleri uygulanarak tekrar edilmiştir. Sınıflandırma işleminde 4 farklı k-kat (2,5,10,20) çaprazlamada ayrı ayrı uygulanarak yapılmıştır. Sonuçlar aşağıda verilen Tablo 2.'de gösterilmiştir (Yüce,2021).

Tablo 2. Karaciğer hastalığı ham veri setinin 2, 5, 10 ve 20 k-kat çaprazlamada sınıflama doğruluğu değerleri

Sınıflandırma Yöntemi	Sınıflama doğruluğu (%)				
	k-kat çaprazlama				
	2	5	10	20	Ort.
<i>k-NN</i>	54	64	<b>68</b>	66	63
<i>KA</i>	59	<b>63</b>	62	58	60.5
<i>DVM</i>	<b>67</b>	65	<b>67</b>	66	66.25
<i>YSA</i>	<b>75</b>	71	74	70	72.5
<i>NB</i>	74	73	74	<b>75</b>	<b>74</b>
<b>Ort.</b>	65.8	67.2	<b>69</b>	67	

Tablo 3.'te karaciğer hastalığı veri setine minimum-maksimum normalizasyon yöntemi; Tablo 4'de karaciğer hastalığı veri setine ondalık ölçekleme normalizasyon yöntemi; Tablo 5'de karaciğer hastalığı veri setine z-skor ve Tablo 6'da karaciğer hastalığı veri setine norm normalizasyon yöntemi uygulanarak 2, 5, 10 ve 20 k-kat

çaprazlamada sınıflama doğruluğu değerleri gösterilmiştir (Yüce,2021).

Tablo 3. Karaciğer hastalığı veri setine minimum-maksimum normalizasyon yöntemi uygulanarak 2, 5, 10 ve 20 k-kat çaprazlamada sınıflama doğruluğu değerleri

Sınıflandırma Yöntemi	Sınıflama doğruluğu (%)				
	k-kat çaprazlama				
	2	5	10	20	Ort.
<i>k-NN</i>	67	<b>68</b>	65	<b>68</b>	67
<i>KA</i>	59	62	<b>63</b>	61	61.25
<i>DVM</i>	<b>67</b>	65	<b>67</b>	66	66.25
<i>YSA</i>	<b>75</b>	71	74	71	72.75
<i>NB</i>	74	74	74	<b>76</b>	<b>74.5</b>
<b>Ort.</b>	68.4	68	<b>68.6</b>	68.4	

Tablo 4. Karaciğer hastalığı veri setinin ondalık ölçekleme normalizasyon yöntemi uygulanarak 2, 5, 10 ve 20 k-kat çaprazlamada sınıflama doğruluğu değerleri

Sınıflandırma Yöntemi	Sınıflama doğruluğu (%)				
	k-kat çaprazlama				
	2	5	10	20	Ort.
<i>k-NN</i>	62	63	63	<b>68</b>	64
<i>KA</i>	58	<b>60</b>	58	51	56.75
<i>DVM</i>	<b>67</b>	65	<b>67</b>	65	66
<i>YSA</i>	73	71	<b>75</b>	69	72
<i>NB</i>	75	<b>76</b>	74	<b>76</b>	<b>75.25</b>
<b>Ort.</b>	67	67	<b>67.4</b>	65.8	

Tablo 5. Karaciğer hastalığı veri setinin z-skor normalizasyon yöntemi uygulanarak 2, 5, 10 ve 20 k-kat çaprazlamada sınıflama doğruluğu değerleri

Sınıflandırma Yöntemi	Sınıflama doğruluğu (%)				
	k-kat çaprazlama				
	2	5	10	20	Ort.
<i>k-NN</i>	65	63	65	<b>66</b>	64.75
<i>KA</i>	59	<b>63</b>	62	58	60.5
<i>DVM</i>	<b>67</b>	65	<b>67</b>	66	66.25
<i>YSA</i>	<b>75</b>	71	73	70	72.25
<i>NB</i>	74	73	74	<b>75</b>	<b>74</b>
<b>Ort.</b>	68	67	<b>68.2</b>	<b>67</b>	

Tablo 6. Karaciğer hastalığı veri setinin norm normalizasyon yöntemi uygulanarak 2, 5, 10 ve 20 k-kat çaprazlamada sınıflama doğruluğu değerleri

Sınıflandırma Yöntemi	Sınıflama doğruluğu (%)				
	k-kat çaprazlama				
	2	5	10	20	Ort.
k-NN	67	66	<b>68</b>	66	66.75
KA	59	62	<b>65</b>	64	62.5
DVM	<b>67</b>	65	<b>67</b>	65	66
YSA	73	70	<b>75</b>	69	71.75
NB	<b>74</b>	<b>74</b>	72	72	<b>73</b>
<b>Ort.</b>	68	67.4	<b>69.4</b>	67.2	

Normalizasyon yöntemlerinin sınıflandırma işlemindeki etkisine bakılırken ayrı ayrı değerlendirilen 2,5,10 ve 20 k-kat çaprazlamada sınıflama doğruluğu değerlerinin ortalaması alınmış ve Tablo 7.'de gösterilmiştir.

Tablo 7. Karaciğer hastalığı veri setini sınıflandırma işleminde normalizasyon yöntemlerinin etkisi

Sınıflandırma Yöntemleri	Sınıflama Doğruluğu (%)				
	Ham Veri	Minimum Maksimum	Ondalık Ölçekleme	Z-skor	Norm Yöntemi
k-NN	63	<b>67</b>	64	64.75	66.75
KA	60.5	61.25	56.75	60.5	<b>62.5</b>
DVM	<b>66.25</b>	<b>66.25</b>	66	<b>66.25</b>	66
YSA	72.5	<b>72.75</b>	72	72.25	71.75
NB	74	74.5	<b>75.25</b>	74	73
<b>Ort.</b>	67.25	<b>68.35</b>	66.8	67.55	68

Tablo 7.'de görüldüğü gibi; k-NN sınıflandırma yönteminde normalizasyon yöntemlerinin olumlu etkisi olmuştur. En iyi performans artışı; minimum-maksimum normalizasyon yönteminde % 67 sınıflama doğruluğu elde edilmiştir. KA sınıflandırma yönteminde minimum-maksimum ve norm normalizasyon yönteminde olumlu bir etkisi olmuş ve en iyi performans artışı % 62.5 ile norm normalizasyon yönteminde ulaşılmıştır. Z-skor normalizasyon yönteminin bir etkisi olmazken ondalık ölçekleme normalizasyon yönteminin olumsuz bir etkisi olmuştur. DVM sınıflandırma yönteminde normalizasyon yöntemlerinin performansı artırmadığı hatta ondalık ölçekleme ve norm normalizasyon yönteminde % 66 ile olumsuz etkilediği görülmüştür. YSA sınıflandırma yönteminde sadece minimum-maksimum normalizasyon yönteminde sınıflama doğruluğunun % 72.75 ile daha iyi olduğu görülmüştür. Diğer normalizasyon yöntemlerinin olumlu bir etkisi gözlemlenmemiştir. NB sınıflandırma yönteminde minimum-maksimum ve ondalık ölçekleme normalizasyon yönteminde sınıflama doğruluğunu arttırdığı görülmüştür. En iyi başarı % 75.25 ile ondalık ölçekleme normalizasyon yöntemine ait

olmuştur. Z-skor yönteminde sınıflandırma algoritmasının başarıları değişmez iken norm yönteminin başarıyı olumsuz etkilediği görülmüştür (Yüce, 2021).

### 3.3. Kalp Hastalığı Veri Seti Özellikleri

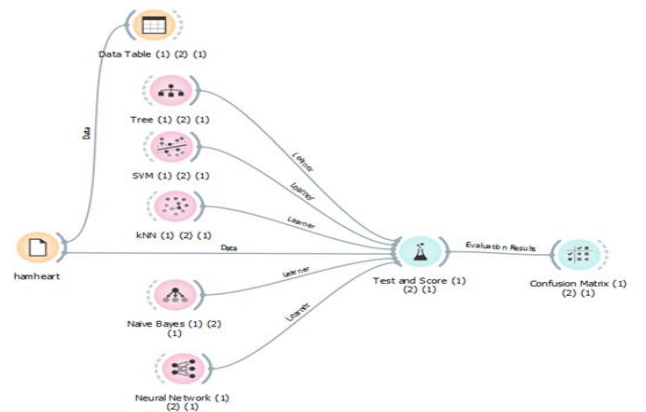
Kalp hastalığı veri setimiz UCI makine öğrenmesi bankası kalp veri seti tabanından alınmıştır ve veri setinin 13 özelliği aşağıdaki gibidir.

- 1.Özellik: Yaş (yıl)
- 2.Özellik: Cinsiyet (kadın/erkek)
- 3.Özellik: Göğüs ağrısı tipi (1 ile 4 arası)
- 4.Özellik: Dinlenme durumunda kan basıncı (tansiyon))
- 5.Özellik: Serum kolesterol (mg/dl)
- 6.Özellik: Tokluk şeker düzeyi >120 mg/dl
- 7.Özellik: Dinlenme halinde Elektrokardiyografi düzeyi (0,1,2)
- 8.Özellik: Maksimum kalp atış değeri(sürekli)
- 9.Özellik: Egzersiz durumunda göğüs ağrısı (0=hayır/1=evet)
- 10.Özellik: Dinlenme halinde ST değeri (sürekli)
- 11.Özellik: Pik egzersiz halinde ST segmentinin eğimi (1-2)
- 12.Özellik: Büyük damarların sayısı (0-3)
- 13.Özellik: Hasar oranı (3=normal,6=kalıcı,7=geri düzeltile bilinen hasar)

### 3.4. Kalp Hastalığı Veri Seti Sınıflandırma İşlemi

Kalp hastalığı veri seti sınıflandırma işlemine tabi tutulmadan önce karaciğer hastalığı sınıflandırma işleminde uygulandığı gibi veri setine minimum-maksimum, ondalık ölçekleme, z-skor ve norm normalizasyon işlemlerine tabi tutulmuştur. Ayrıca veri seti karşılaştırma yapılması için normalizasyon işlemine tabi tutulmadan da sınıflandırma işlemine tabi tutulmuştur.

Aşağıdaki verilen Şekil 5.'de kalp hastalığı ham veri setine ORANGE programıyla sınıflandırma işlemine tabi tutulması gösterilmiştir.



Şekil 5. Kalp hastalığı ham veri setinin ORANGE programıyla sınıflandırma işlemi

Kalp hastalığı için Şekil 5.'de görüldüğü gibi sınıflandırma işleminde çalışmada kullanılan tüm normalizasyon yöntemleri uygulanarak tekrar edilmiştir. Sınıflandırma işleminde 4 farklı k-kat (2,5,10,20) çaprazlamada ayrı ayrı uygulanarak yapılmıştır. Sonuçlar aşağıda verilen Tablo 8.'de gösterilmiştir (Yüce,2021).

Tablo 8. Karaciğer hastalığı ham veri setinin 2, 5, 10 ve 20 k-kat çaprazlamada sınıflama doğruluğu değerleri

Sınıflandırma Yöntemi	Sınıflama doğruluğu (%)				
	k-kat çaprazlama				
	2	5	10	20	Ort.
<i>k-NN</i>	61	<b>64</b>	<b>64</b>	<b>64</b>	63.25
<i>KA</i>	60	74	<b>79</b>	74	71.75
<i>DVM</i>	77	78	<b>81</b>	76	78
<i>YSA</i>	80	80	79	<b>81</b>	<b>80</b>
<i>NB</i>	77	79	<b>81</b>	80	79.25
<b>Ort.</b>	71	75	<b>76.8</b>	75	

Tablo 9’da kalp hastalığı veri setine minimum-maksimum normalizasyon yöntemi; Tablo 10’da kalp hastalığı veri setine ondalık ölçekleme normalizasyon yöntemi; Tablo 11’de kalp hastalığı veri setine z-skor ve Tablo 12’de kalp hastalığı veri setine norm normalizasyon yöntemi uygulanarak 2, 5, 10 ve 20 k-kat çaprazlamada sınıflama doğruluğu değerleri gösterilmiştir (Yüce, 2021).

Tablo 9. Kalp hastalığı veri setine minimum-maksimum normalizasyon yöntemi uygulanarak 2, 5, 10 ve 20 k-kat çaprazlamada sınıflama doğruluğu değerleri

Sınıflandırma Yöntemi	Sınıflama doğruluğu (%)				
	k-kat çaprazlama				
	2	5	10	20	Ort.
<i>k-NN</i>	<b>79</b>	75	76	76	76.5
<i>KA</i>	60	74	<b>79</b>	74	71.75
<i>DVM</i>	77	78	<b>81</b>	76	78
<i>YSA</i>	80	80	79	<b>81</b>	<b>80</b>
<i>NB</i>	77	79	<b>81</b>	80	79.25
<b>Ort.</b>	74.6	77.2	<b>79.2</b>	77.4	

Tablo 10. Kalp hastalığı veri setine ondalık ölçekleme normalizasyon yöntemi uygulanarak 2, 5, 10 ve 20 k-kat çaprazlamada sınıflama doğruluğu değerleri

Sınıflandırma Yöntemi	Sınıflama doğruluğu (%)				
	k-kat çaprazlama				
	2	5	10	20	Ort.
<i>k-NN</i>	74	78	78	<b>79</b>	77.25
<i>KA</i>	60	74	<b>79</b>	74	71.75
<i>DVM</i>	77	78	<b>81</b>	76	78
<i>YSA</i>	80	80	79	<b>81</b>	<b>80</b>
<i>NB</i>	77	79	<b>81</b>	80	79.25
<b>Ort.</b>	73.6	77.8	<b>79.6</b>	78	

Tablo 11. Kalp hastalığı veri setine z-skor normalizasyon yöntemi uygulanarak 2, 5, 10 ve 20 k-kat çaprazlamada sınıflama doğruluğu değerleri

Sınıflandırma Yöntemi	Sınıflama doğruluğu (%)				
	k-kat çaprazlama				
	2	5	10	20	Ort.
<i>k-NN</i>	80	<b>81</b>	80	79	<b>80</b>
<i>KA</i>	60	74	<b>79</b>	74	71.75
<i>DVM</i>	77	78	<b>81</b>	76	78
<i>YSA</i>	<b>82</b>	78	80	79	79.75
<i>NB</i>	77	79	<b>81</b>	80	79.25
<b>Ort.</b>	75.2	78	<b>80.2</b>	77.6	

Tablo 12. Kalp hastalığı veri setine norm normalizasyon yöntemi uygulanarak 2, 5, 10 ve 20 k-kat çaprazlamada sınıflama doğruluğu değerleri

Sınıflandırma Yöntemi	Sınıflama doğruluğu (%)				
	k-kat çaprazlama				
	2	5	10	20	Ort.
<i>k-NN</i>	72	76	<b>79</b>	76	75.75
<i>KA</i>	60	74	<b>79</b>	75	72
<i>DVM</i>	77	78	<b>81</b>	76	78
<i>YSA</i>	<b>81</b>	80	79	<b>81</b>	<b>80.25</b>
<i>NB</i>	77	80	80	<b>81</b>	79.5
<b>Ort.</b>	73.4	77.6	<b>79.6</b>	77.8	

Normalizasyon yöntemlerinin kalp hastalığında sınıflandırma işlemindeki etkisi genel değerlendirilirken ayrı ayrı değerlendirilen k-kat çaprazlamada performanslarının ortalaması alınmış ve Tablo 13.’de gösterilmiştir (Yüce, 2021).

Tablo 13. Kalp hastalığı veri setini sınıflandırma işleminde normalizasyon yöntemlerinin etkisi

Sınıflandırma Yöntemleri	Sınıflama Doğruluğu (%)				
	Ham Veri	Minimum Maksimum	Ondalık Ölçekleme	Z-skor	Norm Yöntemi
<i>k-NN</i>	63.25	76.5	77.25	<b>80</b>	75.75
<i>KA</i>	71.75	71.75	71.75	71.75	<b>72</b>
<i>DVM</i>	78	78	78	78	78
<i>YSA</i>	80	80	80	79.75	<b>80.25</b>
<i>NB</i>	79.25	79.25	79.25	79.25	<b>79.5</b>
<b>Ort.</b>	74.45	77.1	77.25	<b>77,75</b>	77.1

Tablo 13'te görüldüğü gibi; k-NN sınıflandırma yönteminde normalizasyon yöntemlerinin tamamının sınıflama doğruluğuna olumlu etkisi olmuştur. En iyi sınıflama doğruluğu z-skor normalizasyon yönteminde % 80 olarak elde edilmiştir. KA sınıflandırma yönteminde sadece norm normalizasyon yönteminde % 72 sınıflama doğruluğu elde edilmiş, diğer normalizasyon yöntemlerinde olumlu bir etkisi görülmemiştir. DVM sınıflandırma yönteminde normalizasyon yöntemlerinin sınıflama doğruluğuna hiç bir etkisi olmamıştır. YSA sınıflandırma yönteminde sadece norm normalizasyon yönteminde sınıflama doğruluğunun az da olsa arttığı (% 80.25) görülmüştür. Diğer normalizasyon yöntemlerinde z-skor normalizasyon yöntemi hariç performansı değişmemiştir. Z-skor normalizasyon yöntemi % 79.75 ile olumsuz etkilediği görülmüştür. NB sınıflandırma yönteminde sadece norm normalizasyon yönteminde sınıflama doğruluğunu arttırdığı (% 79.5) görülmüş, diğer normalizasyon yöntemlerinde ise olumlu bir etkisi olmamıştır.

#### 4. Sonuç

Yapılan bu çalışmada karaciğer ve kalp hastalığı veri setlerine minimum maksimum, ondalık ölçekleme, z-skor ve norm normalizasyon yöntemleri uygulanmıştır. Normalizasyon işleminden sonra verilere DVM, YSA, KNN, KA ve NB gibi sınıflandırma yöntemleri ile 4 farklı k-kat çaprazlamada (2,5,10,20) sınıflama doğruluğu kriterlerine bakılarak değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak; minimum maksimum, ondalık ölçekleme, z-skor ve norm normalizasyon yöntemlerinin sınıflama doğruluğu performansını artırabileceği görülmüştür. Çalışmada kullanılmayan farklı normalizasyon yöntemlerinin de sınıflama performansına olumlu etki yapabileceği düşüncesi gelişmiştir. Sınıflama doğruluğu performansına etkisini görmek için, farklı k-kat çaprazlamada (2,5,10 ve 20 değerlerinde) sınıflama doğruluk performansını arttırdığı görülmüştür. Ayrıca hem karaciğer hem de kalp hastalığı veri setine 4, 25, 50 ve 100 gibi 100 örnek veriyi tam bölen farklı k-kat çaprazlamada sınıflama doğruluğu performansını artırabileceği düşüncesi oluşmuştur.

#### 5. Teşekkür

Bu çalışma boyunca belirttikleri görüş ve önerilerle makalenin yönlendirilmesine yardımcı olan danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman ÖZKAN' a ve tüm hayatım boyunca beni bu zamana kadar yetiştiren aileme teşekkürlerimi sunarım.

#### Kaynakça

Adeyemo A. and Wimmer H. (2018). Effects of Normalization Techniques on Logistic Regression in Data Science. *2018 Proceedings of the Conference on Information Systems Applied Research Norfolk, Virginia*

Akdemir B. (2009). Tahmin uygulamalarında performans geliştirmek için kullanılan normalizasyon metotlarına yeni bir yaklaşım, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*

Atomi V. H (2012). The effect of data preprocessing on the performance of artificial neural networks techniques for classification problem, Master Thesis, Faculty of Computer Science and Information Technology, University Tun Hussein Onn Malaysia

Bolandraftar M., Imandoust S. B. (2013). Application of K-Nearest Neighbor (KNN) Approach for Predicting Economic Events: Theoretical Background, S B Imandoust et al. *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, Vol:3, Issue 5, 605-610.

Çalış A., Kayapınar S., Çetinyokuş T. (2014). Veri madenciliğinde karar ağacı algoritmaları ile bilgisayar ve internet güvenliği üzerine bir uygulama. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, Cilt:25, Sayı: 3-4,2-19.

Çalışkan S. B., Soğukpınar İ. (2008). k-means ve k en yakın komşu yöntemleri ile ağlarda nüfuz tespiti

Eesa A.S., Arabo W. K. (2017). Normalization methods for backpropagation: A comparative study, *Science Journal of University of Zakho*, Vol:5, No:4, 314-318.

Gautam R., Vanga S., Ariese F., Umopathy S. (2015). Review of multidimensional data processing approaches for Raman and infrared spectroscopy. *EPJ Techniques and Instrumentation*, 2:8,2015. DOI: 10.1140/epjt/s40485-015-0018-6

<https://e-abm.com/how-to-establish-quality-and-correctness-of-classification-models-part-3-confusion-matrix/>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Orange\\_\(software\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Orange_(software))

<http://kod5.org/yapay-sinir-aglari-ysa-nedir/>

<https://kodedu.com/2014/05/naive-bayes-siniflandirma-algoritmasi/>

<https://medium.com/@ekrem.hatipoglu/machine-learning-prediction-algorithms-decision-tree-random-forest-part-5-2970905c021e>

<https://medium.com/@k.ulgen90/makine%C3%B6%C4%9FFre-nimib%C3%B6I%C3%BCm-5-karar-a%C4%F9a%C3%A7lar%C4%B1-c90bd7593010>

<https://orangedatamining.com/widget-catalog/>

<https://orangedatamining.com/download/#windows>

[http://www.iitmandi.ac.in/ciare/files/7\\_Anand\\_ANN.pdf](http://www.iitmandi.ac.in/ciare/files/7_Anand_ANN.pdf)

Jadhav S. D., Channe H. P. (2013). Comparative study of k-nn, naive bayes and decision tree classification techniques, *International Journal of Science and Research (IJSR)*

Kavzoğlu T. ve Çölkesen İ. (2010). Destek vektör makineleri ile uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında kernel fonksiyonlarının etkilerinin incelenmesi, *Harita Dergisi*, Sayı 144

Mohamed A. E. (2017). Comparative study of four supervised machine learning techniques for classification. *International Journal of Applied Science and Technology*, Vol:7, No:2

Muthuselvan S., Rajaparaksh S., Somasundaram K, KKarthik K. (2018). Classification of Liver Patient Dataset Using Machine Learning Algorithms, *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (3.34), 323-326.

Polat K. (2008). Biyomedikal sinyallerde veri ön-işleme tekniklerinin medikal teşhiste sınıflama doğruluğuna etkisinin incelenmesi. *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi*

Shalabi, L.A., Z. Shaaban and Kasasbeh, B. (2006). Data Mining: A Preprocessing Engine, *J. Comput. Sci.*, 2: 735-739

Singh B K, Thoke A. S. and Verma K. (2015). Investigations on Impact of Feature Normalization Techniques on Classifier's Performance in Breast Tumor Classification, *International Journal of Computer Applications (ISSN: 0975 – 8887) Volume 116 – No. 19, 11-15.*

[www.codecademy.com/articles/normalization](http://www.codecademy.com/articles/normalization)

Yavuz S., Deveci M. (2012). İstatiksel normalizasyon tekniklerinin yapay sinir ağı performansına etkisi, *Erciyes*

*Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, Sayı 40, 167-187.

Yazıcı A. C., Ögüş E., Ankaralı S., Canan S., Ankaralı H., Akkuş Z. (2007). Yapay sinir ağlarına genel bakış, *Türkiye Klinikleri J Med Sci*, 27:65-71.

Yüce H. (2021). Normalizasyon tekniklerinin biyomedikal verilerde sınıflama başarısına etkisi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi.



## FMCW Radar İle Endüstriyel Uygulamalarda Mesafe Ölçüm

Hasan Güz<sup>1\*</sup>, Levent Cıvcık<sup>2</sup>, Süleyman Canan<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1776-6016)

<sup>2</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO/Bilgisayar Teknolojileri, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4580-8164)

<sup>3</sup> R&D Director / Elfatek Electronic Ltd., Turkey (ORCID: 0000-0001-5842-5683)

(2nd International Conference on Computer, Electrical and Electronic Sciences ICCEES 2021, September 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1004732)

**ATIF/REFERENCE:** Güz, H., Cıvcık, L. & Canan, S. (2021). FMCW Radar İle Endüstriyel Uygulamalarda Mesafe Ölçüm. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (30), 44-47.

### Öz

Endüstride bulunan fabrikalarda aynı hat üzerinde birden çok köprüsü olan vinçler bulunmaktadır. Bu köprüler aynı yolda hareket ederken her biri başka operatör tarafından kontrol edilmektedir. Operatörler taşıdıkları yükü kontrol ederken aynı zamanda köprünün kontrolünü sağlayamayabilirler. Bu nedenle iki vinç köprüsünün birbiri ile çarpışma ihtimali vardır. Bu durumda meydana gelebilecek kazaların önüne geçebilmek için bir sisteme ihtiyaç vardır. Bu sistemin, iki vinç arası mesafeyi ölçmesi ve belirlenen sınır noktaya ulaştığında operatörleri uyarması gerekmektedir. Bu ihtiyacı karşılamak için FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave, Frekans Modülasyonlu Sürekli Dalga) Radar tasarımı önerilmiştir. FMCW radarlar, 77 GHz modülasyon frekansında çalışabilen düşük güç ile yüksek çözünürlük ve doğrulukta; hız, açı ve mesafe ölçümü yapan askeri ve endüstriyel çözümler sunmaktadır. Diğer radar tiplerinde olduğu gibi FMCW radarların da en önemli bölümü karşısındaki engele elektromanyetik sinyal gönderecek olan alıcı-verici antenlerdir. Bu çalışmada FMCW radarlar için anten olarak mikroşerit yama dizi anten tasarımı kullanılmıştır. Bunun sebebi daha yüksek anten kazancına sahip olması, az yer kaplaması, düşük güç tüketimi ve bir ışığıncının arızalanması durumunda dizideki diğer antenler sayesinde sistemin çalışmaya devam edebilmesidir. Bu araştırmalar sonucunda 100 metre ölçüm mesafesi olan bir FMCW radarın maliyetinin düşürülmesi ve üretiminin kolay olması ile birlikte endüstride yaygınlaşabilecek seviyeye geldiği gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** FMCW Radar, Köprü Vinci

## Measuring Industrial Distance With FMCW Radar

### Abstract

Factories in the industry have cranes with multiple bridges on the same line. Each of these bridges is controlled by another operator while moving on the same road. Operators may not be able to control the bridge while controlling the load they carry. Therefore, there is a possibility that two crane bridges will collide with each other. In this case, a system is needed to prevent accidents that may occur. This system is required to measure the distance between the two cranes and alert operators when they reach the designated limit point. To meet this need, FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) Radar design has been proposed. FMCW radars offer military and industrial solutions that measure speed, angle and distance with high resolution and accuracy with low power that can operate at 77 GHz modulation frequency. As with other types of radar, the most important part of FMCW radars is the transceiver antennas that will send an electromagnetic signal to the opposite obstacle. In this study, microsherite patch array antenna design was used as the antenna for FMCW radars. This is because it has higher antenna gain, less space, low power consumption, and if a radiator fails, the system can continue to work thanks to other antennas in the array. As a result of these studies, it has been shown that an FMCW radar with a measurement distance of 100 meters has reached a level that can become widespread in the industry, with its cost reduction and ease of production.

**Keywords:** FMCW Radar, Overhead Crane

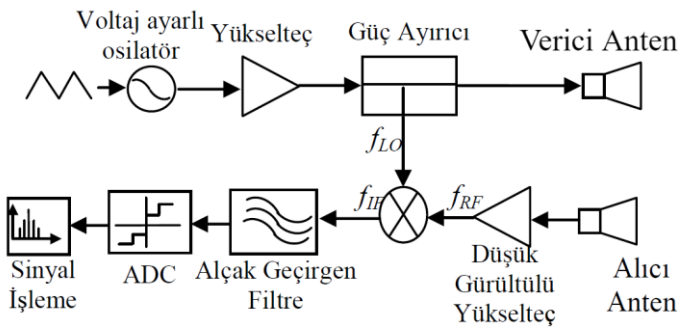
<sup>1</sup> Sorumlu Yazar: [hasan.guz@elfatek.com.tr](mailto:hasan.guz@elfatek.com.tr)

## 1. Giriş

Son yıllarda iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları vinç sektöründe çok daha fazla önemsenmeye başlamış olup, özellikle çarpışma önleme sistemleri açısından ön plana çıkmıştır. Aynı sistemde birden fazla - her biri başka operatör tarafından kontrol edilen - vincin birbiri ile çarpışarak büyük çaplı hasarlara yol açmasını önlemek için çarpışma önleme sistemleri kullanılmaktadır. Vinçlerin çalıştığı ortam şartlarının temiz olduğu işletmelerde fotoelektrik veya lazer sensörler kullanılmaktadır. 1 veya 2 röle çıkışına sahip bu sensörler ile vinçler çarpışmadan önce güvenli kabul edilen mesafelerde yavaşlatılmaya başlanır ve istenen mesafeye geldiklerinde durdurulur. Aşırı tozlu, buharlı, kirli, yağlı ortamlarda ve açık hava şartlarında bu sayılan sensörler bozularak vinç çarpışmasını önleyememektedir. Bu gibi ağır şartlar altında FMCW radar kullanılarak bu sorunların ortadan kalkması beklenmektedir.

FMCW radarlar, 2. Dünya Savaşı'ndan önce darbeleri radarların daha sık kullanılmasından dolayı çoğunlukla uçak irtifası ölçmek için kullanılmıştır [1]. Teknolojideki gelişmeler sonucunda, FMCW radarların yüksek çözünürlüğe, düşük iletim gücüne, daha basit bir yapıya ve düşük hata oranına sahip olmasından dolayı günümüzdeki kullanım alanlarını genişletmiştir[2]. Literatürde FMCW radarlar sivil ve askeri alanlar başta olmak üzere birçok farklı alanlarda kullanıldığı görülmektedir. Bunlardan bazıları, otoyollarda araç hızı ölçümü [3], araç çarpışma uyarı sistemleri [4], yüksek gürültü ortamlarda hedef tespiti [5]. Şekil-1'de FMCW radarın blok diyagramı gösterilmiştir. Sürekli olarak üretilen frekans modüleri (FM) sinyali iletilen anten vasıtasıyla yayılımı sağlanarak daha sonrasında hedeften-engele dönen sinyaller alıcı anten tarafından alınır ve çarpıldıktan sonra hedefin-engelin hızını ve FMCW radara olan mesafesi gibi bilgileri içinde barındıran vuru frekansı ( $f_b$ ) elde edilir. Son olarak, gerekli sinyal işleme yöntemlerinin uygulanması ile hedefe ait hız ve mesafe bilgileri elde edilir.

Bu çalışmada açık veya kapalı alanda bulunan ve üzerinde birden fazla vinç bulunan sistemlerin çarpışmasını önlemek için FMCW radar kullanılması önerilmiştir.



Şekil 1. FMCW Radar blok diyagramı

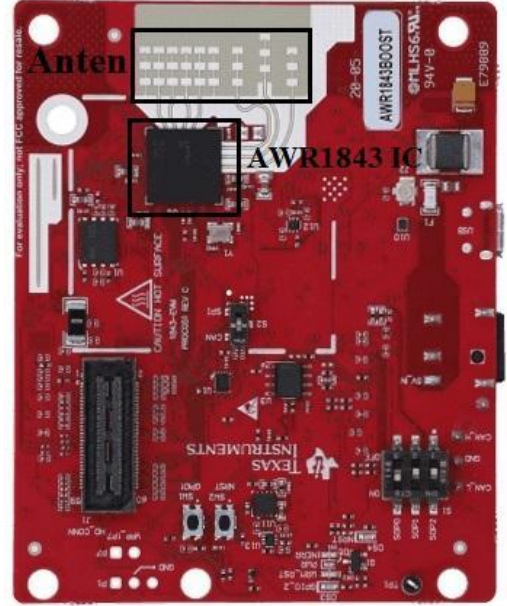
## 2. Materyal ve Metot

FMCW radarlar önceden büyük ve hantal yapıda oldukları için endüstriyel uygulamalar için tercih edilmemiştir [6]. Günümüzde teknolojinin ilerlemesi ve milimetre dalga radarı üzerine çalışmaların artması ile Şekil-1'de verilen blok diyagramdaki bütün bileşenlerin tümü tek bir elektronik devre kartında bulunabilir [7]. Bu çalışmada hız, mesafe ve yön bilgilerini verebildiği için AWR1843BOOST FMCW radar kullanılmıştır.

### 2.1. AWR1843BOOST FMCW Radar

Texas Instruments (TI) markasının geliştirdiği AWR1843BOOST cihazı (Şekil-2), 76 ila 81 GHz bandında çalışabilen entegre bir tek çipli FMCW radar sensörüdür. Dahili PLL (phase-locked loop, faz kilitlemeli çevrim) ve analogtan dijital dönüşürücülerle 3TX, 4RX sisteminin monolitik bir uygulamasını sağlayan TI firmasının düşük güç tüketen otomotiv ve endüstriyel alanlarda kullanılmak üzere geliştirdiği bir radar sensördür.

AWR1843BOOST cihazı ile 0-200 metre arası mesafeyi ve Doppler etkisi kullanılarak 0-150 km/s arası hızları 120 derece açı ile tespit edilebilmektedir.



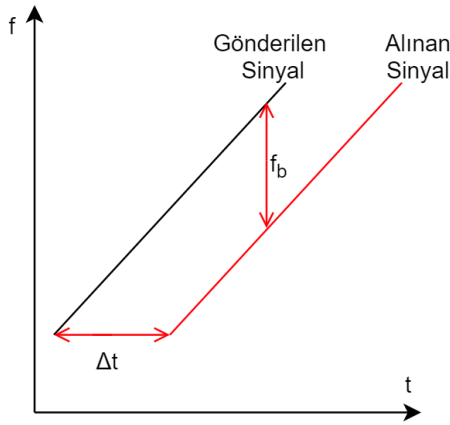
Şekil 2. AWR1843BOOST FMCW Radar

### 2.2. FMCW Radar Prensipleri

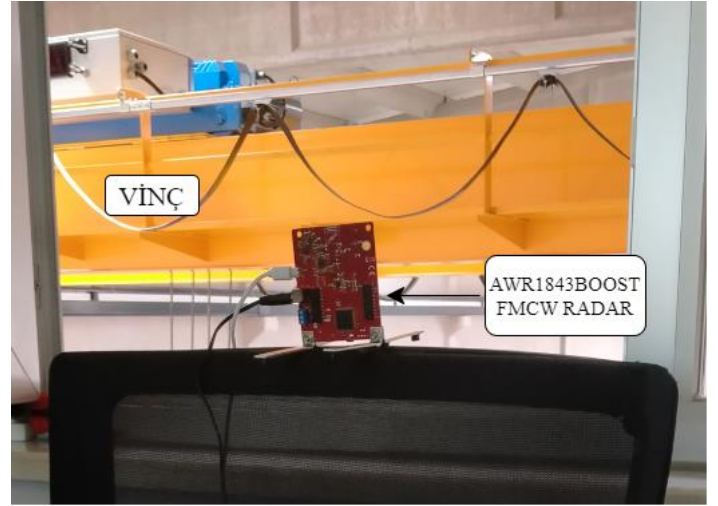
FMCW radarı en basit bir sürekli dalga radarında olduğu gibi sürekli dalga yollayan radar sensörlerinin bir özel tipidir. Sürekli dalga radarının aksine, bir FMCW radarı ölçüm yapıldığı sırada üçgen veya testere dişi dalga kullanarak gönderilen işaretin çalışma frekansını değiştirebilir. Bu, gönderim işaretinin frekansının modüle ediliyor olması demektir. İşte frekanstaki bu değişimler sayesinde işaretlerin gidiş-geliş süreleri ölçümüyle ilk defa ilave ölçüm imkânları ortaya çıkmıştır.

Verici anten vasıtasıyla gönderilen sinyal olası hedeflerden yansıyor hedefin FMCW radar olan mesafesine bağlı gecikmesiyle alıcı antenle alınmaktadır. Alınan sinyal, gönderilen sinyalin zamanda geciktirilmiş ve frekansta kaydırılmış kopyasıdır. Zaman gecikmesi kullanılarak hedefin FMCW radara olan mesafesi, frekans değişimi kullanılarak da hedefin hızı hesaplanabilmektedir. FMCW radarlarda zaman gecikmesi gönderilen ile alınan sinyallerin anlık frekans farkıyla ( $f_b$ ) ilişkilidir (Şekil 3):  $\Delta t = \gamma f_b$ . Dolayısıyla, hedefin menzili  $R = c\Delta t/2 = c\gamma f_b/2$ 'dir. Karıştırıcının çıkışı ise frekansı bu farkla eşit olan bir sinüzoidal sinyaldir. Sinyal bir yükseltici ve alçak geçiren filtre devresinden geçtikten sonra işlenmek üzere bilgisayara aktarılmaktadır.





Şekil 3. FMCW Radar sinyalinin frekans-zaman grafiği



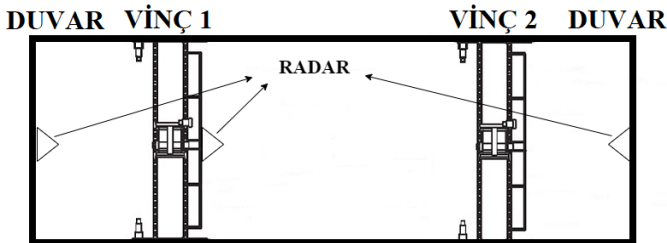
Şekil 5. AWR1843BOOST FMCW radar ile ölçüm

Bir FMCW radarın ;

- Çok kısa mesafelerde dahi ölçüm yeteneği
  - Menzil ve hız aynı anda ölçebilme
  - Yüksek ölçüm doğruluğu
  - Olumsuz çevre koşullarında da çalışabilme
- gibi temel özellikleri bulunmaktadır.

### 2.3. Vinç Çarpışma Önleme Sistemi

Bu çalışmada bir sistemde iki vinç olduğu kabul edilmiştir. 2 vincin bulunduğu bir sistem için Şekil-4'deki gibi bir uygulama önerilmiştir. Bu uygulamada DUVAR-VİNÇ 1, VİNÇ 1-VİNÇ 2 ve VİNÇ 2-DUVAR çarpışmasını önlemek amaçlanmıştır. Bu sebeple 3 adet FMCW radar yerleştirilmiştir. Radarlar vinçlerin daha önceden verilen güvenlik sınırına (örneğin 2 metre) ulaşım ulaşmadığını tespit edecektir. Tespit edildiği takdirde vinç hareket sistemine bilgi-uyarı verecektir. Bu bilgi-uyarı geldiğinde röleler yardımı ile vincin durdurulması sağlanacaktır.



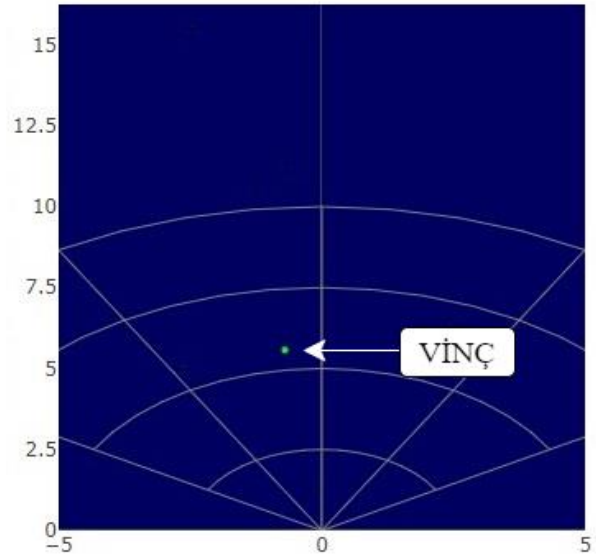
Şekil 4. Önerilen vinç çarpışma önleme sistemi

Sistemdeki vinç sayısı arttıkça FMCW radar sayısının artırılması gerekmektedir.

### 2.3. AWR1843BOOST FMCW Radar ile Ölçüm

AWR1843BOOST FMCW radar duvar hizasına sabitlenmiştir. Vinç uzaktan kumanda ile ileri ve geri yönde hareket ettirilmiştir (Şekil-5). Vincin bulunduğu fabrikanın çalışma imkanlarından dolayı 2-50 metre aralığında ölçüm yapılmıştır. Vincin hareketi sonucunda radar dataları TI firmasının geliştirdiği arayüzde görüntülenmiştir. Bu arayüzde gönderici ve alıcı antenlerden kaçının kullanılacağı, bant genişliği ve radar çıktı çözünürlüğü gibi ayarlar yapılabilmektedir. Şekil-6'da vincin radara yani duvara en yakın olduğu andaki arayüz çıktısı verilmiştir. AWR1843BOOST FMCW radar çalışma frekansından dolayı yüksek çözünürlüğe sahip oldukları için vincin en küçük bir hareketi bile görüntülenebilmektedir.

Menzil ölçümünün yanı sıra vincin hızı da görüntülenebilmektedir. Bu ileride geliştirilecek otonom vinçler için önemli bir bulgudur.



Şekil 6. Ölçüm sonuçları

## 3. Sonuçlar

Bu çalışmada tek sistemde birden fazla - her biri başka operatör tarafından kontrol edilen - vincin birbiri ile çarpışmasını önlemek amacı ile FMCW radarlar kullanılarak vinç çarpışma önleme sistemi önerilmiştir. Önerilen sisteme bağlı kalarak endüstriyel üretim yapan bir firmada AWR1843BOOST FMCW radar ile ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde alınan başarılı sonuçlar neticesinde önerilen sistemin başarılı olacağı görülmüştür. Bu sonuçlar neticesinde FMCW radarların endüstriyel uygulamalarda başarılı sonuçlar getireceği öngörülmektedir. Gelecekte önerilen sistemin tümüyle gerçeğe dönüştürülmesi hedeflenmektedir.

## 4. Teşekkür

Çalışmanın gerçekleştirilmesi için gerekli olan AWR1843BOOST FMCW radarını tedarik eden ve radar ile ölçüm yapılması için uygun çalışma ortamını oluşturan Elfatek Elektronik Ltd.'e teşekkür ederiz.

## **KAYNAKLAR**

- [1] K Komarov, I. V. and M. S. Smolskiy, Fundamentals of Short Range FM Radar, Artech House, 2003.
- [2] Handayani, D.O.D., W. Sediono and A. Shah "Design and Development of the FMCW Radar Scene Generator," Industrial Electronics and Applications (ISIEA), pp. 39 - 44, September 2013
- [3] Winkler, V., "Range Doppler Detection for Automotive FMCW Radars," Radar Conference (EuRAD), pp. 166-169, October 2007
- [4] Steinhauer, M., H.O. Ruo, H. Irion and W. Menzel "Millimeter-Wave Radar Sensor Based in a Transciever Array for Automotive Applications," Microwave Theory and Techniques, Vol.56, pp. 261-269, February 2008
- [5] Duarte, C., P. Dorta, A. Lopez, A.D. Campo, "CWLFM Radar for Ship Detection and Identification," IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, Vol. 22, pp. 22-26, February 2007.
- [6] Andersen, N., Granhaug, K., Michaelsen, J. A., Bagga, S., Hjortland, H. A., Knutsen, M. R., ... & Wisland, D. T. (2017). A 118-mw pulse-based radar soc in 55-nm cmos for non-contact human vital signs detection. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 52(12), 3421-3433.
- [7] <https://www.ti.com/sensors/mmwave-radar/products.html>



# Automatic Localization of Cephalometric Landmarks using Convolutional Neural Networks

Mogham Njikam Mohamed Nourdine<sup>1\*</sup>, Betül Uzbaş<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Konya Technical University, Faculty of Engineering and Natural Science, Department of Computer Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0001-7068-9323), [mohamednjikam25@hotmail.com](mailto:mohamednjikam25@hotmail.com)

<sup>2</sup> Konya Technical University, Faculty of Engineering and Natural Science, Department of Computer Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-0255-5988), [buzbas@ktun.edu.tr](mailto:buzbas@ktun.edu.tr)

(2nd International Conference on Computer, Electrical and Electronic Sciences ICCEES 2021, September 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1006517)

**ATIF/REFERENCE:** Mohamed Nourdine, M. N. & Uzbaş, B. (2021). Automatic Localization of Cephalometric Landmarks using Convolutional Neural Networks. *European Journal of Science and Technology*, (30), 48-52.

## Abstract

Experts have brought forward interesting and effective methods to address critical medical analysis problems. One of these fields of research is cephalometric analysis. During the analysis of tooth and the skeletal relationships of the human skull, cephalometric analysis plays an important role as it facilitates the interpretation of bone, tooth, and soft tissue structures of the patient. It is used during oral, craniofacial, and maxillofacial surgery and during treatments in orthodontic and orthopedic departments. The automatic localization of cephalometric landmarks reduces possible human errors and is time saving. To performed automatic localization of cephalometric landmarks, a deep learning model has been proposed inspired by the U-Net model. 19 cephalometric landmarks that are generally manually determined by experts are automatically obtained using this model. The cephalometric X-ray image dataset created under the context of IEEE 2015 International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI 2015) is used and data augmentation is applied to it for this experiment. A Success Detection Rate SDR of 74% was achieved in the range of 2 mm, 81.4% in the range of 2.5mm, 86.3% in the range of 3mm, and 92.2% in the range of 4mm.

**Keywords:** Convolutional Neural Networks, Cephalometric Landmarks Detection, Medical Image Analysis, Success Detection Rate.

## Evrişimsel Sinir Ağlarını Kullanarak Sefalometrik Noktaların Otomatik Tespiti

### Öz

Uzmanlar kritik tıbbi analiz problemlerinde ilginç ve etkili yöntemleri başarıyla ortaya koydular. Bu alanlardan biri de sefalometrik analizdir. Sefalometrik analiz, insan kafatasının diş ve iskelet ilişkilerinin analizi sırasında hastanın kemik, diş ve yumuşak doku yapılarının yorumlanmasını kolaylaştırdığı için önemli rol oynar. Ortodonti ve ortopedi bölümlerinde ağız, kraniyofasiyal ve çene cerrahisi ve ortodontik tedaviler sırasında kullanılmaktadır. Sefalometrik yer işaretlerinin otomatik olarak konumlandırılması, olası insan hatalarını azaltır ve zamandan tasarruf sağlar. Sefalometrik yer işaretlerinin otomatik lokalizasyonunu gerçekleştirmek için U-Net modelinden esinlenerek bir derin öğrenme modeli önerilmiştir. Genellikle uzmanlar tarafından manuel olarak belirlenen 19 sefalometrik yer işareti bu model kullanılarak otomatik olarak elde edilir. Bu araştırma için IEEE 2015 Uluslararası Biyomedikal Görüntüleme Sempozyumu (ISBI 2015) kapsamında oluşturulan sefalometrik X-ray görüntü veri seti kullanılmış ve bu veri setine veri büyüme uygulanmıştır. 2 mm aralığında 74%, 2.5 mm aralığında 81.4%, 3 mm aralığında 86.3% ve 4 mm aralığında 92.2% Başarı Tespit Oranı (SDR) elde edildi.

**Anahtar Kelimeler:** Evrişimsel Sinir Ağları, Sefalometrik Nokta Tespiti, Tıbbi Görüntü Analizi, Başarı Tespit Oranı.

\* Corresponding Author: [mohamednjikam25@hotmail.com](mailto:mohamednjikam25@hotmail.com)

## 1. Introduction

Cephalometric analysis is an essential tool for clinical evaluation in modern craniofacial, oral and maxillofacial surgery, and results obtained provide important information during orthodontic treatment. It can also be defined as the scientific measurement of the dimensions of an x-ray lateral cephalogram which are the main resources in this analysis [1]. Cephalometric analysis is widely used in orthodontics and orthopedic sections. The results from this analysis are used to describe the relationship between the dental and skeletal parts of the human skull. This relationship plays a vital role in treatment planning, and interpretation of the bone, tooth, and soft tissue structures of the patients. The positions of cephalometric landmarks generally play a vital role during treatment planning, assessment of curative effect, and comparing different anomalies.

In general, cephalometric landmarks localization is manually computed by physicians, medical doctors, or clinicians. It takes a long time to detect these points manually. In addition, these landmarks detected by different experts can often be inconsistent. Since there is no special interpolation formula for this operation and the images differing from one to another, the results obtained after hours of calculations may not be entirely correct [2]. To solve this problem and to provide more reliable results, attempts have been made by researchers to automatically detect cephalometric landmarks to overcome these limitations in clinical practice and research environments. This operation is a difficult task mainly due to the structure of the data.

Significant progress has been made towards automatically detecting points and pattern structures in radiographic x-ray images. These approaches are done by either specifying rules based on known rules or experts' knowledge or using templates gray-scales morphological operators to regress the cephalometric points. To boost the research in this field, in 2014 and 2015, ISBI challenges on cephalometric landmark detection were launched and several researchers propose different technics to achieve this operation. One of the most prominent results validated during the 2015 symposium was developed by Lindner et al. [3]. It was based on random-forest and it achieved the SDR of 73.7% for a 2 mm precision range. Another outstanding work preserved during this symposium is by Ibragimov et al. [4] which achieved the second-highest result with a successful detection accuracy of 71.7% over a 2 mm range. They used random forest regression to apply a Haar-like feature extraction on the data and continued to make adjustments to their model using global context shape.

Many other researchers tried some other technics in the process of landmarks localization. One of these is the work proposed by Cardillo et al. [5] who developed a grayscale morphology and template matching algorithm. Using Dynamic programming, they exploited and applied the templates to extract the cranial contour on high-resolution X-Ray cephalometric images. In total, 20 landmarks were detected using this approach. Finally, they tested their work on 40 lateral X-ray images, which showed an average of 85% success detection rate. Another prominent model architecture called CephaNet was proposed in 2019 by Qian et al. [1]. In CephaNet, they designed multitasking loss to reduce the variation that existed between classes. They adopted a multi-scale training strategy to improve the success detection accuracy of the model at relatively small landmark intervals. With this method, they achieved 82.5% successful detection accuracy in the 2 mm range. In the same line of work,

Lee et al. [6] proposed a different approach that successfully regresses the correct coordinates of cephalometric landmarks directly from the image. A regression system based on CNN was trained for each cephalometric point and the coordinate location for the different variables was successfully extracted. To achieve this, 38 regression systems were respectively trained from scratch using basically the same CNN model for the corresponding locations of the coordinates and using the trained model they calculated 38 coordinate variables from the test images and extracted 19 landmarks by matching the regressed coordinate location for the coordinates. They achieved an SDR of 86.4% at 2mm.

In this study, a model for automatic cephalometric landmark detection using U-Net architecture is proposed. The dataset, U-Net architecture, and evaluation metrics are mentioned, in the second part. The experimental results are presented, in section four. The obtained results are discussed in the fifth part, and the paper is finalized in the conclusion part.

## 2. Material and Method

The model proposed for this experiment is built using a customized U-Net model and the results evaluated using the basic metrics of evaluations proposed during the IEEE ISBI 2015 Competition. We used the publicly available cephalometric dataset provided for this competition.

Figure (1) shows an example of a cephalogram lateral image with 19 landmarks automatically obtained using our model presented in this research paper.

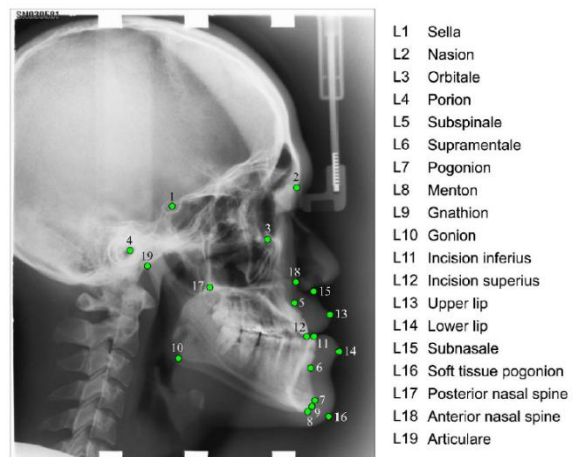


Figure. 1 A Cephalometric image showing the 19 landmarks positions with their respective annotation [7].

### 2.1. Dataset

The data used in the scope of this research are obtained from the publicly available dataset provided during the 2015 ISBI Grand Challenge Training Dataset. It contained 400 Lateral Cephalometric images with patients' mean age being 27 years with an age range from 7 to 76. These data were collected from 235 females and 165 males. All cephalometric images found in this dataset were generated in TIFF format using the dental X-ray Machine called CRANEXr Excel Ceph and the software Soredex SorCom (3.1.5, version 2.0) [7]. This machine is famous for its ability to give automatic preselection for panoramic imaging based on skull width. The image resolution of the images provided in this dataset is 1935 x 2400 pixels with a pixel pitch of 0.1 mm. The coordinates of all the cephalometric points shown in Figure

(1) were respectively labeled by two doctors; a junior and a senior in separated folders. We used the senior physician's annotations for this research and aimed to identify the 19 landmarks for each X-ray image. The authors of this symposium have divided the dataset into three different folders: the training set containing 150 cephalometric images, the test1 folder containing 150, and the test2 folder contains 100 images. The images used during this experiment were resized to 256x256 px sizes which are one-eight of the original size before data augmentation was applied to each image.

**2.1.1. Data Augmentation**

Data augmentation was performed on the training dataset which initially comprised of 150 annotated images, to increase the accuracy of our model. This operation conveniently boosted the model by permitting it to learn more efficiently. The data augmentation is performed on the dataset was shifting 1 and 3 pixels in 4 different directions (right, left, down, up) on a 256x256 cephalometric image. Every image on the training dataset is shifted using these shift metrics. Four new images are created from each image, with the shift operation. This operation is performed using the famous library for image augmentation called Imgaug [8]. After performing the data augmentation on the images, we successfully generated 1350 images used during the experiment.

**2.2. U-Net Network Architecture**

U-Net [9] is the CNN architecture presented in 2015 to address the issue of biomedical image processing, classification, and segmentation. The U-net model, originally used for the segmentation of neural structures, was considered as one of the best methods in the ISBI cell tracking challenge in 2015 [10]. The CNN architecture proposed for this study follows closely the U-Net model with slight modification to achieve more efficiency. The architecture of this model consists of a downsampling layer which is followed by a symmetric upsampling layer separated by a bottleneck. It is designed to learn the local characteristics of each landmark gradually in both directions. It has an input

dimension of 256x256x1. The architecture of the customized U-Net model developed for this task is shown in Figure (2).

As shown in figure (2), the proposed U-Net model is divided into three main blocks; the down-sampling block, bottleneck, and the up-sampling block. Applying down-sampling to the dimensions of input images reduces resolution and allows the network to learn more properties on the image. During this phase, the model learns the relationship that exists between the relative landmark position. It consists of 2 subsequent convolution layers with a kernel size of 3x3 which is followed by a stride of 1, a padding of 1, and a non-linear activation function layer using a rectifier linear unit (ReLU). It is then followed by a maximum pooling layer which is responsible for dividing the dimensions width and height into two.

The block size is of height 4 till the bottleneck. In this phase, the channel size of the input image is first expanded using a pair of convolutional that allow the network to model richer properties in this down-sampling phase. The maximum pooling layer halves the width and height dimensions of the property map. During each downsampling layer, the input properties passed through the double convolution increase the number of the channels by two which permit the model to learn more accurately. It is then passed through the maximum pooling layer which halves the property maps which are used during the next iteration. The filter sizes used for this operation till the bottleneck are 64, 128, 256, 512, 1024. The bottleneck layer is the base turn point for the model and consists of 1024 filters. After the bottleneck, we have the upsampling path where a transpose convolution is applied to the incoming lower channel size by doubling its dimensions. This process is repeated for each level in this path until the final layer is at the highest level where a final filter of size 1x1 is used to create the landmark heatmaps space predictions. After every convolutional layer, ReLU activation is used to speed up the training process.

Our model has a single-channel grayscale cephalometric image as the input image. All models are trained as 256x256 image size to provide faster training times and easier evaluation.

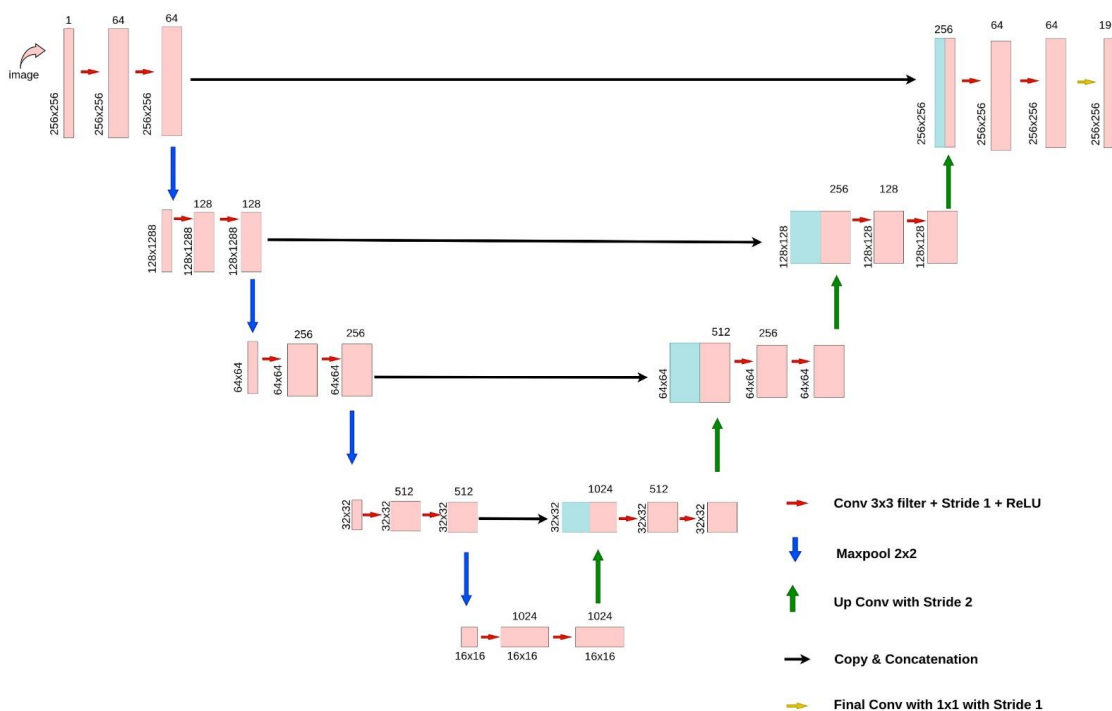


Figure 2. The Proposed U-Net Model Architecture

The application was developed using the PyTorch [11] framework on a 64-bit Intel® Core™ i7-9700F CPU @ 3.00GHz 3.00GHz 16.0GB RAM Computer. Adam Optimization [12] with a batch size of 8 was used for optimizing our training process. We have as an initial learning rate for our model  $10^3$  and our model is trained using 3/4 of the total image dataset. The rest of 1/3 of the images are used during the validation process during our training. We equally have a weight decay of  $10^4$  to avoid the model from overfitting. During our training process, we decrease our learning rate by 10 and restart the training process in case the validation loss does not improve for 10 consecutive epochs. This action stops after 10 consecutive epochs where the validation loss did not change.

## 2.2. Evaluation Metrics

Landmark localization model performance was evaluated using the same measurements used for the ISBI 2015 competition.

We use the Mean Square Error (MSE) as the main metric to evaluate our trained models for our heatmap regressions. The equation for this is shown in equation (1) where  $y$  values are the initial coordinates heatmaps and  $\hat{y}$  are the prediction results generated by our model and  $m$  is the batch size use during process.

$$MSE = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (y - \hat{y})^2 \quad (1)$$

To facilitate the convergence of our model, the amplitude of the coordinates that we initially labeled by the senior doctor is increased. The amplitude and the standard deviation of 1000 and 5 were used respectively, we were able to make our model focus on regressing the coordinates that have the highest amplitude.

During the process, the coordinates with lower amplitude were ignored to fasten our model's convergence.

The Mean Radial Error (MRE) and the Standard Deviation (STD) values are evaluated for performance measures. The Radial Error (R) was used to evaluate the accuracy of our prediction. It is obtained by calculating the Euclidean Distance between the predicted position  $y$  and the actual landmark position initially allocated by the senior doctor  $x$ .

$$R = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \quad (2)$$

In equation (2),  $\Delta x$  and  $\Delta y$ , are the distances between the actual bookmark position and the predicted position.  $N$  indicates the number of sample detections.

The model is equally evaluated based on the MRE and the STD obtained after every training epoch.

$$MRE = \frac{\sum_{i=1}^N R_i}{N} \quad (3)$$

$$STD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (R_i - MRE)^2}{N}} \quad (4)$$

Using equation (5), we are able to determine if a coordinate is determined are in the accepted ranges of 2 mm, 2.5 mm, 3 mm and 4 mm. A coordinate is considered to be in the acceptable range if the predicted coordinates are found within these diameters.

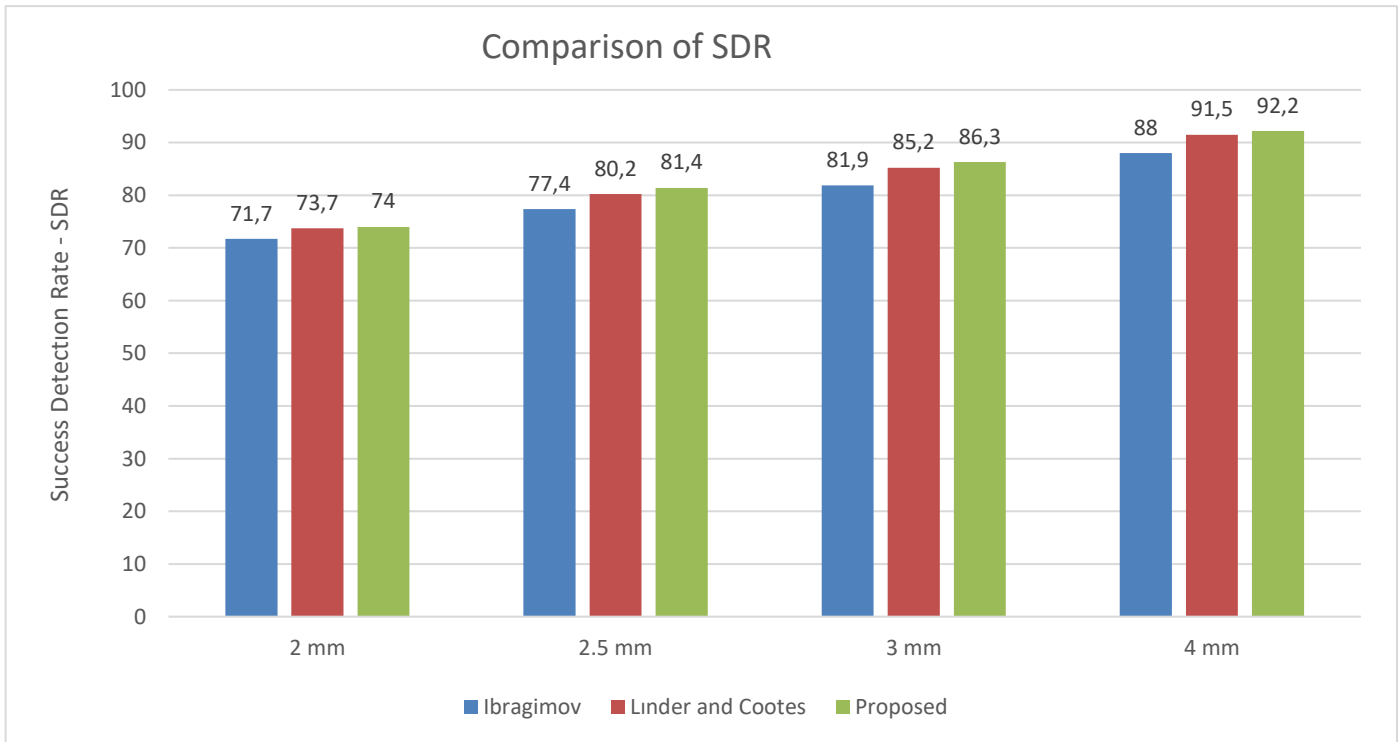


Figure. 3 SDR comparison of our model results with the results got by Ibragimov et al. [4] and Lindner et al. [3]

It is referred to as the Success Detection Rate (SDR).

$$P_z = \frac{\sum\{j:\|L_a(j)-L_b(j)\|<2\}}{\sum\Omega} \times 100 \quad (5)$$

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Result

In this study, cephalometric landmarks were automatically localized using U-Net architecture. After performing data augmentation on our training dataset, we trained our model and evaluated it using the test1 dataset. In order to virtualize the performance boost generated by data augmentation, we initially trained our model using only 150 images provided in the training dataset and subsequently trained it using the 1350 augmented data, and their success detection SDR rates were both calculated using the Test 1 dataset. Table 1 shows the obtained successful results before and after the data augmentation.

As shown in table (1); the results got after data augmentation performed better than the ones done with the original dataset in all the evaluation metrics.

Table 1. Comparisons of SDR on training data with and without data Augmentation.

Dataset	Percentage (%)			
	2mm	2.5mm	3mm	4mm
Without data Augmentation (150 images)	69.37	78.0	84.6	91.12
With data Augmentation (1350 images)	74.0	81.4	86.3	92.2

#### 3.2. Discussion

The performance of application models in the localization role was compared to the best solution in the ISBI 2015 Challenge [13]. As shown in Figure (3), the results that we obtained using this model were compared with the results found by other experts based on the same dataset. Ibragimov et al. [4] was able to get a SDR of 71.7% on 2mm range, 77.4% on 2.5mm, 81.9% on 3mm and 88% on 4mm range. Lindner et al. [3] proposed method got 73.7% on 2mm range, 80.2% on 2.5mm, 85.2% on 3mm and 91.5% on 4mm range. Our proposed U-Net model, consisting of the base model, achieved 74% SDR in the range of 2 mm. In the range of 2.5 mm, it resulted in an SDR of 81.4%, 86.3% in the 3 mm range, and 92.2% in the 4mm range. The proposed method shows better results in all the evaluation metrics as shown in figure (3).

### 4. Conclusions

In this study, A modified U-net model was proposed to address the problem of the determination of cephalometric

landmarks. We applied Data Augmentation to the training dataset and successfully generated a total of 1350 images. All models were trained using images of size 256x256 to provide faster training and easier experiments. The SDR achieved through this framework shows success results as shown in figure (3). The proposed U-Net model performs better and gives better results when compared to the results accepted during the competition launched by ISBI 2015.

### References

1. Qian, J., et al. *CephaNet: An Improved Faster R-CNN for Cephalometric Landmark Detection*. in *2019 IEEE 16th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI 2019)*. 2019. IEEE.
2. Yue, W., et al., *Automated 2-D cephalometric analysis on X-ray images by a model-based approach*. *IEEE transactions on biomedical engineering*, 2006. **53**(8): p. 1615-1623.
3. Lindner, C. and T.F. Cootes. *Fully automatic cephalometric evaluation using random forest regression-voting*. in *IEEE International Symposium on Biomedical Imaging*. 2015. Citeseer.
4. Ibragimov, B., et al. *Computerized cephalometry by game theory with shape-and appearance-based landmark refinement*. in *Proceedings of International Symposium on Biomedical imaging (ISBI)*. 2015.
5. Cardillo, J. and M.A. Sid-Ahmed, *An image processing system for locating craniofacial landmarks*. *IEEE transactions on medical imaging*, 1994. **13**(2): p. 275-289.
6. Lee, H., M. Park, and J. Kim. *Cephalometric landmark detection in dental x-ray images using convolutional neural networks*. in *Medical Imaging 2017: Computer-Aided Diagnosis*. 2017. International Society for Optics and Photonics.
7. Lindner, C., et al., *Fully automatic system for accurate localisation and analysis of cephalometric landmarks in lateral cephalograms*. *Scientific reports*, 2016. **6**: p. 33581.
8. Jung, A.B., *imgaug*. Online; accessed 30-Oct-2018, 2018.
9. Ronneberger, O., P. Fischer, and T. Brox. *U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation*. in *International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention*. 2015. Springer.
10. Goutham, E., et al. *Automatic Localization of Landmarks in Cephalometric Images via Modified U-Net*. in *2019 10th international conference on computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*. 2019. IEEE.
11. Paszke, A., et al., *Automatic differentiation in pytorch*. 2017.
12. Kingma, D.P. and J. Ba, *Adam: A method for stochastic optimization*. arXiv preprint arXiv:1412.6980, 2014.
13. Wang, C.-W., et al., *A benchmark for comparison of dental radiography analysis algorithms*. *Medical image analysis*, 2016. **31**: p. 63-76.



# Balata ve Şim Bileşenlerinin Yarı Sıcak Preslenmesi ve Prosesler Sonrası Uygunluk Kontrolünün Sağlanması

Muhammed Abdullah Özel<sup>1\*</sup>, Cemil Sungur<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Elektrik Elektronik Mühendisliği / Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya Teknik Üniversitesi (ORCID: 0000-0003-3056-6438), [ozel.muhammed@aydtr.com](mailto:ozel.muhammed@aydtr.com)

<sup>2</sup> Elektrik Elektronik Mühendisliği / Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya Teknik Üniversitesi (ORCID: 0000-0003-2340-6225), [csungur@ktun.edu.tr](mailto:csungur@ktun.edu.tr)

(2nd International Conference on Computer, Electrical and Electronic Sciences ICCEES 2021, September 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.994120)

**ATIF/REFERENCE:** Özel, M., Sungur, C. (2021). Balata ve Şim Bileşenlerinin Yarı Sıcak Preslenmesi ve Prosesler Sonrası Uygunluk Kontrolünün Sağlanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (30), 53-55.

## Öz

Bir aracın hareket etmesi ne kadar önemliyse, durması da bir o kadar önemlidir. Fren sisteminin sağlıklı bir şekilde işlevini yerine getirmesi balatalarla doğrudan ilişkilidir. Balataların yapıları gereği ömürleri vardır. Bitmeye başlayan balata, kaliper ve disklerin sürtünmesine neden olur ve sürücülere ses olarak yansır. Ancak, frenden gelen sesin tek yanıtı balatanın bitmesi olmayabilir. Kaliper ve balata arasında oluşan orta frekanslı titreşimlerde bu sese neden olabilir. Bu sesin önlenmesi için ses önleyici sabitleyiciler gerekmektedir.

Balata gövdesine şim parçasının yapıştırılması için hali hazırda hazır yapıştırıcı ürünler kullanılmaktadır veya presleme işlemi kullanılmamaktadır. Üretim sırasında şim parçası balata üzerinde yanlış hizalanırsa ses ve titreşim sorunlarına sebebiyet verebilmektedir. Mevcut sistemlerde uygunluk ve pozisyon kontrolü tamamen operatör insiyatifindedir.

Bu nedenle yapılan çalışmada şim tabakasının yarı sıcak olarak fren balatası yüzeyine preslenmesi işlemi hassasiyetle gerçekleştirilip, işlem sonrasında, bu sistem için eğitilmiş derin öğrenme algoritmaları ile operatörden bağımsız olarak şim levhanın astar gövdesi üzerindeki konum kontrolü yapılabilmektedir. Şim bileşensiz balata, hazır yapıştırılmış şimli balata ve yarı-sıcak preslenmiş şimli balata karşılaştırılması yapılmış, yarı-sıcak preslenmiş ve doğru pozisyonlanmış şim bileşenli balatanın 300-5000Hz frekans aralığındaki kaliperden gelen titreşimlerin %80 oranda engellediği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Balata, Şim, Yarı Sıcak Pres, Görüntü İşleme, Kontrol.

## Semi-Hot Pressing with Brake Pad and Shim Components and Providing Control of Suitable after Process

### Abstract

As important as it is for a vehicle to move, it is just as important to stop. The healthy functioning of the brake system is directly related to the pads. Pads have a lifetime due to their structure. Running out of pads, causes friction of the caliper and discs and it is reflected to the drivers as sound. However, the only response to the noise from the brake may not be that the pad is worn out. The mid-frequency vibrations between the caliper and pad can cause noise on brake. Anti-noise stabilizers are required to prevent that noise.

Ready-made adhesive products are used to attach the shim piece to the pad body or pressing process is not used. On production process if shim attached to pad body misaligned way, it could cause noise and vibration. In existing production system, alignment on product is controlled by operator

Adhesion of the shim piece to the pad, which is one of the most important parts for vehicles, is already used with ready-made adhesive products or pressing is not used. If this component is misaligned, it can cause the same noise and vibration problems. In existing systems, product suitability and position control are completely under the operator's control.

For this reason, in the study, the process of pressing the shim layer to the brake pad surface in a semi-hot condition is carried out with precision, and after the process, the position control of the shim plate on the lining body of the shim plate can be performed independently of the operator with the deep learning algorithms trained for this system. A comparison was made between pad without shim component, ready glued shim pad and semi-hot pressed shim pad, and it was determined that the pad with semi-hot pressed and correctly positioned shim component prevented the vibrations coming from the caliper in the 300-5000Hz frequency range by 80%.

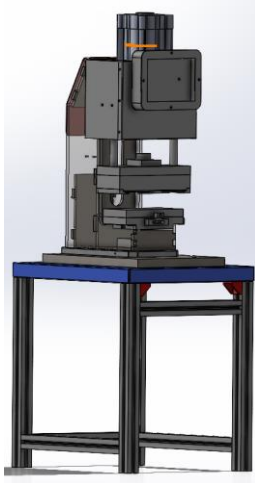
**Keywords:** Lining, Shim, Semi-Hot Press, Image Processing, Control

\* Sorumlu Yazar: [ozel.muhammed@aydtr.com](mailto:ozel.muhammed@aydtr.com)



## 1. Giriş

Çalışma kapsamında otomatik presleme operasyonu için literatür araştırması yapılarak proses kapsamında veriler toplanıp en uygun malzeme seçimi ve tasarım gerçekleştirilmesi için incelemeler yapılmıştır. Şim bileşeninin balata gövdesine eklenmesi, kaliperden oluşan seslerin engellenmesini sağlamaktadır. Kaliper ve balata arasında oluşan orta frekanslı titreşimlerin önlenmesi için ses önleyici sabitleyiciler (şim) gerekmektedir. Bu bileşen yanlış hizalanırsa da aynı sorunlara sebebiyet verebilmektedir. Literatür taraması geniş kapsamlı bir şekilde yapılmıştır. Halihazırda kullanılan sistemlerde şim bileşeni hazır yapışkanlı bir şekilde balata gövdesine yapılandırılmakta veya şim takılmadan üretilmektedir. Literatür taraması sonucunda bu prosesin yarı sıcak presleme işlemi ile yapılmadığı ve proses sonrası şim hizalama kontrolünün yapılmadığı görülmüştür. Tasarım için hem presleme hem de kontrol prosesi göz önüne alınmış, buna yönelik makine tasarımı Solidworks ile yapılmıştır.



Şekil 1. Makine Tasarımı

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Sistem

Sistemde kontrolcü olarak PLC kullanılmıştır. Sıcaklık dengelemesi için PID kontrol yazılımı sisteme uygun bir şekilde yazılmıştır. Sıcaklık dengelemesi için PID kontrolü önem taşımaktadır. Hassas yük kontrolü gerçekleştirilebilmesi için yük hücresi kullanılmıştır ve sistemde istenilen yükün kontrol edilebilmesi için oransal regülatör kullanılmıştır. Operatör tarafından yük, sıcaklık ve işlem süresi verileri SCADA üzerinden girilebilecek, ürün ağacına göre kalıplaşmış reçete sistemi hazırlanabilecek ve güncellenebilecektir. Panelden girilen yük, loadcell tarafından algılandığı andan itibaren istenilen işlem süresi boyunca presleme işlemi gerçekleştirilecektir. Proses sonrası görüntü işleme ve derin öğrenme algoritmaları kullanılarak gerçekleştirilecek olan presleme işlemi, şim parçasının uygun kriterde prosesini tamamladığını tespit edecektir.

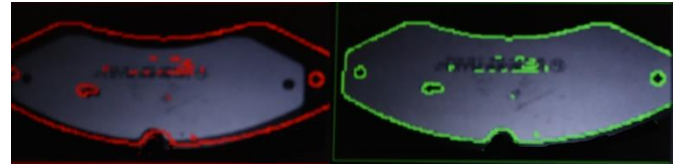
### 2.1.1. Yarı-Sıcak Press & Görüntü İşleme

Şim sacı, balata gövdesi üzerine 240 C° yarı sıcak presleme işlemi ile yapılmaktadır. AYD AR-GE merkezinde yapılan çalışmalar ile 240 C° sıcaklık değeri, şim sacının balata yüzeyine preslendikten sonra yapılan kopma testleri sonucunda belirlenmiştir. Yapışma işlemi sırasında önemli kriterlerden biri de preslemede süresidir. Presleme süresi, şim sacının mekanik özelliklerini etkileyecektir.



Şekil 2. SCADA Panel Görüntüsü

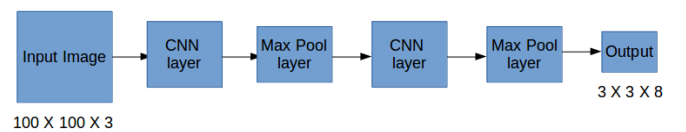
300-5000Hz frekans aralığında olan titreşimlerin ve gıcırdamaların en önemli nedeni ses önleyici sabitleyicilerin yani şimlerin yanlış hizalanmasından kaynaklanmaktadır. Bu sebeple yarı sıcak presleme prosesi sonrası şimlerin pozisyon kontrolleri tam otomatik bir şekilde yapılmalıdır. Hazırlanan görüntü işleme algoritması ile balata üzerinde şim sınır noktaları belirlenmektedir. Şim sınır noktaları presleme sonrası uygunluk kontrolü için belirlenen bölgeye konulmalıdır. Sınır noktaları için belirlenen yüzdelik altında kalırsa red verilir ve kırmızı uyarı ışığı yanar, istenilen yüzdelikte olursa onay verilir.



Şekil 3. Örnek Onay/Red Görüntüsü

Balata üzerinde şim var olup olmadığı Derin öğrenme algoritması ile belirlenir. Derin öğrenme algoritması olarak YOLO algoritması tercih edilmiştir.

YOLO tüm görüntüyü tek bir örnekte alır ve bu kutular için sınırlayıcı kutu koordinatlarını ve sınıf olasılıklarını tahmin eder. YOLO kullanmanın en büyük avantajı üstün hızıdır ve saniyede 45 kare işleyebilir. Şim yoksa tespit işlemi gerçekleşmez.



Şekil 4. YOLO İş Akışı

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Bulgular

Yapılan çalışma ile balata gövdesi üzerine şim parçası %100 yük kontrollü olarak preslenmiştir. Yarı sıcak şekilde preslenen şim parçasının yapışma oranının yapılan çekme testlerinin sonucunda uygun olduğu tespit edilmiştir. Presleme operasyonu sonrasında şim parçasının balata gövdesi üzerine uygun formda konumlandırılması için görüntü işleme tekniği kullanılmış ve Python programlama dilinden yararlanılarak proses kontrol süreci %100 başarı sağlanmıştır. Hatalı ürün sonrası yapılan tespit ile operatör kontrolüne bakılmaksızın görüntü işleme algoritmasından gelen bilgi PLC ile haberleşerek sistemin belirlenen şim presleme prosedürünün kontrolünü sağlamaktadır.

#### 4. Sonuç

Bu prosesle ilgili yapılan literatür araştırmalarında şim sacının balata gövdesi üzerindeki konumunun ve yapışma oranının, balatalar üzerindeki sönümlenme davranışına etkisi araştırılmış, sonrasında sönümlenme ve gürültüler test edilerek sönümlenme oranları test edilmiştir. Araştırmalar sonucunda literatürde karşılaşılan konum ve yapışkanlık oranından kaynaklanan birçok soruna, bu çalışmaya entegre edilen kontrolcü ve algılayıcılar vasıtasıyla çözüm sağlanmış ve şim malzemesinin balata üzerinde verimli bir şekilde çalışabilmesi için önemli bir metod geliştirilmiştir.

Yapılan çalışmada sıcaklık ve yük verisinin sürekli olarak kontrol altında tutulması için PID kontrol yöntemi kullanılmıştır. Yük hücresi kullanılmış ve yarı sıcak presleme süreci otomatikleştirilmiştir. Bu geliştirmenin sonucunda şim sacının balata gövdesi üzerindeki yapışkanlık oranı artırılmıştır. Presleme süreci sonrası balata üzerine şim parçasının montajı görüntü işleme algoritmaları ile kontrol edilerek gerçekleştirilmiştir ve şim sacının balata gövdesi üzerindeki pozisyonlama hatasından dolayı oluşabilecek gürültü problemleri önlenmiştir. Geliştirmeler sonucunda araç frenleme sisteminin en önemli parçası olan balata için sönümlenme ve fren sesi kalitesi iyileştirilmiştir. Prosesin yük, sıcaklık ve konum verileri sistem tarafından sürekli kontrol edilmesi ve literatürde bulunan mevcut sistemlere göre otomatik çalışması faktörleri nedeniyle bu çalışma, şim sacı ve balata bileşenlerinin yarı sıcak preslenmesi süreci için en uygun sistem olarak değerlendirilebilir.

#### 5. Teşekkür

Bu çalışma AYD0121-06 nolu proje ile desteklenmiştir. Çalışmada desteklerinden dolayı Danışman hocamız Sn. Prof. Dr. Cemil SUNGUR'a ve AYD AR-GE müdürümüz Sn. Ahmet ÇAKAL'a teşekkür ederiz.

#### Kaynakça

- [1] Pulkit Sharma, "Practical Guide to Object Detection using the Popular YOLO Framework Part3", December. 6, 2018.
- [2] Sugözü, İ., Mutlu, İ., & Öner, C. (2011). Fren Balatası Üretiminde Sıcak Presleme Süresinin Frenleme Karakteristiğine Etkisinin Araştırılması. In 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ, Turkey.

- [3] Ertan, R. (2008). Fren balata malzemelerinin optimizasyonu ve üretim parametrelerinin analizi.
- [4] Topuz, P. (2018). Otomobil disk fren balatalarının deneysel yöntemlerle karakterizasyonu ve karşılaştırılması. Marmara Fen Bilimleri Dergisi, 30(3), 241-248.
- [5] Schmid, D., Gräbner, N., & von Wagner, U. (2017). Experimental investigations of brake pad shim properties. PAMM, 17(1),41-44.
- [6] Schmid, D., Gräbner, N., & von Wagner, U. (2019). On Brake Pad Shim Characterization: a Homogenization Approach and Finite Element Analysis. In New Achievements in Continuum Mechanics and Thermodynamics (pp. 447-464). Springer, Cham.



# Fusion of CT and MR Liver Images Using Multiresolution Analysis Methods

Mücahit Cihan<sup>1\*</sup>, Murat Ceylan<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Konya Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Electrical and Electronics Engineering, Konya, Turkey (ORCID: 0000-0002-1426-319X), [mcihan@ktun.edu.tr](mailto:mcihan@ktun.edu.tr)

<sup>2</sup> Konya Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Electrical and Electronics Engineering, Konya, Turkey (ORCID: 0000-0001-6503-9668), [mceylan@ktun.edu.tr](mailto:mceylan@ktun.edu.tr)

(2<sup>nd</sup> International Conference on Computer, Electrical and Electronic Sciences ICCEES 2021 – 1-3 Eylül 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1005858)

**ATIF/REFERENCE:** Cihan, M. & Ceylan, M. (2021). Fusion of CT and MR Liver Images Using Multiresolution Analysis Methods. European Journal of Science and Technology, (30), 56-61.

## Abstract

There are various medical imaging techniques such as Computed Tomography (CT) and Magnetic Resonance (MR) techniques. Both techniques give complex features of the region to be imaged. This study proposes an approach that uses Multiresolution Analysis (MRA) methods to fuse CT and MR liver images to obtain as detailed images as possible for medical diagnostic purposes. The transform coefficients are obtained by applying MRA methods to the images. Images are combined by applying 3 different fusion rules to these transform coefficients. Peak Signal to Noise Rate (PSNR), Structural Similarity Index Measure (SSIM) and Mean Square Error (MSE) values are calculated to evaluate the fused images. When comparing the methods, the best result was obtained using complex-valued curvelet transform.

**Keywords:** Image Fusion, Multiresolution Analysis Methods, CT, MR.

## Çoklu Çözünürlük Analiz Yöntemleri Kullanılarak BT ve MR Karaciğer Görüntülerinin Füzyonu

### Öz

Bilgisayarlı Tomografi (BT) ve Manyetik Rezonans (MR) teknikleri gibi çeşitli tıbbi görüntüleme teknikleri mevcuttur. Her iki teknik de görüntülenecek bölgenin kompleks özelliklerini vermektedir. Bu çalışma, tıbbi teşhis amacıyla mümkün olduğunca ayrıntılı görüntüler elde etmek için BT ve MR karaciğer görüntülerini birleştirmek için Çoklu Çözünürlük Analizi (ÇÇA) yöntemlerini kullanan bir yaklaşım önermektedir. Görüntülere ÇÇA yöntemleri uygulanarak dönüşüm katsayıları elde edilir. Bu dönüşüm katsayılarına 3 farklı füzyon kuralı uygulanarak görüntüler birleştirilir. Birleştirilmiş görüntüleri değerlendirmek için Tepe sinyal-gürültü oranı (PSNR), Yapısal benzerlik endeksi Ölçümü (SSIM) ve Ortalama Kare Hata (MSE) değerleri hesaplanmıştır. Kullanılan ÇÇA yöntemleri karşılaştırıldığında, en iyi sonuç kompleks-değerli curvelet dönüşümü kullanılarak elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Görüntü Füzyonu, Çoklu Çözünürlük Analiz Yöntemleri, BT, MR.

\* Corresponding Author: [mcihan@ktun.edu.tr](mailto:mcihan@ktun.edu.tr)

## 1. Introduction

Image fusion is the process of combining two images of the same scene to create a single image containing as much information as possible. Image fusion is important in many different image processing fields, such as satellite imaging, remote sensing, and medical imaging. The study in the field of image fusion evolved to serve the advancement in satellite imaging and was subsequently expanded into the field of medical imaging (Ali et al., 2008). In medical imaging, the images of different modalities can be combined to aid the diagnostic process. The purpose of image fusion is to reduce the amount of data, as well as to create new images that are more suitable for human/machine detection purposes and further image processing tasks such as segmentation, object detection or target recognition in applications like remote sensing and medical imaging (Ali et al., 2010).

Multiresolution Analysis (MRA) methods have become very popular especially with the development of wavelets. MRA methods that capture different features of images at various scales are widely used in image processing applications (Öztürk and Ceylan, 2015). Multiresolution is concerned with the display and analysis of images in different resolutions. Inconspicuous features at one level can be easily detected at another. Multiresolution analysis is based on Wavelet Transform (Morlet et al., 1982). Wavelet Transform (WT) was used in medical images for the first time in the studies of Mojsilovic et al. (1996). There are several image fusion studies done with different MRA methods. Ali et al. (2010), CT and MR medical images were combined using the curvelet transform. Image fusion was applied using the Ridgelet transform (Bhateja et al., 2015).

In this study, CT and MR images obtained from 46 patients were used for image fusion. Three different MRA methods were used for the fusion process. These methods are 2d-discrete wavelet transform (2D-DWT), ridgelet transform and curvelet transform. Three different fusion rules (mean, maximum and minimum) were determined for the study. Peak Signal to Noise Rate, Structural Similarity Index Measure and Mean Square Error values were obtained to evaluate the obtained fusion images. For both CT and MR images, the best result was achieved using complex-valued curvelet transform.

## 2. Material and Method

In this study, MRA techniques are given in Section 2.1. Image registration is included in Section 2.2. Image fusion and fusion rules are given in Section 2.3. Performance evaluation methods are given in Section 2.4.

### 2.1. Multiresolution Analysis (MRA) Methods

#### 2.1.1. Wavelet Transform (WT)

Wavelet Transform is an effective tool used for image analysis methods. WT is a method that examines each component in a resolution suitable for its scale by dividing the data into different frequency components (Cihan and Ceylan, 2021). One of its biggest advantages is that it allows local analysis. In this way, large signals can be analyzed in a small area. Figure 1(a) shows the 2D-DWT analysis process using filter functions. Also, Figure 1(b) shows the first level decomposition process and the wavelet coefficients obtained as a result for 2D-DWT. As a result of this process, the approximation coefficients are obtained by

applying a low-pass filter ( $L(n)$ ), and by applying a high-pass filter ( $H(n)$ ), the detail coefficients are obtained. LL includes the approximation coefficients, while LH, HL and HH include the detail coefficients. Higher level decomposition processes can be applied by using LL coefficients.

The wavelet function family is obtained by shifting and scaling the mother wavelet function. Equation 1 shows a wavelet formula derived from the mother wavelet. Parameter  $a$  is the scaling factor, parameter  $b$  is the shifting factor. Here the scaling factor is a real number greater than zero and the shifting factor is a real number.

$$\Psi(a, b)(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (1)$$

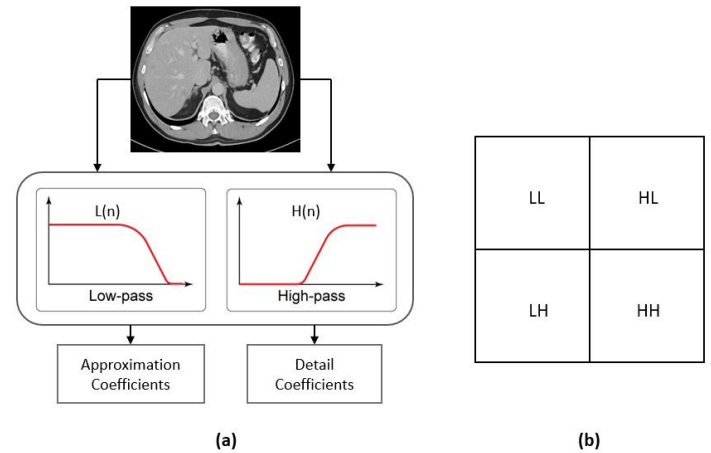


Figure 1. Applying WT to an image: (a) one-level two-dimensional WT, (b) WT coefficient matrix obtained by decomposition level

#### 2.1.2. Ridgelet Transform

Although Wavelet Transform is a successful method of capturing point singularities in one-dimensional particle smooth functions, it cannot efficiently represent objects with highly anisotropic elements such as linear or curvilinear structures (i.e., edges and corners). This is because wavelets are not geometric and cannot benefit from edge curve regularity (Candes and Donoho, 2004).

While applying ridgelet transform, which is a preferred method in image analysis studies, the ridgelet function (Equation 2) is used. The ridgelet function provides a versatile analysis along straight lines thanks to the angle parameter it contains. Ridgelet transform is implemented similarly to WT. The ridgelet transform coefficients of a 2D signal  $f(x_1, x_2)$  are obtained from the product of the original signal and the ridgelet function (Equation 3). In Equation 3,  $\Psi(\cdot)$  represents 1D wavelet function so that  $x = (x_1, x_2) \in R^2$  condition is satisfied. In the same equation,  $\theta (\theta \in [0, 2\pi])$  is the direction parameter (Öztürk et al., 2014).

$$\Psi_{s,p,\theta}(x) = s^{-1/2} \Psi((x_1 \cos \theta + x_2 \sin \theta - p)/s) \quad (2)$$

$$R(s, p, \theta) = \int_{R^2} \Psi_{s,p,\theta}(x) f(x_1, x_2) dx_1 dx_2 \quad (3)$$

Ridgelet transform is basically a radon transform; the radon transform is also based on the fourier transform. To obtain the radon transform coefficients of an image, first the 2D fourier transform of the image is taken and interpolated along straight lines to the obtained coefficients. When 1D inverse fourier is

applied to the result of interpolation, radon coefficients are obtained. Radon transforms the curves contained in images into point discontinuities. The radon transform of an image ( $f(x, y)$ ) can also be expressed as follows to show the  $\delta$  Dirac distribution:

$$P(r, \theta) = \int_{R^2} f(x, y) \delta(x \cos \theta + y \sin \theta - r) dx dy \quad (4)$$

If 1D WT is applied to the Radon coefficients, ridgelet transform coefficients are reached (Equation 4). The application of ridgelet transform depending on the fourier transform is given in Figure 2.

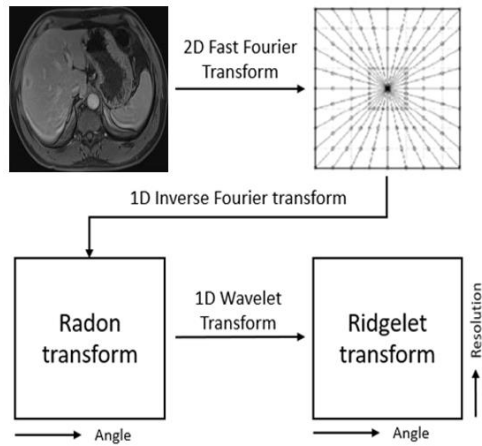


Figure 2. Scheme of Ridgelet Transform

### 2.1.3. Curvelet Transform

Edge structures on the image are curved rather than straight lines. Although ridgelet transform was a successful method for capturing regions containing edges and linear singularities, it was insufficient to capture regions containing curvilinear singularities. Curvelet Transform has been developed to solve this problem (Fadili and Starck, 2009).

The curvelet transform was first introduced by Candes and Donoho (1999) and revised in 2003. Curvelet transform is a high dimensional generalization of wavelet transform designed to represent images in different scales and directions (angles). It is seen as a multi-scale pyramid with frame elements indexed according to position, scale and direction parameters. Curvelet pyramid has a very high directional sensitivity and degree of anisotropy (Alzubi et al., 2011).

There are two types of curvelet transform, called first generation and second generation. Although the first-generation curvelet transform is used effectively to remove noise from images, it requires more processing time compared to the second generation. In addition, the numerical implementation of the first-generation curvelet transform is quite complex, and the second-generation curvelet transform can be applied in a shorter time, with less processing and in a simpler manner (Candes et al., 2006). In this study, we used the second-generation curvelet transform with real and complex values. The scheme of the second-generation curvelet transform is given in Figure 3.

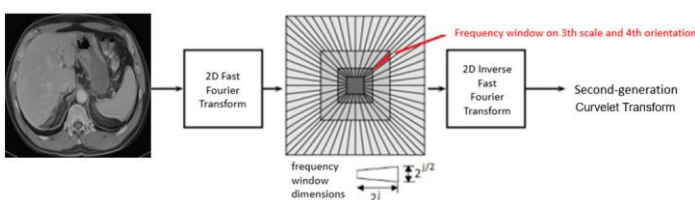


Figure 3. Scheme of Curvelet Transform

## 2.2. Image Registration

In order for the fusion process to be applied, the dimensions of the image should be the same. The dimensions of the CT images used in this study are 512x512, while the dimensions of the MR images are 320x260. First of all, the frames were determined to include the object (Figure 4). Then, both CT and MR images were then rescaled to 512x512 (Figure 5). In this way, the images are made suitable for the fusion process.

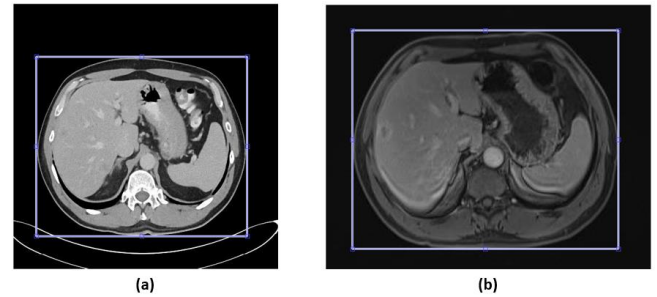


Figure 4. Frame determination process for image fusion (a) CT image (b) MR image

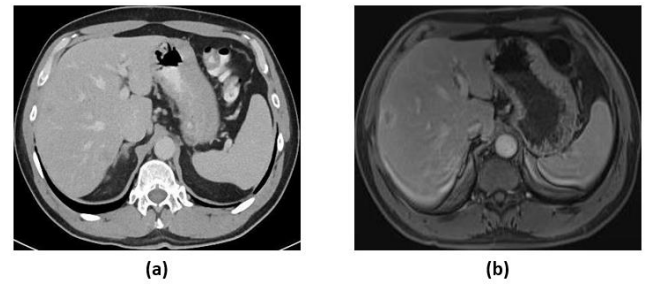


Figure 5. Resized 512x512 images (a) CT image (b) MR image

## 2.3. Image Fusion and Fusion Rules

Image fusion is defined as the collection of important features from more than one image, combining them into fewer images, usually a single image (Cihan and Ceylan, 2021). This single image is more informative than any single source image and contains all the necessary information. In computer vision, image fusion is the process of combining relevant information from two or more images into a single image. The resulting image will have more information than any of the input images (Pjares and De La Cruz, 2004).

In this study, we use multiresolution analysis methods to combine CT and MR liver images. The principle of image fusion using multiresolution analysis methods is to combine the decomposition of images using fusion methods applied to approximation coefficients and detail coefficients.

Three different fusion rules were used for this study. In Equation 5-7, C and M letters denote the transform coefficients obtained from the images of the CT and MR, respectively. These rules were applied to each value of the coefficient matrices and at the end of the fusion process, combined images were obtained. Hence, all the features of CT and MR liver images are accumulated in one matrix. An example of DWT based fusion method is given in Figure 6.

$$F1 = (C + M) / 2 \quad (5)$$

$$F2 = \max(C, M) \quad (6)$$

$$F3 = \min(C, M) \quad (7)$$

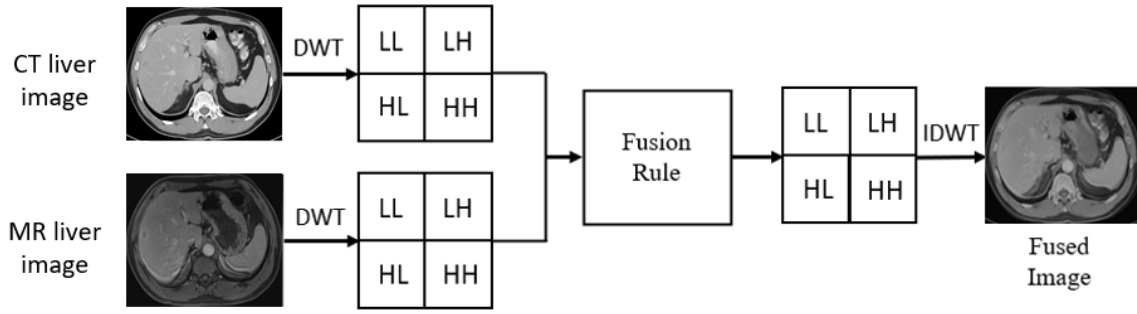


Figure 6. An example of 2D-DWT based fusion method

### 2.4. Performance Measurement

For the evaluation of the performance of the fusion algorithms, the visual quality of the obtained fusion result as well as the quantitative analysis are used. In order to compare the performances of Multiresolution Analysis methods, we have calculated PSNR, SSIM and MSE values for each image.

#### 2.4.1. Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)

PSNR is an objective performance test that provides scoring of loss information in dB. Higher PSNR means less distortion (Chen et al., 2020). Given that  $x$  is the original image,  $y$  is the resulting image,  $\sigma$  is standard deviation and  $E$  is error, the PSNR is represented as:

$$PSNR(x, y) = 20 \cdot \log\left(\frac{255}{\sigma(\sum_i^M \sum_{j=1}^N (E_{x(i,j)} - E_{y(i,j)}))}\right) \quad (8)$$

#### 2.4.2. Structural Similarity Index Measure (SSIM)

The SSIM index is calculated on various windows of an image. The measure between two windows  $x$  and  $y$  of common size  $N \times N$ , let  $\mu_x$  denote the mean of  $x$ , let  $\sigma_x^2$  and  $\sigma_{xy}$  be the variance of  $x$  and covariance of  $x$  and  $y$ . The SSIM index between signals  $x$  and  $y$  is:

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(\mu_x^2\mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2\sigma_y^2 + c_2)} \quad (9)$$

#### 2.4.3. Mean Square Error (MSE)

MSE calculates the square of the numerical difference between two images. Low MSE means cleaner image.  $R$  and  $C$  specify the number of rows and columns of  $x$  and  $y$  images, while MSE is represented as:

$$MSE(x, y) = \frac{1}{RC} \sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^C (x_{i,j} - y_{i,j})^2 \quad (10)$$

## 3. Experimental Results

In this study, CT and MR liver images of 46 patients were used. The size of CT images is 512x512 while the size of MR images is 320x260. First of all, the frame detection process was applied to all the images to identify the objects, then all the images were resized and set to 512x512. The images were then fused using multiple resolution analysis methods. Three different fusion rules were applied to the transform coefficients for the image fusion. The obtained results after the fusion process are shown in Table 1. The results in this table show the metrics obtained by averaging 46 images.

Table 1. Average values obtained as a result of the comparison of CT and MR images and fusion images

Method	Level	Fusion Rule	PSNR		SSIM		MSE	
			CT	MR	CT	MR	CT	MR
2D-DWT	1	F1	18,36949	18,36949	0,527214	0,380043	1395,262	1395,262
2D-DWT	1	F2	23,10355	13,93919	0,638749	0,304915	477,1125	5103,885
2D-DWT	1	F3	13,93919	23,10355	0,301645	0,446068	5103,885	477,1125
2D-DWT	2	F1	17,60758	18,24109	0,352820	0,306864	1594,978	1403,566
2D-DWT	2	F2	20,11053	13,94932	0,393808	0,228105	761,2442	5009,161
2D-DWT	2	F3	13,83836	22,28227	0,221411	0,276082	5168,845	538,1030
2D-DWT	3	F1	17,60758	18,24109	0,352820	0,306864	1594,978	1403,566
2D-DWT	3	F2	19,69203	13,99068	0,316629	0,199727	812,1168	4915,317
2D-DWT	3	F3	13,82199	21,24334	0,209998	0,187537	5108,327	622,3015
Ridgelet Transform	2	F1	18,36661	18,37218	0,526029	0,347978	1398,751	1391,825
Ridgelet Transform	2	F2	25,17167	13,44431	0,495610	0,125591	288,1630	4800,115
Ridgelet Transform	2	F3	13,44114	25,17754	0,291788	0,284972	4813,979	288,1630
Real-valued Curvelet Transform	2	F1	18,36949	18,36949	0,527214	0,380043	1395,262	1395,262
Real-valued Curvelet Transform	2	F2	20,54739	14,83667	0,436613	0,196760	656,9169	4305,758
Real-valued Curvelet Transform	2	F3	14,83667	20,54739	0,339900	0,184770	4305,758	656,9169
Complex-valued Curvelet Transform	2	F1	18,36949	18,36949	0,527214	0,380043	1395,262	1395,262
Complex-valued Curvelet Transform	2	F2	<b>25,18737</b>	13,40693	<b>0,673143</b>	0,165977	<b>239,7910</b>	5147,907
Complex-valued Curvelet Transform	2	F3	13,40693	<b>25,18737</b>	0,052486	<b>0,516165</b>	5147,907	<b>239,8022</b>

When Table 1 was examined, close values were obtained for all methods and metrics when the F1 fusion rule was applied. The reason for this is to obtain images that are close to each other by applying average values to the transform coefficients. In addition, it is seen that the 2D-DWT method performs poorly even at different levels. By using the complex-valued curvelet transform method and the F2 fusion rule, the best results were obtained for CT images. Again, using the complex-valued curvelet transform method and the F3 fusion rule, the best results for MR images were obtained. Also, the good results were obtained using the ridgelet transform method, using the F2 fusion rule for CT and the F3 fusion rule for MR. Real-value curvelet transform also remained underperforming for all fusion rules. Figure 7 shows CT and MR liver images. The fused images created using these images with MRA methods and three different fusion rules are

shown in Figure 8. When we look at Figure 8, it is seen that better results are obtained with ridgelet transform and complex-valued curvelet transform.

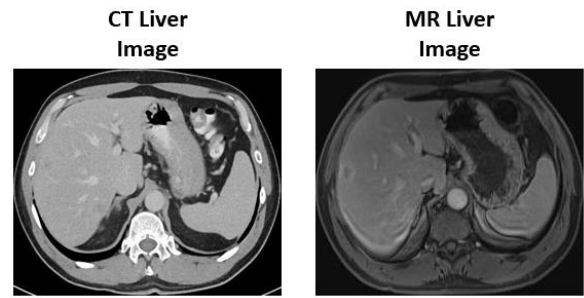


Figure 7. Example of CT and MR images

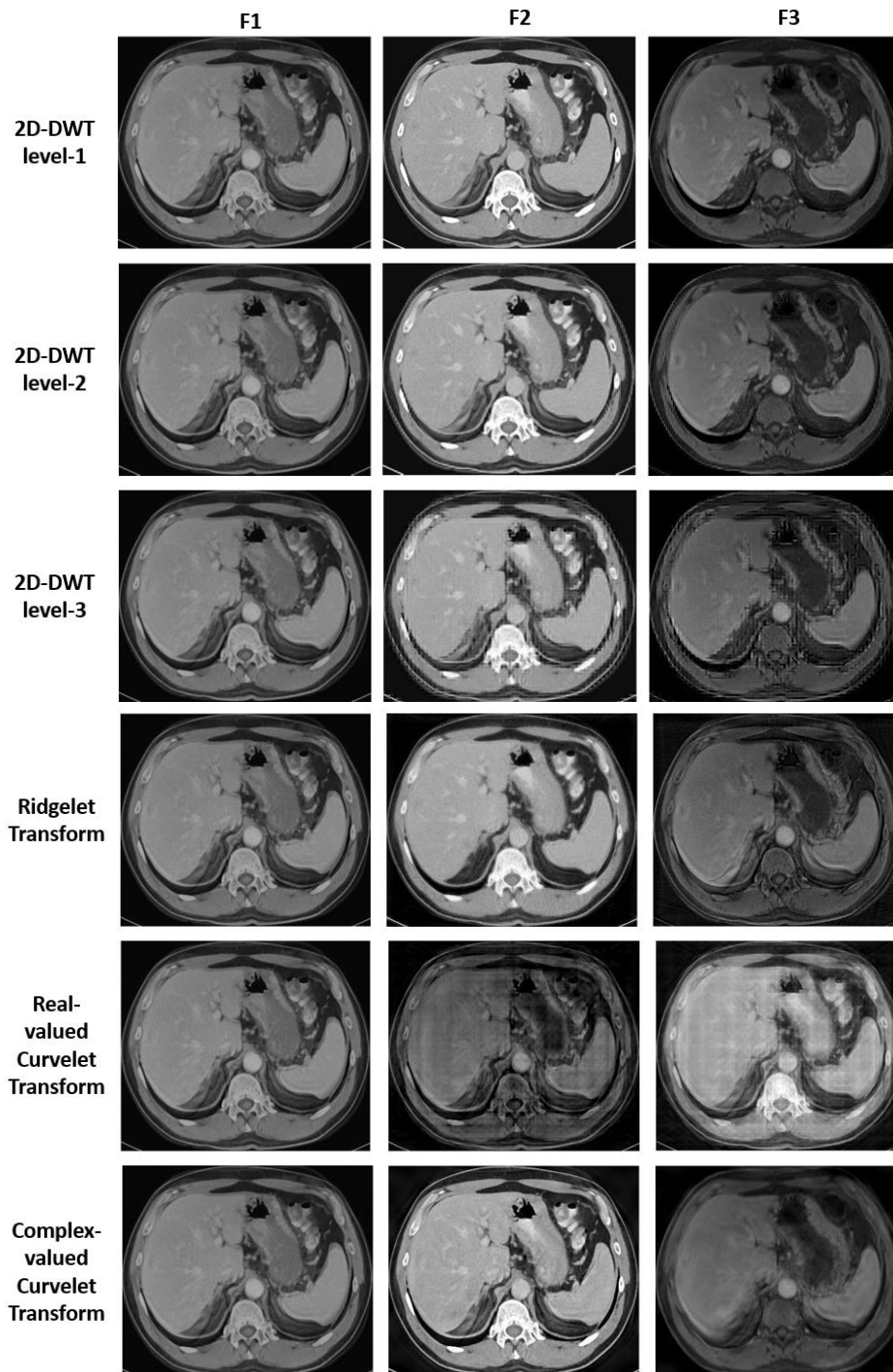


Figure 8. Fused images obtained for different MRA methods and fusion rules

## 4. Conclusion

In this study, the ability of MultiResolution Analysis (MRA) methods in combining Computed Tomography (CT) and Magnetic Resonance (MR) liver images was compared. For the fusion process, 3 different (mean, maximum and minimum) fusion rules were applied to the transform coefficients. The images obtained as a result of fusion were compared using Peak Signal to Noise Rate (PSNR), Structural Similarity Index Measure (SSIM) and Mean Square Error (MSE) metrics. In addition, the images obtained as a result of fusion are shown in Figure 8, and these images are compared visually.

When the results were examined, the best results were obtained for both CT and MR images with complex-valued curvelet transform. While the maximum selection rule gave better results in CT images, the minimum selection rule gave better results in MR images. This is because the brightness in CT images is high, and the brightness in MR images is low. These results showed that complex-valued curvelet transform gives better results in CT and MR liver image fusion compared to other methods.

## References

- Ali, F. E., El-Dokany, I. M., Saad, A. A., & Abd El-Samie, F. E. S. (2008). Curvelet fusion of MR and CT images. *Progress in Electromagnetics Research*, 3, 215-224.
- Ali, F. E., El-Dokany, I. M., Saad, A. A., & Abd El-Samie, F. E. (2010). A curvelet transform approach for the fusion of MR and CT images. *Journal of Modern Optics*, 57(4), 273-286.
- Alzubi, S., Sharif, S., Islam, N. and Abbod, M. (2011). Multi-resolution analysis using curvelet and wavelet transforms for medical imaging, *IEEE International Workshop on Medical Measurements and Applications Proceedings, Bari-Italy*, 188-191.
- Bhateja, V., Krishn, A., Patel, H., & Sahu, A. (2015). Medical image fusion in wavelet and ridgelet domains: A comparative evaluation. *International Journal of Rough Sets and Data Analysis (IJRSDA)*, 2(2), 78-91.
- Candes, E. and Donoho, D.L. (1999). Ridgelets: the key to high-dimensional intermittency, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 357 (1760), 2495-2509.
- Candes, E. J., & Donoho, D. L. (2004). New tight frames of curvelets and optimal representations of objects with piecewise C2 singularities, *Communications on Pure and Applied Mathematics: A Journal Issued by the Courant Institute of Mathematical Sciences*, 57(2), 219-266.
- Candes, E.J., Demanet, L., Donoho, D.L. and Ying, L. (2006). Fast discrete curvelet transforms, *Multiscale Modeling and Simulation*, 5 (3), 861-899.
- Chen, Y., Niu, K., Zeng, Z., & Pan, Y. (2020). A wavelet based deep learning method for underwater image super resolution reconstruction, *IEEE Access*, 8, 117759-117769.
- Cihan, M. and Ceylan, M. (2021). Fusion and CNN Based Classification of Liver Focal Lesions Using Magnetic Resonance Imaging Phases, *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, accepted.
- Fadili, J. and Starck, J. L. (2009). Curvelets and ridgelets, R.A. Meyers, ed. *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*, Springer New York, 1718-1738.
- Mojsilovic, A., Popovic, M. and Sevic, D. (1996). Classification of the ultrasound liver images with the 2N/spl times/1-D

- wavelet transform, In *Proceedings of 3rd IEEE International Conference on Image Processing*, 1, 367-370.
- Morlet, J., Arehs, G., Forugeau, I. and Giard, D. (1982). Wave Propagation and Sampling Theory, *Geophysics*, 47 (2), 203-236.
- Öztürk, A. E. and Ceylan, M. (2015). Fusion and ANN based classification of liver focal lesions using phases in magnetic resonance imaging, In *2015 IEEE 12th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI)*, 415-419.
- Öztürk, A.E., Ceylan, M. and Kıvrak, A.S. (2014). A new approach for liver classification using ridgelet / ripplelet-II transforms, feature groups and ANN, *6th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering-MBEC 2014, Dubrovnik-Croatia*, 130-133.
- Pajares, G., & De La Cruz, J. M. (2004). A wavelet-based image fusion tutorial. *Pattern recognition*, 37(9), 1855-1872.





# Kolluk Kuvvetleri Tarafından Yapılan Araç Denetimlerindeki Verimliliğinin Artırılmasını Amaçlayan Plaka Tanıma Sistemi

Rumeysa Çelik<sup>1\*</sup>, Kemal Erdoğan<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID:0000-0002-0064-3706), [rumeysacelik961@gmail.com](mailto:rumeysacelik961@gmail.com)

<sup>1</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID:0000-0001-7433-2516), [kerdogan@ktun.edu.tr](mailto:kerdogan@ktun.edu.tr)

(2nd International Conference on Computer, Electrical and Electronic Sciences ICCEES 2021, September 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.)

**ATIF/REFERENCE:** Çelik, R. & Erdoğan, K. (2021). Kolluk Kuvvetleri Tarafından Yapılan Araç Denetimlerindeki Verimliliğinin Artırılmasını Amaçlayan Plaka Tanıma Sistemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (30), 62-65.

## Öz

Yapılan bu çalışmada amaç kolluk kuvvetleri tarafından yapılan araç denetimlerinin verimliliğinin artırılmasıdır. Özellikle trafik akışının yoğun olduğu bölgelerde tüm araçlarda inceleme yapılamadığından dolayı denetimlerin verimliliği düşmektedir. Nizami bir aracın seyahat halinde iken birden çok kontrol noktasında tekraren durdurulmasının önüne geçilmesini, hakkında ihbarda bulunmuş plakaya sahip aracın tespit edilen ilk noktada muhakkak durdurulmasını hedefleyerek denetimlerin verimliliğini artırmak hedeflenmiştir. Tasarlanan bu sistemde görüntü işleme ve KNN gibi teknikler ile okunan plaka tarih bilgisi ile veri tabanına kaydedilmekte, plakanın önceki son görüntülediği tarihe göre hesaplama yapılmakta ve denetim noktasından sık sık geçen araçların ekstra denetiminin yapılmasının önüne geçilmektedir. Bu sayede denetim yapan ekibin işi kolaylaştırılmakta, aynı bölge içerisindeki nizami araçların sık sık denetime girmesinin önüne geçilmekte ve bazı sürücüler için de zaman kaybı oluşması önlenmektedir. Yapılan denemelerde gerçek zamanlı çalışan KNN ile plaka tanıma sisteminde yaklaşık olarak %67 doğruluk oranı tespit edilmiştir. Sistemin daha başarılı çalışabilmesi plaka tanıma işi için derin öğrenme metodlarının kullanılması önerilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Görüntü İşleme, KNN, Mobil Emniyet Teknolojileri, Plaka Tanıma, Suç Önleme.

## License Plate Recognition System Aiming to Increase Efficiency in Vehicle Inspections by Law Enforcement Forces

### Abstract

The aim of this study is to increase the efficiency of vehicle inspections by law enforcement officers. Especially in areas with heavy traffic flow, the efficiency of inspections decreases as all vehicles cannot be inspected. It is aimed to increase the efficiency of inspections by aiming to prevent a legal vehicle from being stopped again at more than one check point while traveling, and to stop the vehicle with the reported plate at the first detected point. In this designed system, the license plate read with techniques such as image processing and KNN is recorded in the database with date information, calculations are made according to the date the license plate was last viewed, and extra inspections of vehicles that frequently pass through the inspection point are prevented. In this way, the work of the inspection team is simplified, frequent inspections of legal vehicles in the same region are prevented, and time loss for some drivers is prevented. In the trials, approximately 67% accuracy rate was determined in the license plate recognition system with real-time working KNN. It is recommended to use deep learning methods for license plate recognition for the system to work more successfully.

**Keywords:** Crime Prevention, Image Processing, KNN, Mobile Security Technologies, License Plate Recognition.

\* Sorumlu Yazar: [rumeysacelik961@gmail.com](mailto:rumeysacelik961@gmail.com)

## 1. Giriş

Araçlar için plakalar birer kimlik numarasıdır. Dolayısıyla plakaların tanınması birçok açıdan önem taşımaktadır. Özellikle giriş çıkış sınıflandırılması, otoparklar, yollar vb. yerlerde görüntü işleme ile plaka tanıma sistemlerine güvenlik ve denetim açısından oldukça fazla ihtiyaç duyulmaktadır. İşlemlerin bilgisayar ile yapılması hem işlem süresini kısaltmakta hem de güvenirliliğini arttırmaktadır. Emniyet teşkilatı da teknolojiden en üst seviyede faydalanmayı amaçlayan dijital teknolojilerin geliştirilmesini ve güvenlik denetimlerinde kullanılmasını hedeflemektedir.(Ninla Elmawati Falabiba, 2019) Ülkemizde kolluk kuvvetlerinin ulaşım noktalarında yaptığı güvenlik denetimleri yoğun bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Emniyet Genel Müdürlüğü verilerine göre sadece 2019 yılı temmuz ayında 182987 araç denetlenmiştir (egm, 2021). Bu denetimlerdeki yoğunluk nedeniyle çoğu zaman o noktadan geçen tüm araçların incelenemediği bilinmektedir. Bu durumda gerekli kontroller veya sorgulamalar yapılırken hangi araçların seçilip durdurulacağı konusunda yardımcı olacak herhangi bir teknik ekipmandan faydalanıldığına dair bir kaynak bulunamamıştır. Kontrol edilecek araç seçimi yapılırken görevli personelin tecrübesinin, kontrol noktasına gelen aracın görünümünün veya şüpheli hareketlerinin etkisi olduğu düşünülebilir. Seyahat halindeki bir aracın aynı seyahat esnasında birden fazla kontrol noktasında tekraren durdurulması, ya da birkaç günlük kısa zaman aralıklarında aynı kontrol noktasından birden fazla kez geçerken tekraren durdurulması denetimlerde verimsizliğe yol açmaktadır. Bu çalışmada bahsedilen verimsizliğin önüne geçilmesini sağlayacak bir sistem hazırlanmıştır.

Çalışmada denetim noktasına gelen araçların görüntü işleme teknikleriyle okunan plakalarının saat ve tarih bilgisiyle birlikte veri tabanına kaydedilmesi; en son görüntülenme tarihiyle arasında ne kadar zaman farkı olduğunun hesaplanması ve gelen aracın belirlenen süre zarfında tekrar kontrol edilmesine gerek kalıp kalmadığını bildirmesi amaçlanmıştır. Ayrıca oluşturulan veri tabanına şüpheli veya hakkında ihbarda bulunmuş bir araç plaka bilgisi girilmiş ise görevli personelin uyarılarak denetim yoğunluğu olsa bile ilgili aracın muhakkak durdurulması da sağlanabilecektir.

Hazırlanan sistemde plaka tanıma işlemi görüntü işleme ile gerçek zamanlı olarak gerçekleşmekte ve gerçek zamanlı görüntü IP kameradan alınmaktadır. Literatürde derin öğrenme ile plaka tanımanın yapıldığı ve %98'e varan başarımlar sağlayan çalışmalar bulunmaktadır (Bayram, 2019)(Quiros et al., 2017).

Veri tabanı ise python programlama dili kullanılarak MySQL workbench 8.0 CE veri tabanı ara yüzü ile bağlantı kurularak tasarlanmış ve okunan plakalar oluşturulan tabloya eklenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Plakanın Okunması

Çalışma yapılırken OpenCV (Open Source Computer Vision) açık kaynak kodlu görüntü işleme kütüphanesi kullanılmıştır. Kameradan elde edilen görüntü verilerine karakter tanımlama uygulanmadan önce kontrast genleştirme, görüntüyü gri seviyeye dönüştürme, resim yumuşatma ve gürültüyü azaltmak için eşikleme işlemleri uygulanmıştır. Daha sonra segmentasyon işlemleri yapılarak olası karakterlerin tespit edilmesi işlemine geçilmiştir. Bu işlemlerde yüksek başarımlarına sahip ve basit

bir algoritma olan KNN (K-En Yakın Komşu Algoritması)'dan faydalanılmıştır.

Plaka tanıma sisteminde görüntü işleme şu şekilde gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak renkli görüntü gri seviyeli görüntüye çevrilmiştir. Bu adım sayesinde görüntü üzerinde gerçekleştirilecek işlemler daha kolay gerçekleştirilmektedir.

Daha sonra gri seviyeli görüntü ikili görüntüye dönüştürülür ve morfolojik dönüşümler uygulanır. Oluşan görüntü üzerine gaussian blur filtresi uygulanarak görüntü yumuşatılmıştır. Bu görüntü üzerinde tüm konturların bulunmuş ve eşlenen tüm karakterler listelenmiştir. Daha sonra ise tüm plakalar listelenmiş ve plaka olmaya en müsait kısım çıkartılmıştır. Bu plaka orijinal görüntüden kırılmakta ve görüntü işleminin basamakları tekrar bu çıkartılmış plaka üzerinde uygulanmaktadır. Plakadaki karakter ve sayıları tanımak için karakterler ve sayılar bölütlenmekte ve KNN'nin eğitim verileriyle eşleşerek sonucu çıktı olarak vermektedir.

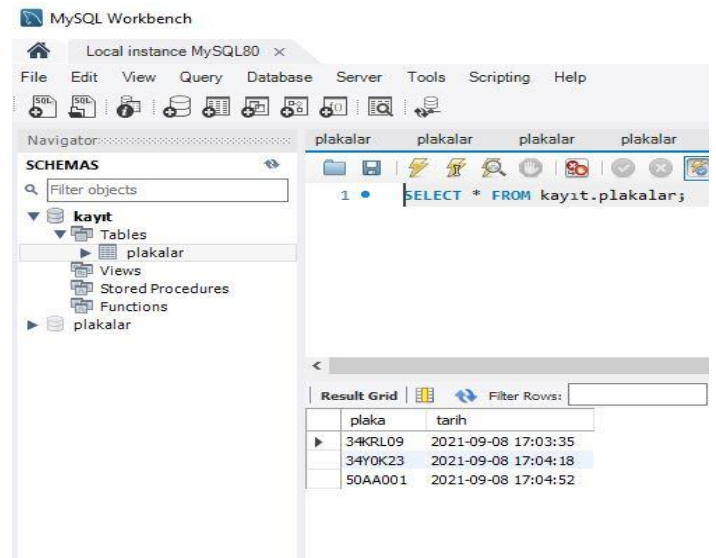
### 2.2. Veri Tabanı Oluşturulması

Plaka okuması başarı ile sağlandıktan sonra plaka ve zaman bilgisi oluşturulan veri tabanına kaydedilmektedir.

Veri tabanı oluşturulmak için Mysql Workbench ara yüzü ile bağlantı kurulmuş gerekli kullanıcı adı ve şifre kullanılarak veri tabanı tasarlanmıştır. Bu veri tabanında içerisinde plaka ve tarih sütunlarının yer aldığı tablo oluşturulmuş ve okunan plaka görüntülediği tarih bilgisiyle birlikte bu tablo içerisine kaydedilmiştir (Şekil-1).

### 2.3. Plakaların Görüntülenme Zaman Farkları ve Şüpheli Plaka Denetimi

Veri tabanına kaydedilen plakalardan o anda okunan plakaya ait görüntülenme zamanları alınmakta ve bir önceki görüntülenme ile en son görüntülenme arasındaki zaman farkı hesaplanmaktadır. Tespit edilen araç plakası ilk defa görüntüleniyorsa "ilk defa görüntüleniyor" bilgisi verilmektedir. Tespit edilen araç daha önce sisteme şüpheli araç olarak tanıtılmış ise "şüpheli araç bilgisi" veya şüpheli değil ise şüpheli olmadığına dair "-" işareti görüntülenmektedir. Bu bilgiler PyQt5 programı ile ekranda görüntülenmektedir (Şekil-2).



Şekil 1. Araç plaka ve tarih bilgisinin kaydedilmesi

plaka	görüntülenme zamanı	geçen zaman	şüpheli araç durumu
50AA001	2021-07-02 15:24	ilk defa görüntüledi	-

Şekil 2. Tespit edilen araç plakası hakkındaki uyarı bilgilerinin görüntülenmesi

PyQt, Qt şirketinin, Qt uygulama çerçevesinde Python versiyon 2 ve versiyon 3 için ürettiği bir ara yüz olup Windows, OS X, Linux, iOS ve Android de dahil olmak üzere Qt tarafından desteklenen tüm platformlarda çalışabilmektedir. PyQt5, Qt v5'i destekleyen PyQt4, Qt v4'ü desteklemektedir. Ara yüz bağlamaları bir dizi Python modülü olarak uygulanır ve 1000'den fazla sınıf içermektedir.

PyQt, Qt C++ çapraz platform uygulama çerçevesini ve çapraz platform tarafından yorumlanan Python dilini bir araya getirmektedir. (cozum pedia, 2021)

Hazırlanan sistemde bazı plaka resimleri IP kameraya gösterilerek 600x600 boyutlarında gerçek olarak tanımlanması yapılmıştır. Program sadece dikdörtgen şeklindeki plakaları tanımlayacak şekilde python programlama dili kullanılarak tasarlanmıştır. Yazılımın gerçekleştirildiği ve test edildiği bilgisayar 16 GByte ram, i7-10750H işlemciye sahiptir. Sistemin plaka yeri tespit etmekte çoğunlukla başarılı olduğu görülmüş fakat plaka tanımlamada plaka resminin boyutuna ve görüntülenme mesafeye bağlı olarak başarı oranının etkilendiği tespit edilmiştir.

Literatürdeki bulunan diğer çalışmaların başarı oranları Tablo.1'de verilmiştir.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışmada KNN yöntemiyle gerçek zamanlı olarak plaka tespit edilmektedir. KNN algoritmasıyla okunan karakterlerin en yakın olduğu harf ve rakamlar belirlenmekte ve plaka bilgisinin nihai hali oluşturulmaktadır. Plaka bilgileri plaka listesi veri tabanına eklenmekte ve ihtiyaç duyulduğunda buradan plakanın seçimi yapılarak sonuca varılmaktadır. Fotoğraf üzerinde plaka belirlemede yaklaşık %90 başarı sağlayan bu sistem gerçek zamanlı olarak plaka belirlenmesinde kullanıldığında başarı oranının düştüğü görülmektedir. Bu durumda plakanın boyutuna bağlı olarak gerekli KNN yaklaşım ayarlamaları yapılarak düzeltmeler yapılması gerekmektedir. Fakat bu ayarlamaların her plaka boyutu için ayrı ayrı yapılması zor olduğundan hemen hemen aynı plaka boyutlarında daha doğru okumalar yaparken farklı plaka boyutlarında okumanın tam gerçekleşmediği görülmektedir. Sistemde bazen plaka üzerinde takılmalar meydana geldiği bu da plakanın birden fazla kez okunmasına yani bir önceki görüntülenme zamanı ile arasındaki geçen zaman farkının yanlış hesaplanmasına sebep olduğu görülmüştür. Bunun için ise plakanın çok kısa bir zamanda ekranda görülmesi gerektiği öngörülmüştür.

Ayarlanan parametreleri sonucu daha çok doğru okumanın, hemen hemen aynı boyuttaki plaka resimlerinde daha doğru sonuç verdiği plaka boyunun daha fazla büyümesi ve daha çok küçültülmesiyle okumanın daha zorlaştığı görülmüştür. Bu ise sistemin her mesafeden plaka okuması yapmasının pek mümkün olmadığı, sadece ayarlanan ve sabitlenen bir yerde belirli bir mesafede kullanılmasının uygun olduğu anlamına gelmektedir. Bunun yanı sıra sistemin bazı birbirine benzer harf ve rakamları sık olarak karıştırdığı (örneğin ı harfi ile l arasında ,0, D, O vb.) bununda haliyle plakanın yanlış okunmasına, şüpheli araç bulunmasında veya zaman farkı hesaplamasında hatalara yol açtığı görülmektedir.

Tablo 1. Literatürdeki bazı plaka tanıma çalışmalarının başarı oranları

Plaka Tanıma ile İlgili Çalışmalar	Kullanılan Yöntemler	Başarı Oranı (%)
Bayram F.	Mask-RCNN	98.46
Zhuang ve ark.	DeepLabv2 ResNet-101 model	99.25
Bingöl ve ark.	Şablon eşleme	87
Rasheed ve ark.	Hough çizgileri, Şablon Eşleme	89.70
Li ve ark.	Öznitelik Çıkarma, Kenar Bulma	%97.06

Sistem Şekil-3'te gösterilen 21 plaka üzerinde denenmiştir. Bunlardan 7 tanesinde hatalı veya eksik plaka okuma gözlemlenmiş olup %67 gibi bir doğruluk oranıyla plakanın tespit edilebildiği görülmüştür. Daha yüksek başarı sağlayabilmek için önerilen ise bu tür plaka okuma sistemlerinde KNN gibi daha basit bir makine öğrenmesi yerine daha gelişmiş öğrenme yöntemlerinin kullanılarak sistemin tasarlanmasıdır.



Şekil 3. Sistem üzerinde yapılan plaka tespit denemeleri.

#### 4. Sonuç

Sistemin çalışması IP kameraya gösterilen ve dosya üzerinden okunan bazı plaka resimleri ile denenmiştir. Sistemin gerçek başarı oranının elde edilebilmesi için trafik akan bir yolda denemelerin yapılması ve elde edilen görüntüye ve bazı parametrelere göre algoritmada ayarlamaların yapılması gerekmektedir.

Çalışma sonucunda denetim noktasına gelen araçların görüntü işleme teknikleriyle okunan plakalarının zaman bilgisiyle birlikte veri tabanına kaydedilmesini sağlayabilecek bir sistem gerçekleştirilmiştir. En son denetim tarihiyle o anki tespitin arasında ne kadar zaman farkı olduğunun hesaplanması ve gelen aracın belirlenen süre zarfında tekrar kontrol edilmesine gerek kalıp kalmadığının bildirilmesiyle birlikte denetimlerin verimliliğinin artırılacağı düşünülmektedir. Ayrıca oluşturulan veri tabanına şüpheli veya hakkında ihbarda bulunulmuş araç plaka bilgisi girilebilmesi sayesinde denetim esnasında yoğunluk olsa bile görevli personelin uyarılması sağlanabilecek yine bu sayede denetim verimliliğinin artırılmasına katkıda bulunulabilecektir.

Gelecek çalışması olarak, Yapay Sinir Ağları gibi farklı mimarideki sınıflandırma metotlarının kullanılmasıyla denemelerin yapılması başarı oranlarındaki değişimlerin gözlemlenmesi faydalı olacaktır. Ayrıca gerçek bir uygulama noktasında sistemin denenmesi ve klasik yöntemle göre farklarının ortaya konulması da verimlilik başarısının ölçülmesini sağlayabilecektir.

#### Kaynakça

- Çatal M. (2019). Mobil Emniyet Uygulamalarına Yönelik Bir İnceleme: METE Örneği, "Dijital Çağda Güvenliğin Dönüşümü ve Bir İç Güvenlik Aktörü Olarak Polis" Sempozyumu. pp 79-93, İstanbul, Türkiye, 2019.
- Emniyet Genel Müdürlüğü websitesi. (2021). 29 Ağustos 2021 tarihinde <http://www.egm.gov.tr/temmuz> adresinden erişildi.
- Zhuang J., Hou S., Wang Z. ve Zha Z. J. (2018) Towards Human-Level License Plate Recognition. Ferrari V., Hebert M., Sminchisescu C., Weiss Y. (eds) *Computer Vision – ECCV 2018*. ECCV 2018. *Lecture Notes in Computer Science*, vol 11207. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-01219-9\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-030-01219-9_19).
- Ngöl, O. B. İ., ve Cu, Ö. K. U. Ş. (2008). Bilgisayar Tabanlı Araç Plaka Tanıma Sistemi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 1(3), 0. <https://doi.org/10.17671/btd.04928>
- Rasheed S., Naeem A. ve Ishaq O. (2012). Automated number plate recognition using hough lines and template matching. *Proceedings of World Congress Engineering Computer Science*, pp. 199–203
- Li, B., Tian, B., Li, Y. and Wen, D. (2013). Component-based license plate detection using conditional random field model. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 14(4):1690-1699
- Bayram, F. (2019). Derin Öğrenme Tabanlı Otomatik Plaka Tanıma. *Journal of Polytechnic*, 0900(4), 955–960. <https://doi.org/10.2339/politeknik.515830>
- Quiros, A. R. F., Bedruz, R. A., Uy, A. C., Abad, A., Bandala, A., Dadios, E. P., Fernando, A., ve Salle, D. La. (2017). A kNN-based approach for the machine vision of character recognition of license plate numbers. *IEEE Region 10 Annual International Conference, Proceedings/TENCON, 2017-December*, 1081–1086. <https://doi.org/10.1109/TENCON.2017.8228018>
- CozumPedia websitesi. (2021). 29 Ağustos 2021 tarihinde <https://cozumpedia.com/pyqt-nedir> adresinden erişildi.



# Elastomer Karakterli Kauçuk Burçlar İçin Otomatik Test Kontrol Ünitesi Geliştirilmesi ve SCADA ile İzlenmesi

Selim Sefa Baysal<sup>1\*</sup>, Muhammed Abdullah Özel<sup>2</sup>, Mehmet Can Küçükbaşak<sup>3</sup>, Furkan Göğer<sup>4</sup>, Cemil Sungur<sup>5</sup>

<sup>1\*</sup> Aydınlar Yedek Parça San. Ve Tic. A.Ş., Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7439-4087), [baysal.selimsefa@aydtr.com](mailto:baysal.selimsefa@aydtr.com)

<sup>2</sup> Aydınlar Yedek Parça San. Ve Tic. A.Ş., Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3056-6438), [ozel.muhammed@aydtr.com](mailto:ozel.muhammed@aydtr.com)

<sup>3</sup> Aydınlar Yedek Parça San. Ve Tic. A.Ş., Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6339-3444), [kucukbasak.mehmetcan@aydtr.com](mailto:kucukbasak.mehmetcan@aydtr.com)

<sup>4</sup> Aydınlar Yedek Parça San. Ve Tic. A.Ş., Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7843-2757), [goger.furkan@aydtr.com](mailto:goger.furkan@aydtr.com)

<sup>5</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2340-6225), [csungur@ktun.edu.tr](mailto:csungur@ktun.edu.tr)

(2nd International Conference on Computer, Electrical and Electronic Sciences ICCEES 2021, September 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1005056)

**ATIF/REFERENCE:** Baysal, S., Özel, M., Kucukbasak, M., Goger, F. & Sungur, C. (2021). Elastomer Karakterli Kauçuk Burçlar İçin Otomatik Test Kontrol Ünitesi Geliştirilmesi ve SCADA ile İzlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (30), 66-68.

## Öz

Elastomer karakterli kauçuk burçlar, araç parçalarının bağlantı noktaları arasında kuvveti iletebilmek, titreşimleri sönmölemek ve parçalar arası boşluğu giderebilmek amacıyla kullanılmaktadır. Burçların çok yönlü kuvvetlere ve burulmalara maruz kaldığı bilinmektedir. Bu nedenle burçlarda kauçuğun metale iyi yapışmış olması ve burçta kullanılan kauçuğun istenilen sertlikte olması en önemli özelliklerdir. Bu özelliklerin doğruluğu burca uygulanan statik testler ile sağlanmaktadır. Burca uygulanan statik test yükleri test edilen burcun yapısına göre belirlenmektedir. Bu çalışma ile burçlarda deformasyon olup olmadığı, yapışma problemi, standart yükler altında burçların esneme değerlerinin ölçülmesi ve doğrulanması amaçlanmıştır. Burç üzerine uygulanacak olan yükler, test kontrol ünitesine tanımlanmış, sensörlerden toplanan veriler yapay sinir ağlarına aktararak veri tabanı oluşturulmuştur. Oluşturulan veri tabanı, her bir burç için toplanan deformasyon ve yapışma verilerini kendi içerisinde karşılaştırmıştır. Karşılaştırma sonucunda deformasyon, kauçuk yapışma oranı önceki veriler ile kıyaslandığında burcun kopma değişimi %15 ve üzeri olduğunda test sistemi otomatik olarak durarak burcun gövdeden kopmasını engellemiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Burç, Test Kontrol, Kauçuk, Yapay Zekâ, Deformasyon.

## Development of an Automatic Test Controller for Rubber Bushings with Elastomer Character and Monitoring with SCADA

### Abstract

Rubber bushings with elastomer characters are used to transmit force between the connection points of the vehicle parts, absorb vibrations and remove the clearances between parts. It is known the rubber bushings be exposed to versatile forces and torsions. Because of this most important properties of rubber bushings are adhesion on metal housing and rubbers stiffness that used on bushing. To test adhesion and stiffness some static tests performed to rubber bushing. The force that performed on static test is determined by rubber bushings characteristics. In this study, it is aimed to control the deformation and adhesion problem and verify the stiffness values of the bushings under standard loads. The loads to be applied on the bushing are defined in the test control unit, and data collected from the sensors are transferred to artificial neural networks and a database is created. The created database compared the deformation and adhesion data collected for each bush within itself. As a result of the comparison, the test system stopped automatically when the deformation and rubber adhesion rate of the bush is 15% or more compared to the previous data, preventing the bush from breaking off from the body.

**Keywords:** Bushing, Test Control, Rubber, Artificial Intelligent, Deformation.

\* Sorumlu Yazar: [baysal.selimsefa@aydtr.com](mailto:baysal.selimsefa@aydtr.com)

## 1. Giriş

Burçlar iç ve dış borunun arasında vulkanizasyon yöntemi ile elastomer malzeme yapıştırılmış olan süspansiyon sistemi parçasıdır. Burçlar otomotivde süspansiyon sistemi bileşenlerinde salıncak ve rotilli denge kollarında bulunur. Burçlar, üzerine gelen yükleri, araç altı titreşimleri ve şokları elastomer malzeme sayesinde en aza indirerek yükler, şoklar ve titreşimleri diğer bağlantı parçalarına iletir [1].

Burç seçimi yaparken en önemli parametre kesme modülüdür. Kesme modülü ise kauçuk sertliği, elastite modülü, k şekil değiştirme faktörü gibi etkenlere bağlıdır. K şekil değiştirme faktörü uygulanan strese göre değişkenlik gösterip buda doğrusal olmayan bir kuvvet-yer değiştirme eğrisine yol açar. Burçlar tasarımına göre eksenel ve radyal yönde 1 ile 3 mm arasında deplasman olacak şekilde tasarlanır [6].

Otomotivde kullanılan burç genellikle eksenel, radyal, torsiyonel, eğilme, radyal torsiyonelin aynı anda olduğu ve eksenel ile torsiyonun aynı olduğu yük ve hareketlere maruz kalır ([1], [2]).

Burçlar, araçlarda yol düzensizliklerinden kaynaklanan titreşimleri ortadan kaldırmak, eksenlerin küçük yanlış hizalanmasına izin vermek, şanzımandan gelen gürültüyü azaltmak veya mekanik aksamın aşınmasını azaltmak için kullanılır. Burçlar, genellikle enerji dağıtımında kullanılan özel bir kauçuktan yapılmıştır. Kuvvetler ve momentler ile bunların karşılık gelen yer değiştirmeleri ve dönüşleri arasında doğrusal olmayan bir viskoelastik ilişki sunar.

Bu statik ve dinamik yüklemeler sonucunda burçta deformasyonlar oluşmaktadır. Bu yüzden üretim sonrasında üretilen burçlara testler yapılmaktadır. Bu testler sonucunda burçta olabilecek deformasyonlar ve burcun tepkilerine, kuvvet yer değiştirme verilerine bakılmaktadır. Üretim sonrasında yapılan dinamik testler ile kauçuğun yapışma problemleri ve kauçuk yırtılma ömürleri incelenir. Statik testler ile birlikte ise kuvvet yer değiştirme eğrileri incelenir. [7].

Mevcut sistemlerde kullanılan statik test makineleri tamamen manuel bir denetiminde kontrol edilmektedir. Literatür taramalarında burçların mekanik özelliklerini geliştirmeye yönelik ya da statik ve dinamik testde burç davranışlarını inceleyen çalışmalar mevcutken statik test makinelerinin kontrolünü kolaylaştırmaya yönelik bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada bundan dolayı bir test kontrol ünitesi geliştirilmesi amaçlanmıştır. Test kontrol ünitesi burcun tabladaki aparatı var yok durumunu denetler. Eğer burç var ise kauçuğa standart yük uygulanmaya başlanır. Burcun esnemesi lineer cetvel ve lazer mesafe sensöründen alınan test başlangıcı ve test sonu alınan veriler ile hesaplanır. Burca standart yük uygulandıktan sonra, kameralar yardımı ile görüntüler alınıp bu görüntüler yapay sinir ağı yardımı ile kontrol edilir. Üretimsel hata olabilecek yük altında burçtaki yapışma problemleri veya hatalı yapılması sonucu burçtaki yırtılmalar denetlenir.

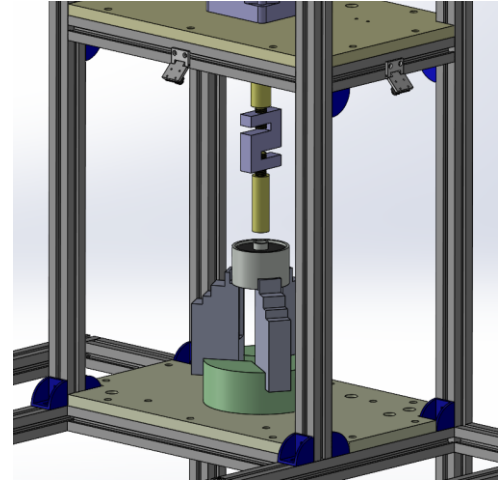
Loadcell ile algılanan ani yük düşmelerinde kontrol edilip ileri seviyedeki yırtılma ve yapışma problemlerinde kauçuğun iç ve dış borulardan kopması veya ayrılması engellenir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Test Yöntemi ve Testin Uygulanması

Burçların yapışma problemlerinin olup olmadığını anlamının yollarından birisi, burcun dış borusundan sabitlenip iç borusuna eksenel yönde belirli bir yük uygulayarak göz ile kontrol edilmesidir.

Bu yol ile tespit sırasında yük ve mesafe kontrollü bir cihaz gerekir. Bu özelliklere uygun olarak tasarlanan burç test cihazımızda testin uygulanması Şekil 1'deki görsel ile örneklendirilmiştir. Burç cihazdaki piston tarafından eksenel yönde yük uygulanacak şekilde dış borusundan sabitlenmiştir. Piston direkt olarak burcun iç borusuna belirlenen yükü uygular ve burçtaki yapışma sorununun kontrollü için 2sn yük konumunda kalır. Test cihazı üzerinde bulunan yük hücresi ile ne kadar yük uygulandığını ölçerken aynı zamanda piston üzerinde bulunan lineer cetvel ve lazer mesafe ölçüm sensörünün beraber çalışması ile mesafe ölçümü de yapmaktadır.



Şekil 1. Test Cihazı Burç Yerleşimi

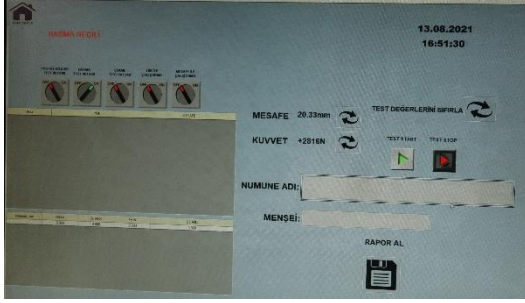
Test cihazının kontrolü SCADA üzerinden kontrol edilir. Şekil 2'de gösterilen SCADA ekranı üzerinden "STATİK TESTLER" sekmesine girilerek basma testi seçilir. Şekil 3'de gösterilen bu ekran üzerinden burç çeşidi ve kauçuk sertliğine göre ne kadar yük uygulanacağı girilen değerler ile belirlenir. SCADA üzerinden cihazda bulunan yük hücresi, lineer cetvel ve lazer mesafe ölçüm sensörlerinin değerleri gösterilmektedir. Test cihazı sensörlerden gelen veriler üzerine burçta kopma veya yırtılma olması durumunu gözetler ve bu durumda testi durdurur.



Şekil 2. Test Cihazı SCADA Ekranı

Burç kontrol test cihazında seri üretimden gelen bir tip ürünün tüm numuneleri kontrol edilir. Seri imalatta üretilen ürünün %100 kontrollü yapıldığı sırada SCADA üzerinden kontrolü yapılan ürünlerin kontrol yüküne ulaştığı noktadaki yük verisi ve mesafe

verileri hem lineer cetvel hem de lazer mesafe ölçüm sensörü ile alınarak SCADA üzerindeki veritabanına eklenir. Veritabanına eklenmesi gereken veriler ürünün kontrolü onaylanırsa veritabanına eklenir.



Şekil 3. Test Cihazı SCADA Veri Giriş Ekranı

Ürünün test cihazında kontrolü yapılırken alınan veriler, aynı ürünün bir sonraki numunesi test edilirken kullanılır. Her kontrolü yapılan ürünün verileri, veritabanına eklendiği için, kontrol testi yapılan numune sayısı arttıkça veritabanında bulunan veri sayısı artar. Bu durumda veri hassasiyeti artar ve numune sayısı arttıkça doğruluk %100 noktasına giderek yaklaşır.

Veritabanındaki veriler, numune test edilirken ulaşması gereken yüke önceki numunelerin ulaştığı mesafe değerinden  $\pm\%15$  fark ile ulaşması durumunda ürünün görünmeyen kısımlarında olan bir problem sebebi ile “Ürün Hatalı” uyarısı vererek kontrol işlemini durdurur ve ürün hatalı olarak ayrılır.

### 2.1.1. Algılama ve Karar Mekanizması

Test edilen burçta problemlerin tespiti kameralar ile alınan görüntülerin işlenmesi ile tespit edilir. Tespit işlemi evrişimli sinir ağı olan CNN derin öğrenme algoritması ile yapılmaktadır. CNN, çoklu yapay nöron katmanlarından oluşur. Görüntü girdisi evrişimli sinir ağına verildikten sonra görüntüyü küçük nesnelere ayırarak oluşan deformasyonları tespit eder. Test cihazı üzerine yerleştirilen burca yükü uyguladığı ve yük pozisyonunda 2 sn bekleme süresinde cihaz üzerinde bulunan dört adet dijital kamera tarafından görseller alınır. Alınan görseller SCADA üzerinde yansıtılır. Yansıtılma sonucunda herhangi bir sorun tespiti halinde SCADA üzerinde uyarı ve sorunun olduğu nokta belirtilir.



Şekil 4. Kameralardan alınan görüntü örnekleri

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışma ile test cihazının yarı-otomatik kullanım ve tam otomatik kontrollü olması, test edilen parçanın test süresinin ve kontrol süresinin kısalmasını sağlamıştır. Kontrol süresinin kısalması, tam otomatik görüntü işleme kontrol mekanizması ile gerçekleştirilmiş ve bu kontrol mekanizması ile birlikte, test edilen parçanın kontrolünün göz ile yapılmasına gerek kalmamıştır. Bu sebeple kontroldeki hata payı azalmıştır. Burç deformasyon problemlerinde karar yapısı geliştirilmiştir. Aynı zamanda veritabanına alınan yük ve mesafe verilerinin kontrolü ile göz ile tespiti yapılamayacak hataların ortaya çıkarılması ve böylelikle hatalı ürünün kullanımı önlenmiştir.

## 4. Sonuç

Yapılan çalışma ile süspansiyon bileşeninin önemli parçalarından olan burçlarda, esneme testi sırasında oluşan deformasyon, yapışma gibi problemler incelenmiştir. İnceleme neticesinde uygulanan yük sonrası sensörlerden alınan veriler ile, burç üzerinden alınan görüntüler CNN evrişimli ağlarda derin öğrenme algoritmaları ile tespit edilerek %100 kontrol sağlanmıştır. Otomatik test sistemi ile test yapılacak burçlarda oluşabilecek yırtılmaları kontrol etmede manuel sisteme göre %90 oranda doğruluk tespit edilmiştir.

## Kaynakça

- Kadowec, J., Wineman, A. & Hulbert, G, (2003). Elastomer bushing response: experiments and finite element modeling. *Acta Mechanica* 163, 25–38.
- Adkins, J & Gent, A., (2002). Load-deflexion relations of rubber bush mountings. *British Journal of Applied Physics*. 5. 354.
- Ok, J., Yoo, W., & Sohn, J., (2007). Experimental study on the bushing characteristics under several excitation inputs for bushing modeling. *International Journal of Automotive Technology*, 8, 455-465.
- García Tárrago, M. J., Kari, L., Viñolas, J., & Gil-Negrete, N., (2007). Torsion stiffness of a rubber bushing: A simple engineering design formula including the amplitude dependence. *The Journal of Strain Analysis for Engineering Design*, 42(1), 13–21.
- Yoo, W. S., Baek, W. K., & Sohn, J. H., (2004). A practical model for bushing components for vehicle dynamic analysis. *International journal of vehicle design*, 36(4), 345-364.
- Heissing, B., (2011). *Chassis handbook: fundamentals, driving dynamics, components, mechatronics, perspectives*, (M. Ersoy, Ed), Vieweg + Teubner, 316-320.
- Kuo, E., (1997). "Testing and Characterization of Elastomeric Bushings for Large Deflection Behavior," SAE Technical Paper 970099.
- H. S. Lee J. K. Shin S. Msolli H. S. Kim (2015) Department of Mechanical, Robotics and Energy Engineering, Dongguk University-Seoul, 30 Pildong-ro 1-gil, Jung-gu, Seoul 04620
- G. Previati, M. Kaliske, M. Gobbi, and G. Mastinu, (2011). "Structural optimization of a rubber bushing for automotive suspension," in *Proceedings of the 7th European Conference on Constitutive Models for Rubber*, ECCMR VII, pp. 307–312, Dublin, Ireland,
- K. Hasanpour, S. Ziaei-Rad, and M. Mahzoon, (2009). "A large deformation framework for compressible viscoelastic materials: Constitutive equations and finite element implementation," *International Journal of Plasticity*, vol. 25, no. 6, pp. 1154– 1176.
- W. Wei, A. Liu, A. Liu, S. C.-Y. Lu, and T. Wuest, (2015). "Product requirement modeling and optimization method based on product configuration design," *Procedia CIRP*, vol. 36, pp. 1–5.



# Termal Görüntü İşleme İle Diz Osteoartritin Tespit Edilmesi

Afrah Abdulsattar Jasim Qali<sup>1\*</sup>, Murat Selek<sup>2</sup>, Sameer Saeed Abbas<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1126-9999), afrah.power@gmail.com

<sup>2</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8642-1823), mselsek@ktun.edu.com

<sup>3</sup> Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9600-9883), Samir88eng@gmail.com.

(2nd International Conference on Computer, Electrical and Electronic Sciences ICCEES 2021, September 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1028191)

**ATIF/REFERENCE:** Qali, A., Selek, M. & Abbas, S. (2021). Termal Görüntü İşleme İle Diz Osteoartritin Tespit Edilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (30), 69-72.

## Öz

Infrared termografi (IRT), normal ve anormal duyu ve sinir sistemleri, iltihaplanma ya da travma hakkında yerel ve küresel olarak bilgi sağlayan bir tanı aracıdır. Diz osteoartriti (OA), dejeneratif eklem hastalığı olarak da bilinmesine ek olarak tipik bir aşınma, yıpranma ve ilerleyici eklem kıkırdağı kaybının sonucu olmaktadır. Bu çalışmada, OA hastalığının sıcaklık özelliğinden faydalanarak termal kamera ile elde edilen görüntüleri görüntü işleme modelleri (Evrişimsel sinir ağları, Destek Vektör Makineleri ve VGG-16 mimarisi)'inden yararlanarak hastalığın erken teşhisinin yapılması planlanmaktadır. Termografi ile elde edilen görüntülere, söz konusu yöntemler uygulanarak hastalığı en yüksek doğrulukta tahmin edebilen yöntemi bulmak amaçlanmaktadır. Ayrıca en yüksek doğruluk oranını veren yöntem ile arayüz grafiği tasarlayarak hastalığı erken teşhis sürecinde doktora yardımcı olabilmeyi amaçlanmaktadır. Toplam 998 görüntü termal kamera ile farklı kişilerden elde edilmiştir. Bu görüntülerin 284'ü hasta, 714'ü ise kontrol grubuna ait görüntülerdir. Termal kamera ile alınan görüntülerdeki renk farklılığı, Osteoartrit hastalığının bulunup bulunmadığını tek başına tespit edemezken yukarıda anılan yöntemler yardımıyla bu hastalığı tespit etme imkânı sağlamaktadır. Uygulanmış olan yöntemler arasında en iyi sınıflandırma sonucu %90 doğruluk oranı ile evrişimsel sinir ağları yöntemi ile elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar derin öğrenme yöntemlerinin termal görüntülerin sınıflandırılmasında oldukça başarılı olduğunu göstermektedir. Alınan görüntüler SPSS version 25 istatistik paket programında işlenmiş olup tüm istatistiksel analizlerde  $p < 0.05$  düzeyinde anlamlı olarak değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Termografi, Evrişimsel Sinir Ağları, Destek Vektör Makineleri, VGG-16, Osteoartriti.

## Detection of Knee Osteoarthritis with Thermal Image Processing

### Abstract

Infrared thermography (IRT) is a diagnostic tool that provides local and global information about normal and abnormal sensory and nervous systems, inflammation or trauma. In addition to being known as a degenerative joint disease, knee osteoarthritis (OA) is the result of typical wear and tear and progressive loss of articular cartilage. In this study, it is planned to make the early diagnosis of the disease by making use of the image processing models (Convolutional neural networks, Support Vector Machines and VGG-16 architecture) of the images obtained with the thermal camera by taking advantage of the temperature feature of the OA disease. It is aimed to find the method that can predict the disease with the highest accuracy by applying these methods to the images obtained by thermography. In addition, it aims to help the doctor in the early diagnosis of the disease by designing an interface graphic with the method that gives the highest accuracy rate. A total of 998 images were obtained from different people with a thermal camera. Of these images, 284 are images of the patient and 714 of them are images of the control group. While the color difference in the images taken with the thermal camera cannot detect whether there is Osteoarthritis disease on its own, it provides the opportunity to detect this disease with the help of the above-mentioned methods. Among the applied methods, the best classification result was obtained with the convolutional neural network method with 90% accuracy. The results show that deep learning methods are quite successful in classifying thermal images. The images taken were processed in the SPSS version 25 statistical package program and were evaluated as significant at the  $p < 0.05$  level in all statistical analyses.

**Keywords:** Thermography, Convolutional Neural Networks, Support Vector Machines, VGG-16, Osteoarthritis.

\* Sorumlu Yazar: Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1126-9999), afrah.power@gmail.com



## 1. Giriş

Kızılötesi radyasyon, elektromanyetik spektrumun görünür ve mikrodalga bölümleri arasında bulunmaktadır. Kızılötesi radyasyonun ilk kaynağı termal ya da ısı radyasyondur. Mutlak sıfırın (-273.15 santigrat derece veya 0 Kelvin) üzerinde bir ısıya sahip herhangi bir nesne, kızılötesi alanda radyasyon yaymaktadır. Her gün kızılötesi radyasyona maruz kalmaktayız. Güneş ışığı, ateş ya da radyatörden hissettiğimiz ısı tamamen kızılötesidir. Gözle görülmesi bile ciltteki sinirler ısı olarak hissedilebilmektedir. Nesne ne kadar sıcak olursa, o kadar çok kızılötesi radyasyon yayar (Anonymous, 2021).

Osteoartrit en çok yaygın kas-iskelet sistemi hastalığı olup yaşlı erişkinlerde önemli bir sakatlık nedeni olmaktadır (Lawrence ve ark., 2008). Yaşlı nüfus üzerindeki OA etkisi gittikçe daha belirgin duruma geldiğinden oldukça büyük bir klinik yük durumuna gelmiştir (Felson ve ark., 1995). OA omurga, el ve kalça dâhil olmak üzere çeşitli eklemleri etkilese dahi, klinik öneme sahip olduğu için OA araştırmalarının ve görüntülemelerinin büyük bir kısmı diz eklemi üzerinde yoğunlaştığından dolayı bu çalışma diz eklemi konusunda OA'ya odaklanmaktadır (Bijlsma ve ark., 2011).

Evrişimsel Sinir Ağları (ESA), birden fazla tabakanın iyi bir şekilde eğitildiği çok önemli derin öğrenme yaklaşımlarından biri olmaktadır (Lecun ve ark., 1998). Söz konusu yöntem çok etkili bulunmakta ve aynı zamanda çeşitli bilgisayar

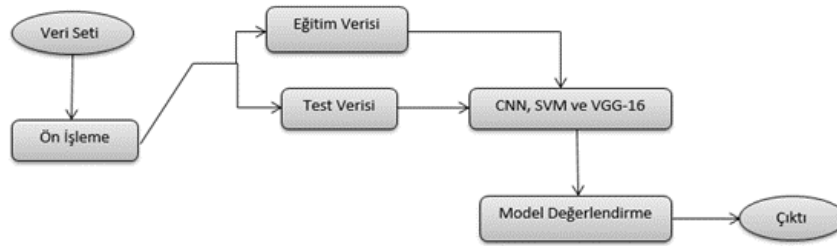
uygulamalarında oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Krizhevsky ve ark., 2012).

Hem sınıflandırma hem de regresyon için kullanılmakta olan Destek vektör makineleri (SVM), güçlü fakat esnek denetime sahip makine öğrenme algoritmaları olmaktadır. Fakat genel olarak sınıflandırma sorunlarında kullanılmaktadır. SVM'ler 1960'larda ilk kez tanıtılmış ve daha sonra 1990'da rafine edilmiştir. SVM'ler, diğer makine öğrenme algoritmaları ile kıyaslandığında benzersiz uygulama metodlarına sahiptir. Son çalışmalarda, birden fazla devamlı ve kategorik değişkeni ele alma kabiliyetlerinden dolayı oldukça popüler olmuştur (Anonymous, 2021).

VGG-16 eğitilmiş ağ olup sınıflandırmadaki performansı ve asgari hata verdiği için bu derlemede kullanılmıştır (Erdem ve Aydın, 2021). Termal görüntüler üzerinde makine öğrenme ve derin öğrenme yöntemleri uygulanarak osteoartrit hastalığını erken teşhisi yapılabilmektedir (Ozturk ve ark., 2017).

## 2. Materyal ve Metot

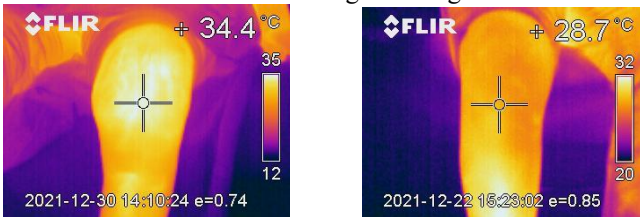
Termal kamera, nesneden yaklaşık 50 cm uzaklıkta bir odak mesafesine yerleştirilmiş olup kontrast ortam ısı ile dengeleme yapılmıştır. Termal kamera, ısı ölçüğünü ortamdaki en soğuk ve en sıcak noktalara göre otomatik olarak ayarlamıştır. Bu görüntüler farklı bireylerden alınmıştır. Bu bireylerin her iki dizi veya bir dizi yaralı ve bir dizi sağlıklı yahut da komple sağlıklıdır. Şekil 1'de çalışmanın akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma şeması

### 2.1. Veri Kümesinin Hazırlanması

Termografik görüntülerin sayısı toplam 998 görüntüden oluşmaktadır. Bu görüntülerin 284'ü hasta olup 714'ü de kontrol grubundan elde edilmiştir. Toplanan görüntüler üzerinde ölçüme işleme uygulanmıştır. Derin öğrenme ve makine öğrenme modelleri, modelin önceden görmediği görüntülerde hastalığı tespit etmek ve sınıflandırmak için görüntüler üzerinde değerlendirilmiş ve eğitilmiştir. Önerilen modellerde veri seti 'hasta' ve 'sağlam' olmak üzere yeniden ölçeklendirilmiştir. Şekil 2'de IR ile alınan hasta ve sağlıklı diz görüntüleridir.



Şekil 2. IR ile hasta ve sağlıklı diz görüntüleri

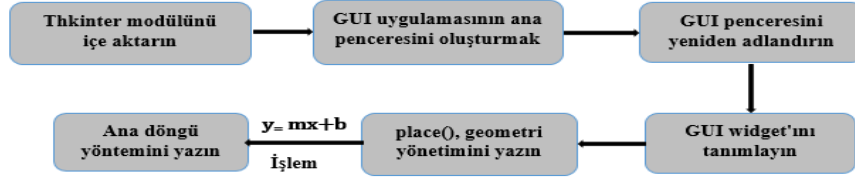
Toplanan görüntüler üzerinde görüntü işleme yöntemleri uygulanmış olup ESA, evrişim katmanları, havuz katmanları ve tamamen bağlı katmanlar şeklinde olan üç temel sinir katmanından oluşmaktadır. ESA'nın girdisi 64, 64, 3 piksel görüntülerdir. 16, 3, 3 boyutunda bir evrişim katmanı vardır. Daha sonra, görüntünün yüksekliğini ve genişliğini 2x2'e düşüren bir maksimum havuz katmanı bulunmaktadır. Daha sonra düzleştirilmiş doğrusal birim katmanı, seyreltme katmanı son olarak da çıktı katmanı bulunmaktadır. Uygulanmış olan SVM metodu ise Sklearn'de SVM kullanılması kapsamında birkaç önemli değişkenler, doğrusal çekirdek, radyal temel işlev çekirdeği ve sigmoid çekirdeği uygulanmıştır. Uygulanmış olan VGG-16 modelinin girdisi 320x240x3 piksel görüntülerdir. Ardından görüntünün yüksekliğini ve genişliğini düşüren bir havuz katmanı bulunmaktadır. Daha sonra düzleştirilmiş doğrusal birim katmanı vardır. En son olarak çıktı katmanı bulunmaktadır.

### 2.2. Python Programlama Arayüzü

Tkinter, Python için "standart" GUI araç takımıdır. Tkinter, ilk olarak 90'ların başında popüler hale gelen dil eşleştirilmesi

olan Tcl/ Tk'yi çevreleyen bir sarmalayıcı olup popüler bir grafik arabirimidir. Tkinter modülünü uygulamadan önce ESA metodunu kaydetmenin (model.save) amacı, hastalığı teşhis

etmek için zamandan kazanmaktır. Şekil 3'te arayüz programının oluşturma akış şeması gösterilmiştir.



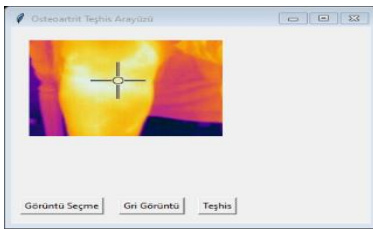
Şekil 3. Arayüz oluşturmak için akış şeması

Yukarıdaki akış şemasını bölümlenmesi ve her bir bileşenin işlevi aşağıda anlatılmaktadır.

- İlk aşamada, Tkinter modülü içe aktarılır.
- Sonraki adımda, pencere yöneticisi Tkinter'ı Tk()yöntemle başlatılır ve bir değişkene atanır. Bu yöntem, normal bir GUI'de olması gerektiği gibi üstte kapat, büyüt ve küçült düğmeleri olan boş bir pencere oluşturur.
- Daha sonra, Rename pencerenin başlığı isteye göre adlandırılır, root.title ('Osteoartrit Teşhis Arayüzü').
- Daha sonra, pencereye metin eklemek için kullanılan Label adlı bir widget çağrı kullanılır.
- Ardından, parçacığı gereken boyutta görüntülemek için Tkinter'ın place () adlı geometri yönetimi özelliği kullanılır.
- Ardından, Canvas, GUI'de şekiller çizmek için kullanılır ve çeşitli çizim yöntemlerini destekler, canvas = Canvas ().
- Ardından, görüntü programa yüklendiğinde, Teşhis butonuna tıklayarak program hastalığı teşhis etme tahmininde bulunur

model = load\_model.

- Son adım olarak, pencereyi manuel olarak kapatana kadar görüntülemek için mainloop() adımı uygulanır. Arka uçta sonsuz bir döngü çalıştırılır.



Şekil 4. Hasta görüntüsü

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışma, IRT'nin OA'lı katılımcılarda ölçülebilir cilt sıcaklıkları modellerini saptamak için güvenilir bir tanı aracı olarak gösterilmiştir. Termal kamera kullanılarak elde edilen görüntülerde hastalığın teşhisi yapılamazken, ESA, DVM ve VGG-16 işleme yöntemlerini kullanılarak görüntülerde diz osteoartriti tespit edilebilmektedir. Daha sonra bu yöntemler arasında en yüksek doğruluk oranını ortaya koymuş olan ESA (%90)'yı arayüz grafiği ile işleyerek hastalığın teşhisinde doktora yardımcı olabilecek bir yöntem geliştirilmiştir.

Katılımcıların dizlerinin normal ve OA'lı eklemlerindeki yüzey sıcaklığı ölçülmüştür. IRT, deneyler sırasında sabit bir odada yapılmış olup hastalar muayeneden önce bilgilendirilip onayları alınmıştır. Sıcaklık kontrollü bir ortamda IRT'nin birden fazla tekrarlanarak çalıştırıldığı ve bilgisayar destekli programlarla daha güvenilir bir sonuca ulaşıldığı birçok çalışmada ortaya konmuştur. IRT, cilt sıcaklığı dağılımları yoluyla diz osteoartriti saptamada güvenilirdir. Ayrıca diz cilt ısısı ile OA'ya bağlı ağrı şiddeti arasında korelasyon gözlenmiştir.

### 4. Sonuç

Bu çalışmada termografik görüntülerin derin öğrenme ve makine öğrenme yöntemleri ile sınıflandırılması yapılmıştır. Görüntü işleme yöntemleri uygulayarak ESA modelinden doğruluk %90, VGG-16 modelinden % 69.23 ve SVM modelinden %77 doğruluk oranı elde edilmiştir. Söz konusu görüntü işleme yöntemleri arasında en yüksek ve en başarılı doğruluk oranı ESA modelinde ortaya çıkmıştır. Python programlama dili büyük performansından dolayı önerilen sistemin tasarımında ve programlanmasında, ESA modeli ile kullanılmıştır. Termal görüntüleme kullanılarak hastalığı teşhis etme sürecinde doktora yardımcı olabilecek bir sistem tasarlanmıştır. Toplanan görüntüler istatistik paket programına girilmiş olup tüm istatistiksel analizlerde  $p < 0.05$  düzeyinde anlamlı olarak değerlendirilmiştir.

### 5. Teşekkür

Özel Ankara Cerrahi Tıp Merkezi, Özel Ankara Umut ve Ankara Gazi Üniversitesi hastanelerinin Ortopedi bölümünde gerekli görüntüler sağlandığı için şükranlarımı sunarım.

### Kaynakça

- Lecun, Y., Bottou, L., Bengio, Y., & Haffner, P. (1998). Gradient-based learning applied to document recognition. *in Proceedings of the IEEE*, vol. 86, no. 11, 2278-2324.
- Anonymous. (2021, Mart 10). *instrumentsgroup*. 05 16, 2021 tarihinde [instrumentsgroup Web Sitesi: http://www.instrumentsgroup.com.za/index\\_files/Flir/Learn/Elec.Mech\\_Diagnostics.pdf](http://www.instrumentsgroup.com.za/index_files/Flir/Learn/Elec.Mech_Diagnostics.pdf) adresinden alındı.
- Bijlsma, J. W., Berenbaum, F., & Lafeber, F. P. (2011). Osteoarthritis: an update with relevance for clinical practice. *The Lancet*, 377(9783), 2115-2126.

- Erdem, E., & Aydın, T. (2021). Detection of Pneumonia with a Novel CNN-based Approach. *Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences*, 4(1), 26-34.
- Felson, D. T., Zhang, Y., Hannan, M. ..., Naimark, .. a., Weissman, B., Aliabadi, P., & Levy, D. (1995). The incidence and natural history of knee osteoarthritis in the elderly. *Arthritis & Rheumatism*, 1500-1505.
- Krizhevsky , A., Sutskever, I., & Hinton, G. (2012). Derin evrişimli sinir ağıları ile Imagenet sınıflandırması. *Sinirsel bilgi işleme sistemlerindeki gelişmeler* , 25, 1097-1105.
- Lawrence, R. C., Felson, D. T., Helmick, C. G., Arnold, L. M., Choi, H., & Deyo, R. A. (2008). Estimates of the prevalence of arthritis and other rheumatic conditions in the United States. *Part II. Arthritis & Rheum* 58(1), 26-35.
- Öztürk, Ş., Özkaya, U., Akdemir, B., & Seyfi, L. (2017). Soft Tissue Sacromas Segmentation using Optimized Otsu Thresholding Algorithms. *Int J Eng Technol Manag Appl Sci*, 5, 49-54.



# LQR ve PID Kontrol Modelleri Temelinde DC Motorun Hız Kontrolü

Furkan Yeşil<sup>1</sup>, Cemil Sungur<sup>2</sup>, Süleyman Canan<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6649-5227), [furkan.yesil@elfatek.com.tr](mailto:furkan.yesil@elfatek.com.tr)

<sup>2</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2340-6225), [csungur@ktun.edu.tr](mailto:csungur@ktun.edu.tr)

<sup>3</sup>Arge Direktörü, Elfatek Elektronik Ltd., Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5842-5683), [suleyman@elfatek.com.tr](mailto:suleyman@elfatek.com.tr)

(2nd International Conference on Computer, Electrical and Electronic Sciences ICCEES 2021, September 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1028191)

**ATIF/REFERENCE:** Yeşil, F., Sungur, C. & Canan, S. (2021). LQR ve PID Kontrol Modelleri Temelinde DC Motorun Hız Kontrolü. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (30), 73-78.

## Öz

Kontrolcü yapılar bir sistemin davranışlarını doğrudan veya dolaylı bir şekilde yöneten yapılardır. Sistemin kontrol mekanizması o sistemin yaptığı işin verimliliğini artırabilecek potansiyelde bir kontrol metodu seçerek sağlanır. Günümüz teknolojisine bakıldığında kontrol teorisi adı altında gerçekleştirilen bilimsel çalışmaların sonucunda literatüre geçmiş ve endüstriyel pek çok alanda uygulanabilen kontrol yöntemleri mevcuttur. Doğrusal veya doğrusal olmayan bir mantıkta işleyen sistemlerin yönetim yapıları da bu çalışma mantığına uyumlu seçilmektedir. Uyumlama veya kontrol problemi olarak da isimlendirilen yönetim tasarlama sürecinde sistemin matematiksel modeli bulunmaktadır. Sonrasında bulunan bu model ile kontrol hesaplamaları sağlanmaktadır. Örneğin optimal bir kontrolün sağlanmasında oluşturulan maliyet fonksiyonu yani optimum çalışma temelli matematiksel modellemenin içerdiği katsayılar kontrol edeceği sistemin hızını ve kullanacağı enerjiyi belirleyebilmektedir. Bu yöntemlerin bazıları hareketli sistemlerde kullanılarak dinamikliğin değişken ortam şartlarına göre uyumlu olmasını sağlamaktadır. Özellikle elektrik motorlarının kullanıldığı sistemlerde hassas hız ve yön kontrolleri için hızlı tepki verebilen kontrol yöntemleri dahil edilmektedir. Bu uygulamada ise MATLAB Simulink ortamında DC motorun 2 farklı kontrol yöntemi ile hız kontrolü gerçekleştirilerek performans analizleri incelenmiştir. Öncelikle PID (Proportional - Integral - Derivative) kontrol kullanılarak hız bilgisi giriş sinyali olarak sisteme uygulanmıştır. En uygun kontrol katsayılarını bulmak adına farklı kontrol katsayıları ile test işlemleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonrasında mevcut tasarıma LQR (Linear Quadratic Regulator) kontrol mekanizması dahil edilerek tıpkı PID uygulamasında olduğu gibi katsayı belirleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Katsayı optimizasyonu işlemlerinden sonra 2 farklı kontrol yönteminin uygulandığı sistemin giriş sinyaline bağlı olarak ürettiği çıkış sinyalleri grafiksel olarak analiz edilmiş ve karşılaştırma materyali olarak kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kontrol Teorisi, Hareketli Sistemler, DC Motor Kontrolü, PID Kontrol, LQR Kontrol.

## Speed Control of DC Motor Based on LQR and PID Control Models

### Abstract

Controlling structures are structures that directly or indirectly manage the behavior of a system. The control mechanism of the system is provided by choosing a control method that has the potential to increase the efficiency of the work done by that system. When looking at today's technology, there are control methods that have been published in the literature as a result of scientific studies carried out under the name of control theory and can be applied in many industrial areas. The management structures of systems operating in a linear or non-linear logic are also chosen in accordance with this working logic. There is a mathematical model of the system in the management design process, which is also called the adaptation or control problem.

With this model, control calculations are provided. For example, the coefficients included in the mathematical modeling based on optimum operation, which is created to provide an optimal control, can determine the speed of the system to be controlled and the energy to be used. Some of these methods are using on the moving systems. The methods used ensure that the system remains stable against changing environmental conditions. Especially in systems where electric motors are used, fast-response control methods are included for precise speed and direction controls. In this application, the performance analyzes of the DC motor were examined by performing speed control with 2 different control methods in the MATLAB Simulink environment. First of all, speed information was applied to the system as an input signal using PID (Proportional - Integral - Derivative) control. In order to find the most appropriate control coefficients, tests were carried out with different control coefficients. Afterwards, the LQR (Linear Quadratic Regulator) control mechanism was included in the current design and coefficient determination studies were carried out, just like in the PID application.

<sup>1</sup> Sorumlu Yazar: [furkan.yesil@elfatek.com.tr](mailto:furkan.yesil@elfatek.com.tr)

After the coefficient optimization processes, the output signals produced by the system, in which 2 different control methods were applied, depending on the input signal were analyzed graphically and used as a comparison material.

**Keywords:** Control Theory, Moving Systems, DC Motor Control, PID Control, LQR Control.

## 1. Giriş

Günümüzde hareketli sistemler elektrik makinelerinin gelişimine bağlı olarak büyük oranda insan gücünün yerini almaktadır. Mekanik yapılara hareket yeteneği kazandıran elektrik makinelerinden birisi de DC motorlardır. Kendi içerisinde farklı türlere sahip olan DC motorlar üretim bantlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca robotik teknolojisi gibi modern yapıların da dinamikliğini sağlamaktadır. Tüm hareketli sistemler denge koşullarını sağladığı sürece iş görebilmektedir. Hedeflenen eylemin gerçekleşmesinde negatif etkilere sahip olan farklı türlerdeki bozucu etkiler mevcuttur [1].

Bu etkenler altında sistemin kararsızlık durumu ortaya çıkmaktadır ve sistem istenilen hareketi tam zamanında veya hiçbir şekilde sağlayamayabilir. Denge durumunun korunması için sistemi gözlemleyen ve önemli noktalarda müdahale eden bir kontrolcü yapı gerekmektedir. Kontrol yöntemlerinin içerisinde yer alan, sistem kararlılığını sağlamak için uygulama kolaylığı açısından popüler olan PID kontrol mantığı kullanılmaktadır [1, 2]. PID kontrol mekanizması sürü algoritması ile tasarlanan sistemlerdeki hareketi sağlayan yapılardan insansız su altı araçlarına kadar pek çok uygulamada denetim bloğu olarak görev almaktadır [2]. Ancak bazı sistemlerde ortaya çıkan kararlılık oranı ve bu kararlılık oranına ulaşımdaki geçen sürenin tasarrufu performans kriterleri temelinde tatmin edici olmamaktadır [3]. Literatürde yer alan ve uygulama alanlarına adapte edilen metotlar da bu şekilde bulunmuştur. Özellikle bir sistemin enerji ve zaman denklemleri ile modellenmiş maliyet fonksiyonu üzerinden kararlılığın sağlanması ihtiyacı LQR gibi PID algoritmasına benzer bir kontrol mekanizmasını ortaya çıkartmaktadır [4]. İki denetim sisteminde de bir geri besleme mevcuttur ama geri besleme ile sağlanan kararlılık katsayısının bulunma yöntemleri farklıdır.

LQR denetiminde bu katsayı sistemin çalışma mantalitesini en uygun koşullarla sağlamak için maliyet fonksiyonu üzerinde yer alan katsayılar ile optimum bir şekilde bulunmaktadır [5-6].

Bu bildiride anlatılan uygulamada bir DC motorun hareket kontrolünde en önemli girdilerden olan hız seviyesinin tayini ile ilgili çalışma yapılmıştır. MATLAB Simulink programı ile DC motor modellenerek PID ve LQR denetim mekanizmaları sırasıyla uygulanmıştır. Her iki sistemde de kararlılığı sağlayacak olan katsayılar belirlenerek ortaya çıkan performans eğrileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

### 2.1.1. Oransal İfade

Oransal terim hatayı bir katsayı ile çarparak değerini küçültmeyi amaçlamaktadır. Tek başına kullanıldığında hatayı sabit bir değerde tutma eğilimi göstermekte olup sıfırlamak için yetersiz kalabilmektedir.

$$e(Hata) = Girdi - Çıktı$$

$$P = K_p * e$$

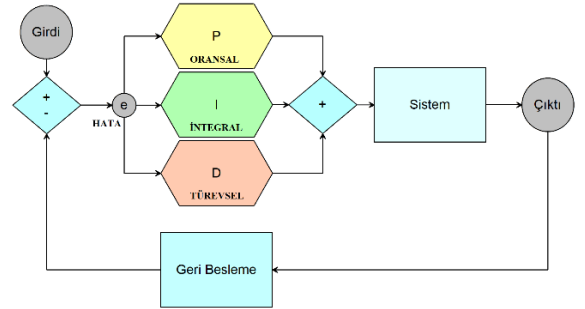
Bildiride 2. ve 3. kısımlarda PID ve LQR konuları hakkında bilgilendirme çalışması yapılmaktadır. 4. kısımda DC motorun kontrol sistemlerindeki modellenmesi ve dijital olarak uygulanması anlatılmaktadır. 5. kısımda kullanılan kontrol yöntemleri ile kararlılık durumu konusunda karşılaştırma uygulaması, 6. kısımda bu karşılaştırmanın grafikleri üzerinden alınan sonuçlar verilmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. PID Kontrol

Bu kontrol yöntemi adını Proportional (Oransal), Integral (Toplamsal) ve Derivative (Türevsel) kavramlarının baş harflerinden almaktadır. Kontrol mekanizmasında sistemin çıkış verilerinin alındığı bir geri besleme mevcuttur. Geri besleme donanımsal olarak sensör veya enkoder gibi bir takipçi sistem olabilmektedir.

Sistemin çıkışındaki bilgi sinyali PID yapısının girişine belirli aralıklarla uygulanarak genel yapının kapalı döngüde istenilen davranışı sergilemesi sağlanmaktadır.



Şekil 1. PID Kontrol Diyagramı

Kontrol döngüsünde girdi olarak adlandırılan değer sistemin istenilen davranışındır. Çıktı değerinin istenilen davranışa olan uzaklığı ise hatayı vermektedir. Hata ifadesinin sıfıra yaklaştırılması ile sistem kararlı hale gelebilmektedir.

### 2.1.2 Toplamsal İfade

Toplamsal terim ile hatanın alanı hesaplanarak sistemin hata tecrübesi bulunabilmektedir. Süreç içerisinde ortaya çıkan toplam hata bir katsayı ile çarpılarak integral ifadesinin sistemin ürettiği çıkışa karşı tepki hızı ayarlanmaktadır. Bu katsayı ile sistem cevabı hızı ters orantılıdır.

$$I = K_i \int_0^i e(t) dt$$

### 2.1.3 Türevsel İfade

Toplamsal terim tek başına sistemin gelecekteki hatasını tahmin edememektedir. Ayar noktası (katsayı) değiştirildiğinde orantılı bir şekilde tepkisi değişmektedir. Türevsel terim ile birlikte gelecekteki hatanın tahmin edilmesi sağlanmaktadır. Anlık hata ve bir önceki hata arasındaki farkın türevi ile süreç içerisindeki hata değişimi gözlemlenebilmektedir. Türevsel terim bir katsayı ile çarpılarak sistemin tepki cevabı hızı artırılarak daha kısa sürede kararlılık sağlanabilmektedir.

$$de(t) = \Delta e = \text{yeni hata} - \text{eski hata}$$

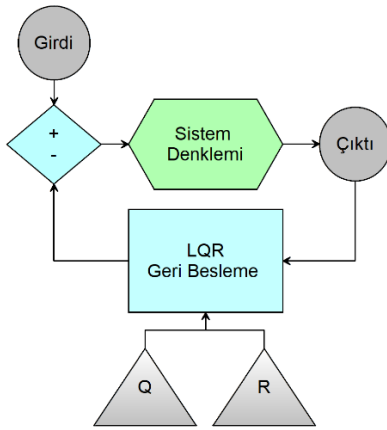
$$D = K_d \frac{de(t)}{dt}$$

P, I ve D ifadeleri belirlendikten sonra sistemin girişine uygulanacak sinyal hatayı en aza indirecek şekilde sağlanmış olmaktadır.

$$PID\text{Cevabı} = P + I + D$$

## 2.2. LQR (Linear Quadratic Regulation) Kontrol

Doğrusal ve yüksek mertebeden sistemlerin kararlılık analizi ve bu durumun sağlanması için kullanılan yöntemlerden birisi de doğrusal karesel kontroldür. LQR optimal kontrolün kapsadığı bir alt yöntemdir. Kontrol edilecek sistemin matematiksel modellenmesi maliyet fonksiyonu ile tasarlanmaktadır. Maliyet fonksiyonu içerisinde yer alan Q ve R katsayıları ayarlanarak sistemin gerçekleştirilmesi istenen eylem belirli bir geri besleme sinyali ile sağlanmaktadır.



Şekil 2. LQR Kontrol Diyagramı

### 2.2.1. Q ve R Katsayıları

Sistemin maliyet fonksiyonunda yer alan bu 2 katsayı geri besleme sinyalinin bir K ifadesi ile tanımlanmasından sonra bu K ifadesinin en uygun değerini bulmak için ayarlanmaktadır. Q terimi sistemin çalışma döngü süresini, R terimi ise bu sistemin döngü içerisinde harcayacağı enerjinin seviyesini belirlemek için kullanılmaktadır.

Q ve R katsayıları sistemi birbiri ile ilişkili ve orantılı bir şekilde etkileyeceği için sistemin hedefine göre değişebilmektedir. Örneğin performans odaklı sistemlerde R terimi daha yüksek seçilirken enerji tasarrufu odaklı sistemlerde Q terimi daha yüksek seçilir.

### 2.2.2. Temel Maliyet Fonksiyonu

J fonksiyonu olarak da bilinen bu matematiksel modelleme ile sistem, denetleyici mekanizmanın tanımlanmış elemanı olmaktadır.

$$J = \int_0^{\infty} (X^T * Qx + U^T * Ru) dt$$

$$u = -K * x$$

7. denklemde yer alan u ifadesi sistem kararlılığını hedeflenen konuda sağlamaktadır. K ifadesi Q ve R terimlerinin sağlamış olduğu oranlar ile ortaya çıkan maliyet değerinin optimum bir ürünüdür.

Oluşturulan maliyet fonksiyonu Hamiltonian ve Riccati eşitlikleri ile çözümlenerek sistem dengesizliğini minimize edecek olan K ifadesi bulunur.

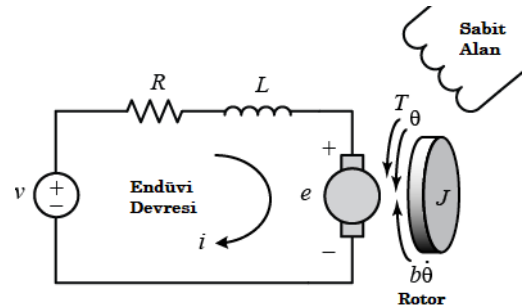
$$H(\text{Hamiltonian}) = X^T Q_x X + u^T Q U^u + \Delta^T (Ax + Bu)$$

$$-P \cdot (\text{Riccati}) = A^T P + PA - PBR^{-1}B^T P + Q$$

## 2.3. DC Motorun Modellenmesi

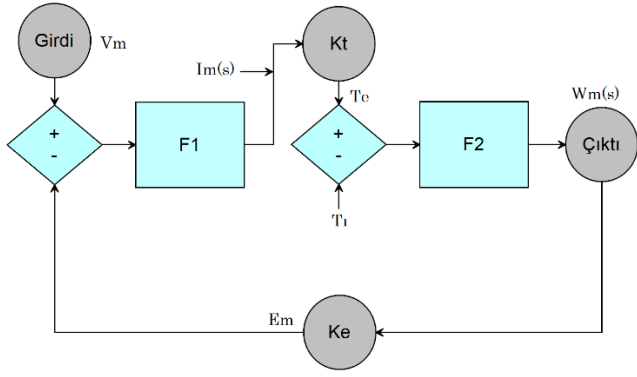
Bir kontrol mekanizmasının denetlemesi gereken sistemi tanıması için matematiksel modelleme ile oluşturulmuş ikincil sistem tasarlanmaktadır. Oluşturulan bu yeni sistem ile kontrolcünün değiştirme yetkisi olan ifadeler bulunmaktadır.

Yapılan çalışmada hız kontrolü uygulaması için seçilen DC motorun fiziksel özellikleri temsili elektrik devresi ile belirlenerek kontrol blok şemasına dönüştürüldüğünde denetleyici mekanizma için uyumlu hale gelmektedir.



Şekil 3. DC Motorun Elektrik Devresi Modellemesi

(J): Döner mekanizmanın (rotor) atalet momenti, (b): Motorun viskoz sürtünme sabiti, (Ke): Elektriksel kuvvet sabiti, (Kt): Motor torku sabiti, (R): Elektriksel direnç, (L): Elektriksel endüktans, (Girdi): Motorun besleme gerilimi, (Çıktı): Motorun hızı, (Im): Motor Akımı



Şekil 4. DC Motorun Kontrol Blok Diyagramı

$$F_1 = \frac{1}{Lm(s)+R_m}, F_2 = \frac{1}{Js+B}$$

Modellemenin gerçekleşmesi için matematiksel izahın sağlanması gerekmektedir. Öncelikle motorun sahip olduğu tork, elektriksel kuvvet terimi ve eşitlik ilkesi bulunmalıdır.

$$T = K_t * i(\text{akım})$$

$$e = K_e * \theta(\text{açısalhızsabiti})$$

$$K_t = K_e = K$$

Birincil eşitlikler sağlandıktan sonra sistemin modellenmesi için gerekli olan rotasyon terimi ve akım değerleri bulunur.

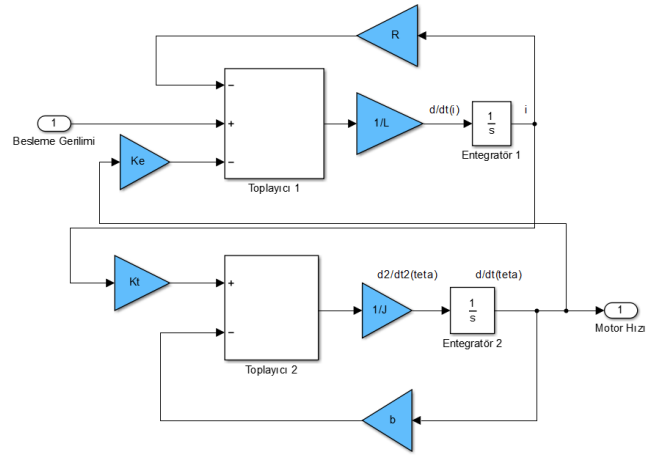
$$\int \frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{d\theta}{dt}$$

$$\int \frac{di}{dt} dt = i$$

Son olarak J ve L ifadelerinin de bulunması ile birlikte modelleme işlemi için gerekli olan sabitler ve bağlantı algoritması oluşturulabilmektedir.

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} = T - b \left( \frac{d\theta}{dt} \right) = \frac{1}{J} \left( K_t i - b \frac{d\theta}{dt} \right)$$

$$L \frac{di}{dt} = -Ri + V - e = \frac{di}{dt} = \frac{1}{L} \left( -Ri + V - K_e \frac{d\theta}{dt} \right)$$

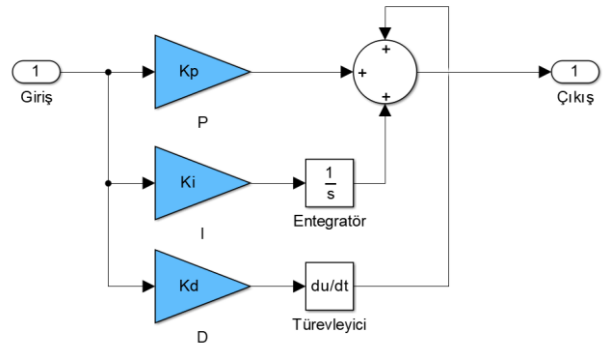


Şekil 5. DC Motorun MATLAB Simulink Modellemesi

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

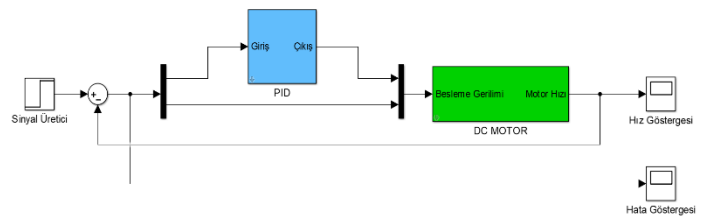
#### 3.1. Karşılaştırma Uygulaması

DC Motor modellemesi gerçekleştirildikten sonra PID, LQR ve bu denetleyicilerin kontrolü altında olan bir sistem tasarlanmıştır. Öncelikle PID algoritmasının bloklar ile gerçekleşmesi sağlanmıştır.



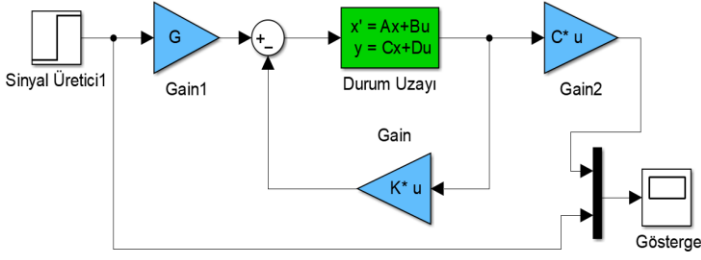
Şekil 6. MATLAB Simulink - PID Modellemesi

PID tasarımından sonra DC Motor kontrol algoritması da bloklar ile tasarlanarak kullanıma uygun hale getirilmiştir.



Şekil 7. MATLAB Simulink - Kontrol Mekanizması Modellemesi

PID ile üretilen veriler çıktı olarak alındıktan sonra LQR denetleyici tasarımı bloklar ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 8. Şekil 8: MATLAB Simulink - LQR Kontrol Modellemesi

Şekil 8’de yer alan G ifadesi sisteme eklenecek olan kazancı, K ifadesi Q ve R terimleri ile elde edilen geri beslemeyi ve C ifadesi DC motorun akım değerini ifade etmektedir. Tüm sistemler tamamlandıktan sonra PID ve LQR yapıları 1. uygulamada ayrı, 2. uygulamada birlikte test edilmiştir.

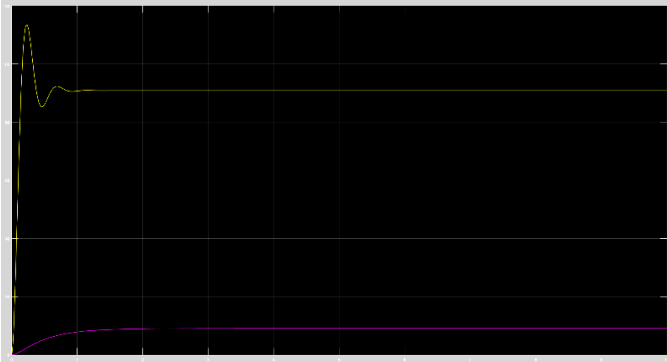
Her iki kontrol mekanizmasında da DC Motorun sabitleri şu şekildedir:

$$r: 1, Ke: 0.01, Kt: 0.01, L: 0.5, J: 0.01, b: 0.1$$

**Akım Değeri: 1A, Gerilim Değeri: 100V**

**Kp: 500, Ki: 50 ve Kd:10 (Sarı:PID, Mor:Hata)**

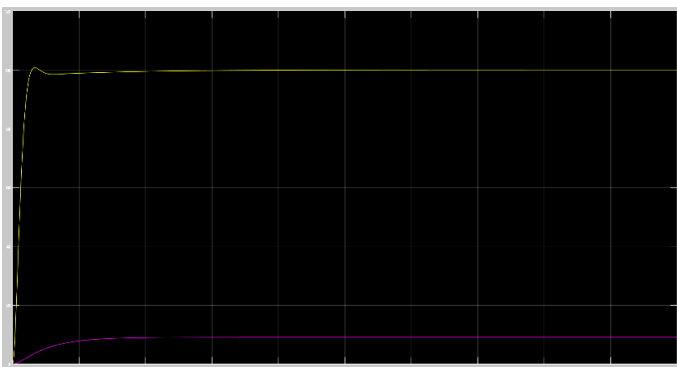
İlk andaki yüksek kararsızlık dalgalanmasından sonra seçilen sabitler çerçevesinde motor istenilen hıza ulaşmamaktadır.



Grafik 1. Dengesiz PID Katsayıları ile Hız

**Kp: 100, Ki: 75 ve Kd: 5 (Sarı:PID, Mor:Eski hata)**

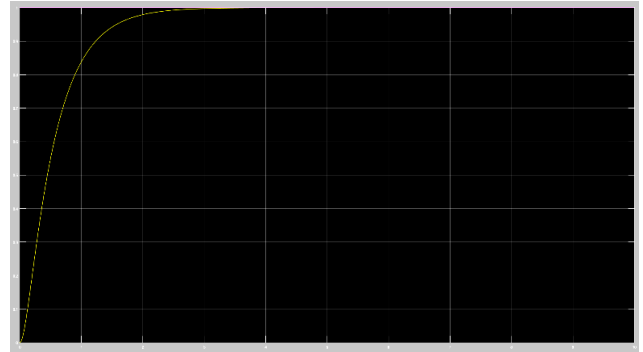
DC Motor başlangıç anında kısa süreliğine istenilen hızın üstüne çıktıktan sonra ilk 4 saniyede kararlı hale gelerek dengeli çalışmasını devam ettirmiştir.



Grafik 2. Orantılanmış PID Katsayıları ile Hız

**Q: [1 0; 10 0], R: 1 (Sarı:LQR, Mor: Set Point)**

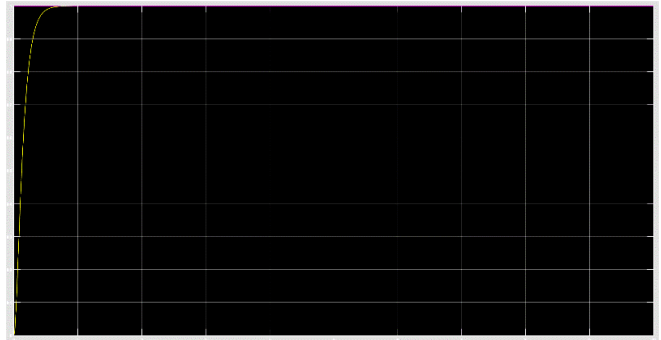
Mutlak giriş sinyali 1 değerindeyken sistemin kararlı hale gelmesi yaklaşık 3 saniye sürmektedir.



Grafik 3. Dengesiz LQR Katsayıları ile Hız

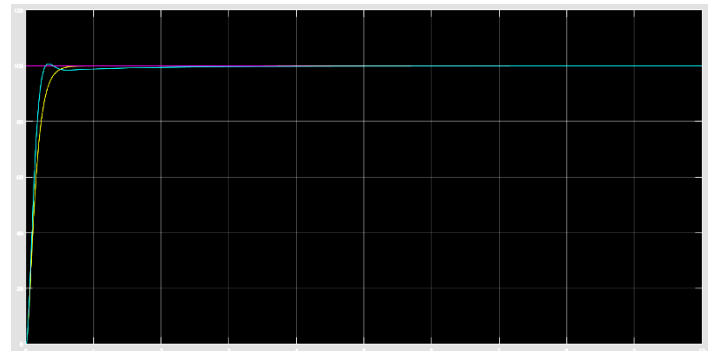
**Q: 5\*[1 0; 10 0], R: 0.01 (Sarı:LQR, Mor: Set Point)**

Süre bazlı tasarruf çalışması ile birlikte elde edilen katsayılar uygulandığında sistemin kararlı hale gelmesi yaklaşık 0.7 saniye sürmektedir.



Grafik 4. Grafık 4: Orantılanmış LQR Katsayıları ile Hız

Hız kontrolünde kullanılan denetleyici sistemlerin en iyi performansı gösterdiği katsayılar bulunduktan sonra bileşik kontrol mekanizması incelenmeye hazır hale gelmiştir. Grafikte yer alan mor renkteki eğri mutlak giriş sinyalini (Set Point) ifade etmektedir. Açık mavi renkteki PID çıktısı ile sarı renkteki LQR çıktısına bakıldığında aynı koşullar altında LQR denetleyicisi ile oluşturulmuş sistemin daha kısa sürede kararlı hale geldiği gözlemlenmiştir.



Grafik 5. PID ve LQR Denetleyicilerin Hıza Etkileri



## 4. Sonuç

Sonuç olarak ideal bir DC motor kontrol uygulamasında, aynı koşullarda zamandan tasarruf konusunda LQR kontrol yöntemi daha yüksek performans göstermektedir. Ancak değişken koşulların yer aldığı gerçek uygulamalarda özellikle enerji ve zamanın tasarrufunun sağlanması ile en yüksek performansın alınması gerektiği yerlerde sonuçlar farklı olabilmektedir. Bu çalışma ideal bir referans ortam oluşturmak suretiyle koşulların sabitlenmesi ile birlikte seçilen katsayıların istenilen performansa ulaştıracağını göstermektedir.

## 5. Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Cemil Sungur hocamıza ve Elfatek Elektronik ltd. şirketi bünyesinde yer alan araştırma ve geliştirme bölümü direktörü Dr. Süleyman Canan hocamıza teşekkürlerimizi sunarız.

## Kaynakça

1. Hekimoğlu, B., Ekinci, S., Demiray, V., Doguruci, R., & Yıldırım, A. (2018). Speed control of DC motor using PID controller tuned by salp swarm algorithm. In Proc. IENSC (pp. 1878-1889).
2. Ataner, E., Özdeş, B., Durdu, A., & Terzioğlu, H. STM32 Based Underwater Control Card Design. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 351-356.
3. Prasad, L. B., Tyagi, B., & Gupta, H. O. (2014). Optimal control of nonlinear inverted pendulum system using PID controller and LQR: performance analysis without and with disturbance input. International Journal of Automation and Computing, 11(6), 661-670.
4. Kizir, S. E. L. Ç. U. K. (2019). Real Time Full State Feedback Control of a Seesaw System Based on LQR.
5. ÇATALBAŞ, M. C., BAYRAK, Z. U., & GÜLTEN, A. (2015). Hava taşıtlarının uçuş kontrolü için doğrusal kuadratik regülatör yöntemi ile optimal kontrolör tasarımı. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 27(2), 1-9.
6. Ozkaya, U., & Seyfi, L. (2016). A novel fuzzy logic model for intelligent traffic systems. Electronics World, 122(1960), 36-39.
7. Ata, B., & Coban, R. (2017). Linear quadratic optimal control of an inverted pendulum on a cart using artificial bee colony algorithm: an experimental study. Cukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture, 32(2), 109-123.
8. Hummadi, R. M. A. M. (2012). Simulation of optimal speed control for a DC motor using linear quadratic regulator (LQR). Journal of Engineering, 18(3).



# Görüntü İşleme ve Robot Kol Tabanlı Çikolata Toplama ve Paketleme Sistemi

Muhammed Ali Yılmaz<sup>1\*</sup>, Cemil Sungur<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0487-8083), [m.a.yilmaz@outlook.com](mailto:m.a.yilmaz@outlook.com)

<sup>2</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2340-6225), [csungur@ktun.edu.tr](mailto:csungur@ktun.edu.tr)

(2nd International Conference on Computer, Electrical and Electronic Sciences ICCEES 2021, September 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1005485)

**ATIF/REFERENCE:** Yılmaz, M. A. & Sungur, C. (2021). Görüntü İşleme ve Robot Kol Tabanlı Çikolata Toplama ve Paketleme Sistemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (30), 79-82.

## Öz

Bu çalışmada bir konveyör bant üzerinden akan çikolatalar bir kamera yardımıyla toplanmıştır. Rastgele ve dağınık şekilde gelen çikolatalar konveyör bant üzerine yerleştirilmiş bir kamera ile tespit edilmiştir. Tespit edilen çikolataların merkez koordinatları robot kola gönderilmiştir. Robot kol gelen çikolata koordinatları ile konveyör banta bağlı enkoder bilgisini kullanarak sistemi durdurmadan çikolata toplama ve paketleme işlemini gerçekleştirmiştir. Görüntü işleme aşamasında HSV dönüşümü, kenar tespiti ve moment yöntemleri kullanılarak çikolatalar yüksek doğrulukla tespit edilmiştir. Kamera – robot kol birbirine kalibre edilerek toplama işlemini hatasız yapan bir otomasyon sistemi kurulmuştur. Görüntü işleme donanımı olarak bilgisayar kullanılmıştır. Bilgisayar-robot kol arasındaki haberleşme işlemi Modbus TCP/IP yöntemi ile yüksek hızda gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çikolata toplama, Görüntü işleme, Robot kol, OpenCV, Otomasyon.

## Chocolate Picking and Packaging System with Robotic Arm based on Image Processing

### Abstract

In this study, chocolates flowing over a conveyor belt were collected with the help of a camera. Random and scattered chocolates were detected with a camera placed on the conveyor belt. The center coordinates of the detected chocolates were sent to the robot arm. The robot arm carried out the chocolate collection and packaging process without stopping the system by using the incoming chocolate coordinates and the encoder information connected to the conveyor belt. Chocolates were detected with high accuracy by using HSV transform, edge detection and moment methods in the image processing stage. An automation system has been established that makes the collection process error-free by calibrating the camera and robot arm to each other. Computer was used as image processing hardware. The communication process between the computer and the robot arm was carried out at high speed using the Modbus TCP/IP method.

**Keywords:** Automation system, chocolate picking, Image processing, Robotic Arm, OpenCV.

\* Sorumlu Yazar: [baysal.selimsefa@aydtr.com](mailto:baysal.selimsefa@aydtr.com)

## 1. Giriş

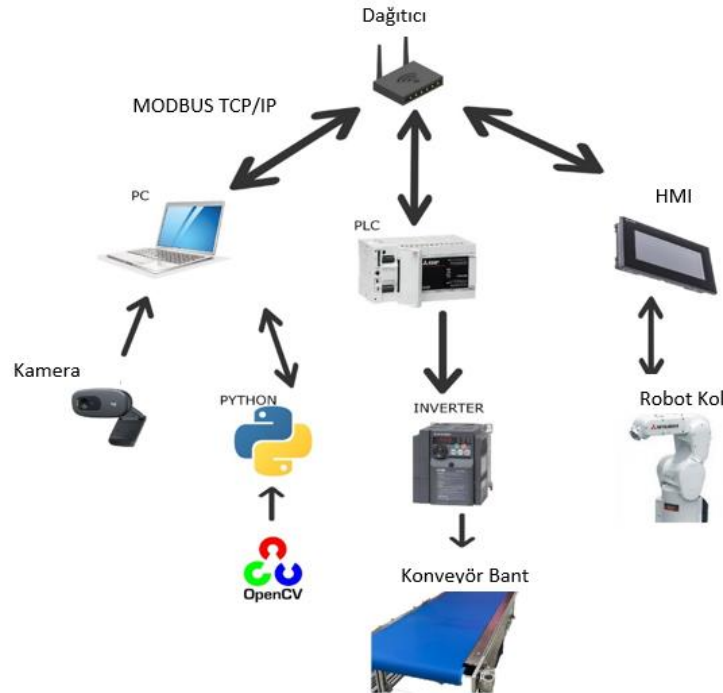
Endüstride seri üretimde ürün toplama ve paketlenme işlemleri genel olarak insanlar ile yapılır. İnsan çalışan sistemlerde verim sürekli yüksek olmamakla birlikte insanın hata yapma olasılığı yüksektir. Bu nedenle seri üretimler için bir otomatik toplama ve paketlenme sistemi gereklidir. Endüstri 4.0 bilişim ve endüstri faaliyetlerinin ortak çalışması olarak açıklanmakta olup son zamanlarda popüler olmuş bir terimdir. Bilişim teknolojilerine de görüntü işleme, makine öğrenmesi ve yapay zekâ liderlik etmektedir. Yapay zekâ ile makineler daha “akıllı” bir hale getirilerek üretim sistemleri değiştirilmektedir. İnsansı işleri yapan robotlar, akıllı bilgisayarlar ve gelişmiş otomasyon sistemleri günümüzde normal karşılanmaya başlamıştır. Teknolojinin yakaladığı yükselişin etkisi bunun en büyük sebeplerinden birisidir. Fabrikalarda yer alan akıllı otomasyon sistemleri, yine fabrikalarda insana özgü görevleri yapan ve birbirleriyle etkileşime geçen akıllı robotlar teknolojinin ilerlemesini sağlamaktadır.

Yundong Li ve ark. [1] gerçekleştirdikleri çalışmada deforme olmuş desenli kumaşları Fisher Kriter Tabanlı Derin Öğrenme (FKTDÖ) yöntemiyle tespit etmiştir. İlk olarak, kumaş görüntüleri aynı boyuttaki parçalara bölünmüş ve FKTDÖ sistemi eğitilmiştir. İkinci aşamada FKTDÖ aracılığıyla kusurlu ve sağlam şekilde sınıflandırılmıştır. Son olarak, yeniden yapılandırılmış görüntü ile arızalı arasında kalan görüntüler hesaplanır ve kusur işlemi eşikleme yöntemi ile bulunmuştur. Deneysel sonuçlar önerilen yöntemin etkinliğini göstermiş ve kumaşları hatasız ve kusurlu olmak üzere başarılı bir şekilde sınıflandırmışlardır. Hussam Elbehiery ve ark. [2] görüntü işleme yöntemlerini kullanarak seramik karo imalatında kalite kontrol işlemi gerçekleştirmiştir. Homojenliği iyileştirmek için paketlenme işleminden önce histogram eşitleme, kenar tespiti gürültü giderme, boşlukları doldurma tekniklerini kullanarak seramik karolarda renk analizi, boyut doğrulama ve yüzey kusur tespiti yapmışlardır. Görüntü işleme yöntemlerinden elde edilen

sonuçlar kullanılarak ürün kalitesi ve üretim verimliliği konularında çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Özdemir ve ark. [3] akıllı fabrika prototipinde Derin Öğrenme yöntemi ile kalite kontrol uygulaması yapmışlardır. Çalışmada akıllı fabrika modelinde montaj hattına koyulan bir kamera ile görsel kalite kontrol otomasyonu önerilmiştir. Önerilen yöntemde kameradan elde edilen görüntü MATLAB ortamında işlenmiştir. İşlem sonucunda ürün üretim bandından ayrılmış veya bantta işlenmeye devam etmiştir. JavierVillalba-Diez ve ark. [4] baskı endüstrisinde derin öğrenme yöntemleriyle kalite kontrol çalışması yapmışlardır. Gravür silindirlerinin üretim aşamasında oluşan hataları Derin Sinir Ağı (DNN) ile en aza indirmek üzere çalışmıştır. Yüksek çözünürlüklü optik kalite kontrol kamerası yardımıyla yapılan bu çalışmada %98,4 lük bir doğruluk oranı yakalanmıştır. Korkmaz ve Barstuğan [5] robot kolunun ucuna monte edilen bir kamera ile konveyör bant üzerinden akan frekans inverterlerinin kalite kontrolünü yapmıştır. Çalışmalarında ilk olarak inverter tespit edilmiş, daha sonra konveyör bant durdurulmuştur. Bant durduktan sonra robot kol otomatik olarak frekans inverterinin kalite kontrolünün yapılacağı konuma gitmiştir. Kalite kontrol noktasında frekans inverterine frenleme direncinin takılıp takılmadığı tespit edilmiştir. Tespit işleminde kameradan alınan görüntü sınıflandırılmış ve sınıflandırma sonucuna göre bir karar verilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışma, Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Endüstriyel Otomasyon Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Logitech C270 kamera ile görüntüleme işlemi yapılmıştır. Elde edilen görüntüler Python ortamında OpenCV kütüphanesi ile işlenmiş, konveyör sistemi ve robot kolu kontrol etmek için Mitsubishi FX5U PLC kullanılmıştır. PLC ve Python yazılım dili MODBUS TCP/IP haberleşmesi üzerinden haberleştirilmiştir. Kurulan sistemin yapısı Şekil 1'de görülmektedir.



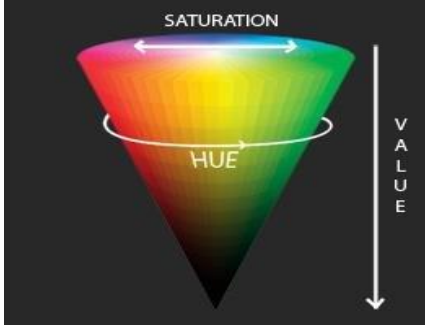
Şekil 1. Kurulan sistem ve haberleşme yapısı

## 2.1. Görüntü İşleme

Görüntü işleme aşamasında HSV dönüşümü, kenar tespiti ve moment bulma yöntemleri kullanılmıştır.

### ➤ HSV dönüşümü

Kameradan alınan görüntüde renkler üzerinden daha kolay işlem yapabilmek için BGR (Blue Green Red) renk uzayından HSV (Hue Saturation Value) renk uzayına geçiş yapılmıştır. HSV renk uzayı sırasıyla renk özü, doygunluk ve parlaklık terimlerini ifade eder. Renk özü, rengin baskın dalga uzunluğunu belirler. Doygunluk, rengin canlılığını belirler. Parlaklık ise rengin aydınlığın yani beyaz oranını belirler. Şekil 2’de HSV renk uzayının gösterimine yer verilmiştir.



Şekil 2. HSV renk uzayı

### ➤ Kenar tespiti

Kenarlar, aynı renge ve yoğunluğa sahip tüm sürekli noktaları (sınır boyunca) birleştiren bir eğri olarak açıklanabilir [6]. Bir görüntünün kenarlarını bulmak, görüntüdeki önemli yapısal özellikleri korurken verinin büyük bir kısmını önemli ölçüde azaltır ve gereksiz bilgiyi filtreler. Kenar tespiti, şekil analizi ve nesne tanıma-algılama için kullanışlı bir araçtır. Şekil 3’te basit bir dikey kenar bulma yönteminin matris olarak gösterimi görülmektedir.

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 10 & 10 & 10 \\ 0 & 0 & 0 & 10 & 10 & 10 \\ 0 & 0 & 0 & 10 & 10 & 10 \\ 0 & 0 & 0 & 10 & 10 & 10 \\ 0 & 0 & 0 & 10 & 10 & 10 \\ 0 & 0 & 0 & 10 & 10 & 10 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -30 & -30 & 0 \\ 0 & -30 & -30 & 0 \\ 0 & -30 & -30 & 0 \\ 0 & -30 & -30 & 0 \\ 0 & -30 & -30 & 0 \end{bmatrix}$$

Şekil 3. Kenar tespiti matris gösterimi

## 2.1. Robot Kol ve Özellikleri

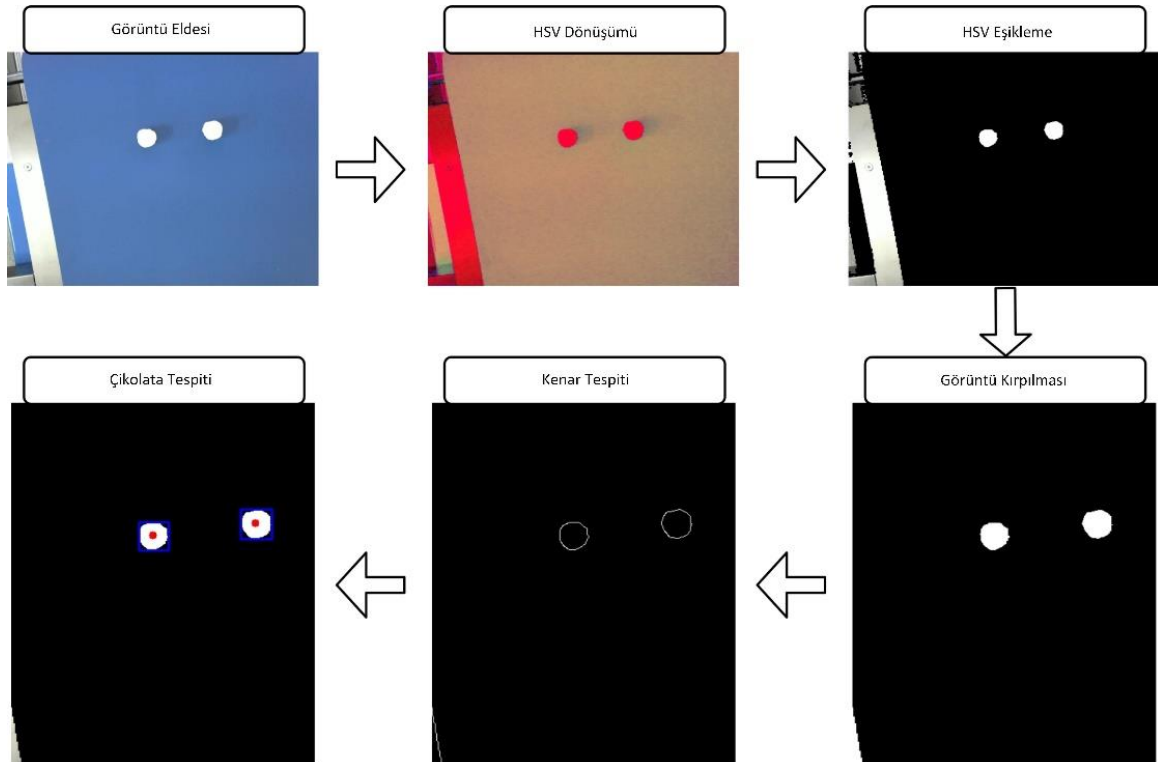
Bu çalışmada Mitsubishi Electric üretimi olan RV-2FD robot kolu kullanılmıştır. Robot kolunun dönüş derece aralıkları Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Robot kol dönüş aralıkları

Eksen	Aralık
J1	±190°
J2	-90°~+150°
J3	-10°~+157.5°
J4	±200°
J5	±200°
J6	±360°

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada uygulanan görüntü işleme metotları ve elde edilen sonuçlar Şekil 4’te sunulmuştur. Kameradan elde edilen görüntü öncelikle HSV dönüşümü işlemi uygulanmış, daha HSV görüntü eşiklenmiştir. Eşiklenen görüntü üzerinde kenar tespiti yapılarak çikolatalar tespit edilmiştir. Elde edilen çikolataların merkez konumları momentleri alınarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. Önerilen yöntem ve görsel sonuçlar

## 4. Sonuç

Görüntü işleme teknikleri fabrika ortamlarında kullanılmaya uygun ve yüksek performanslı sonuçlar veren yöntemlerdir. Bu sayede fabrika ortamında insan etkisi ortadan kaldırılarak yüksek verimle çalışabilen sistemler ortaya konulabilmektedir. Elde edilen sonuçlar robot kolun kameradan gelen çikolata konumlarına yüksek doğrulukla giderek çikolataları toplayabildiğini göstermektedir.

## 5. Teşekkür

Bölümümüz laboratuvarında kullanılan otomasyon ürünlerini hibe eden Mitsubishi Electric firmasına, konveyör sistemini hibe eden MEMAK Makine firmasına teşekkür ederiz.

## Kaynakça

- [1] Li, Y., Zhao, W., & Pan, J. (2016). Deformable patterned fabric defect detection with fisher criterion-based deep learning. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 14(2), 1256-1264.
- [2] Elbehery, H., Hefnawy, A., & Elewa, M. (2005). Surface defects detection for ceramic tiles using image processing and morphological techniques.
- [3] Ozdemir, R., & Koc, M. (2019, September). A quality control application on a smart factory prototype using deep learning methods. In *2019 IEEE 14th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)* (Vol. 1, pp. 46-49). IEEE.
- [4] Villalba-Diez, J., Schmidt, D., Gevers, R., Ordieres-Meré, J., Buchwitz, M., & Wellbrock, W. (2019). Deep learning for industrial computer vision quality control in the printing industry 4.0. *Sensors*, 19(18), 3987.
- [5] Korkmaz, M., & Barstuğan, M. (2020). A Deep Learning-Based Quality Control Application. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 332-336.
- [6] Ozkava, U., Ozturk, S., Akdemir, B., & Sevfı, L. (2018, October). An efficient retinal blood vessel segmentation using morphological operations. In *2018 2nd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)* (pp. 1-7). IEEE.



# Otonom Sistemlerde Veri Çoğaltma Yöntemleri Kullanılarak İyileştirilmiş Gerçek Zamanlı Nesne Tespiti

Fırat Bozkaya<sup>1\*</sup>, Abdullah Yusefi<sup>2</sup>, Şükrücan Tıǧlıođlu<sup>3</sup>, Ahmet Kağan Kaya<sup>4</sup>, Okan Kazancı<sup>5</sup>, Mustafa Yasin Akmaz<sup>6</sup>, Akif Durdu<sup>7</sup>, Cemil Sungur<sup>8</sup>

<sup>1\*</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4310-9490), [ffbozkaya97@gmail.com](mailto:ffbozkaya97@gmail.com)

<sup>2</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7557-8526), [a.yusefi1991@gmail.com](mailto:a.yusefi1991@gmail.com)

<sup>3</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3939-8987), [sukru28980@gmail.com](mailto:sukru28980@gmail.com)

<sup>4</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7845-7292),  
[kayakagan10@gmail.com](mailto:kayakagan10@gmail.com)

<sup>5</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6184-3349), [okankazanci29@gmail.com](mailto:okankazanci29@gmail.com)

<sup>6</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3608-1290),  
[mustafa.akmaz19@gmail.com](mailto:mustafa.akmaz19@gmail.com)

<sup>7</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5611-2322), [adurdu@ktun.edu.tr](mailto:adurdu@ktun.edu.tr)

<sup>8</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2340-6225),  
[csungur@ktun.edu.tr](mailto:csungur@ktun.edu.tr)

(2nd International Conference on Computer, Electrical and Electronic Sciences ICCEES 2021, September 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1006408)

**ATIF/REFERENCE:** Bozkaya, F., Yusefi, A., Tıǧlıođlu, Ş., Kaya, A. K., Kazancı, O., Akmaz, M. Y., Durdu, A. & Sungur, C. (2021). Otonom Sistemlerde Veri Çoğaltma Yöntemleri Kullanılarak İyileştirilmiş Gerçek Zamanlı Nesne Tespiti. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (30), 83-87.

## Öz

İnsan müdahalesi olmadan çalışan sistemler savunma sanayi başta olmak üzere pek çok alanda gün geçtikçe önemi ve kullanımı artmaktadır. Bu sistemlerde insan faktörü azaltılarak maliyet ve zamandan kazanç sağlansa da görüntü işleyerek çalışan sistemlerde doğruluk oranının yüksek olmaması durumunda yeni problemler ortaya çıkmaktadır. İnsan müdahalesi olmadan çalışan kara araçları için levha tespitindeki hatalı tespit problemleri, hava araçlarında ise iniş noktasının doğru tespit edilememesi gibi problemlerdir. Bu çalışmada hava aracından çekilmiş görüntüler kullanılmıştır. Bu görüntüler üzerinde çeşitli veri çoğaltma yöntemleri kullanılarak nesne tespit oranının artırılmasıyla tespit problemlerinin giderilmesi üzerine çalışılmıştır. Veri çoğaltma yöntemlerinde Gaussian, karlanma, gölgelendirme, yüksek gama, Kontrast Sınırlı Uyarlanabilir Histogram Eşitleme (CLAHE), artırılmış parlaklık, azaltılmış parlaklık yöntemleri uygulanarak veri çoğaltma işlemi yapılmış olup nesne tespitinde kullanılacak olan model eğitimi YOLOv4 algoritmasıyla gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar gözlemlendiğinde 8000 tekrar sonrasında başarı oranının %94'e kadar çıktığı ve kayıp (loss) değerinin 0.42 sonucunu verdiği gözlemlenmiştir. Eğitilen model simülasyon ortamına gerek duyulmadan gerçek araçta denenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Veri Çoğaltma, Nesne Tanıma, YOLOv4, Görüntü İşleme, İnsansız Hava Araçları

## Improved Real Time Object Detection In Autonomous Systems Using Data Augmentation Methods

### Abstract

The importance and application of systems that work without human involvement are growing in many industries, particularly in the defense industry. Although minimizing the human role in these systems saves money and time, it also introduces new challenges if the accuracy rate in image processing systems isn't high enough. Erroneous traffic sign detection for land vehicles running without human assistance, as well as a failure to correctly estimate the landing site in aircraft. In this study, images from the plane were collected and used to enhance object detection in autonomous systems. On these photos, several data augmentation approaches have been used to try to alleviate the detection challenges by increasing the object detection rate. Data reproduction methods included Gaussian, snow, shading, high gamma, Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE), raised luminance, and lowered luminance methods, as well as data augmentation. The YOLOv4 algorithm was utilized to train the model for object detection. When the findings were examined, it was discovered that after 8000 repetitions, the success rate had increased to 94 percent, and the loss value had decreased to 0.42. In addition to the simulation environment, the trained model was also evaluated in a real ground vehicle.

**Keywords:** Data Augmentation, Object Detection, YOLOv4, Image Processing, Unmanned Aerial Vehicles

\* Sorumlu Yazar: [ffbozkaya97@gmail.com](mailto:ffbozkaya97@gmail.com)

## 1. Giriş

Günümüzde, insan müdahalesi olmadan çalışan (otonom) sistemler sıkça kullanılmaktadır. Çeşitli amaçlarla kullanılan otonom sistemler, geniş bir alana hitap etmektedir. Otonom sistemlerin temel amacı insan faktörünü azaltmaktır. İnsan faktörü ön planda tutulan sistemlerde maliyet ve zaman açısından dezavantaj olmaktadır. İnsan faktörünün azaltılmasıyla beraber zaman ve maliyetten kazanç sağlanmasının yanı sıra hatalarda minimum düzeye indirilecektir. Otonom sistemlerin çoğu, bir ya da birden fazla kamera yardımıyla alınan görüntünün işlenmesiyle çalışmaktadır. Sistemin doğruluğu ise gelen görüntünün doğru bir şekilde işlenip işlenmediğine bağlıdır. Görüntünün işlenmesi kısmında doğruluk oranının yüksek olmaması durumunda yeni problemler ortaya çıkmaktadır. Bu problemlerden biri, otonom olarak hareket eden bir kara aracının yol kenarındaki levhaları yanlış bir şekilde tespit etmesidir. Örneğin, sola dönülmez levhasının yanlış şekilde tespit edildiği bir durumda otonom çalışan kara aracı sola dönebilir ve kaza yapma riski oluşturabilir. Hava araçlarında karşılaşılabilecek problemler arasında ise iniş noktasının doğru tespit edilememesi ve yanlış bir noktanın iniş noktası olarak tespit edilmesi halinde istenmeyen durumlara sebebiyet verebilir. Bu yanlış tespit problemleri nesne tespitindeki başarı oranı yükseltilerek önenebilir. Bunun için hava aracından çekilmiş görüntüler kullanılmıştır. Bu çalışmada nesne tespitindeki başarı oranını yükseltebilmek için görüntüler üzerinde çeşitli veri çoğaltma yöntemlerinden faydalanılmıştır.

Veri çoğaltma yöntemlerinde Gaussian, karlanma, gölgelendirme, yüksek gama, Kontrast Sınırlı Uyarlanabilir Histogram Eşitleme (CLAHE) [1], artırılmış parlaklık, azaltılmış parlaklık yöntemleri kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmada ağırlıklı olarak CLAHE yöntemi üzerinde durulmuştur. Ayrıca yapılan bu veri çoğaltma işlemlerinden sonra elde edilen veri setiyle beraber nesne tanımda kullanılacak olan model eğitimi, YOLOv4 [2] algoritmasıyla gerçekleştirilmiştir.

Bildirinin geri kalan kısmının ikinci bölümünde çalışmayı yaparken kullanılan görüntü kirlenme algoritmaları, YOLOv4 algoritması yöntemlerinin anlatılmasının yanı sıra kullanılan materyaller ve literatür araştırması yapılmıştır. Üçüncü bölümde model eğitimi ve sonrasında ortaya çıkan bulgulara yer verilmiştir. Dördüncü bölümde çalışmayla ilgili gözlem ve sonuçlara yer verilmiştir. Beşinci bölümde ise çalışmada yararlanılan kaynaklar yer almaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Görüntü Kirlenme Algoritmaları

Görüntü kirlenme, veri setindeki çeşitliliği arttırmak amacıyla kullanılan veri çoğaltma işlemleridir. Karşılaşılabilecek farklı görüntü kirlenmelerinde (gölgelendirme, artırılmış parlaklık, azaltılmış parlaklık vb.) modelin nesne tespitinde kullanılan veri seti çeşitliliğinin artmasıyla modelin tespit yeteneği doğru oranda artacaktır. Kullanılan görüntü kirlenme yöntemleri Gaussian gürültüsü, karlandırma, gölgelendirme, gamma artırma, güneş parlaklığını artırma ve ışık oranını azaltma olarak kullanılmıştır. Bunlara ek olarak CLAHE algoritması da görüntü kirlenme algoritmalarıyla beraber model eğitimi için kullanılmıştır.

CLAHE algoritması görsellerdeki yerel kontrastı geliştiren bir algoritmadır. Böylelikle, veri setindeki renk farklılıkları azaltılabilmektedir. Bunlarla birlikte histogram eşitleme (HE) teknikleri de kullanılmaktadır. Histogram eşitleme tekniği,

görüntünün kontrastını arttırmak için kullanılan yaygın bir yöntemdir. Uyarlanabilir Histogram Eşitleme (AHE) ise görüntünün bazı bölgelerine karşılık gelen birkaç histogramı hesaplayarak yerel kontrastı geliştirip yerel bilgi kaybını azaltmaktadır. CLAHE, HE ve AHE yöntemlerini baz alarak kontrastın limitlenmesini sağlar [1]. Böylece önceden verilen değerde histogramı kırpmasını sağlayarak büyümeyi önler. CLAHE algoritması, veriler içerisinde daha kaliteli görüntüler elde edilmesini sağlamaktadır. Nesne tespit modeli için veri seti oluştururken veri çeşitliliğini çoğaltmak amacıyla CLAHE algoritması kullanılarak daha kaliteli görüntü oluşturulmuştur. Orijinal görüntü ve CLAHE algoritması uygulanmış görüntü Şekil 1.a ve Şekil 1.b'de verilmiştir.



Şekil 1.a: Orijinal Görüntü



Şekil 1.b: CLAHE Uygulanmış Görüntü

Gaussian bulanıklaştırması ile görüntü üzerindeki gürültülerin azaltılması amaçlanmaktadır. Gürültünün çok olması durumunda tespit oranları düşmekte olup yanlış tespit ihtimali artmaktadır. Gaussian bulanıklaştırması kullanıldığında tespit oranları artmaktadır. Gaussian bulanıklaştırmasını kullanmak için iki boyutta Gauss fonksiyonu kullanılmaktadır. Bu fonksiyon aşağıda verilmiştir.

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

Bu fonksiyonda kullanılan  $x$  ve  $y$  parametreleri, merkez pikselden (0,0) delta'yı belirtir. Örneğin, çekirdek için seçilen yarı çap 3 ise  $x$  ve  $y$  -3 ile 3 (dahil) arasında değişim göstermektedir. Bu fonksiyonda diğer bir parametre olan  $\sigma$  ise standart sapmadır. Merkez pikselin, komşu piksellerinin hesaplama sonucunu ne kadar önemli ölçüde etkilediğini belirtir [3].

Karlandırma (snow) tekniği HLS [5] renk uzayındaki görüntünün açıklık artırma yöntemini kullanarak, çoğunlukla yollar, ağaçlar, dağlar ve diğer peyzaj özellikleri olan görüntünün en karanlık kısımlarını beyazlatır. Böylelikle görselde bulunan alanlarda karlanma varmış gibi bir görüntü elde edilir.

Gölgelendirme tekniği görüntü içerisindeki belirli alanlara rastgele olarak gölgeler ekler. Böylelikle tepelerde veya ormanlık alanda rastgele değişen parlaklık, doğru şekilde eğitilmemişse bu sorunun önüne geçilebilir.

Gamma değeri bir görüntünün kontrast ölçümüdür. Yüksek gamma değerinde kontrast değeri yüksekken düşük gamma değerinde ise kontrast değeri düşük olur. Gamma değerinin yükseltilmesi sayesinde kontrast artacak olup renkler arasındaki karşıtlık artacak; ayrıca görüntüdeki çizgiler, şeritler daha belirgin olacaktır.

Görüntünün parlaklık değerinin artırılmasıyla resim üzerinde bulunan nesnelerin renkleri daha ön plana çıkacaktır. Aynı şekilde görüntünün parlaklık değeri azaltılırsa resim üzerinde bulunan nesneler daha koyu bir şekilde gözükülecektir. Bu sayede veri sayısı

artarak farklı ışık miktarlarında tespit oranının arttığı gözlemlenmiştir.

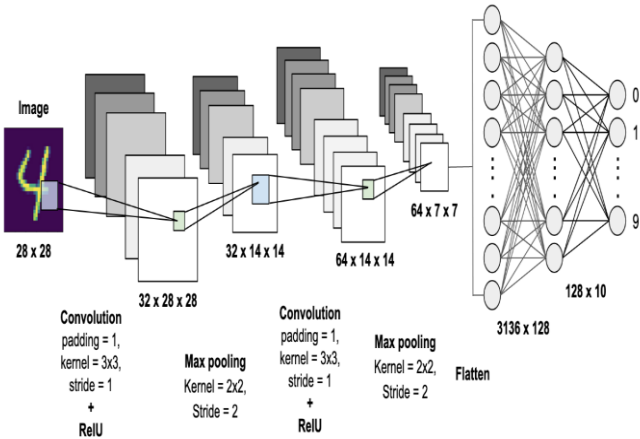
Anlatılan görüntü kirlenme yöntemleri Şekil 2'de ilgili resimlerde gösterilmiştir.



Şekil 2: Kirlenme Algoritmalarının Uygulanması

## 2.2. Konvolüsyonel Sinir Ağı

Konvolüsyonel sinir ağları (CNN) [6], derin öğrenmenin bir alt dalıdır ve genellikle görsel bilginin analiz edilmesinde kullanılmaktadır. Yaygın kullanım alanları resim ve video tanıma, öneri sistemleri, resim sınıflandırma, tıbbi görüntü analizi ve doğal dil işleme olarak sıralanabilmektedir. İleri yönlü bir sinir ağı olan konvolüsyonel sinir ağı algoritması, hayvanların görme merkezinden esinlenilerek ortaya atılmıştır. Buradaki matematiksel konvolüsyon işlemi, bir nöronun kendi uyarı alanından uyarılara verdiği cevap olarak düşünülebilir. CNN, bir veya daha fazla konvolüsyonel katman, alt örnekleme (subsampling) katmanı ve bunun ardından standart çok katmanlı bir sinir ağı gibi bir veya daha fazla bağlı katmandan oluşmaktadır [4]. Bu bağlı katmanların birbiriyle ilişkisi Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3: Konvolüsyonel Sinir Ağı Katmanları

## 2.3. YOLOv4 Algoritması

YOLO, konvolüsyonel sinir ağları (CNN) üzerine kurulmuş olup, videolardan ve görüntülerden nesne tespiti yapabilen bir derin öğrenme algoritmasıdır [2]. Bu algoritmada görüntüye bir sinir ağı uygulanır. Bu sinir ağı görüntüyü bölgelere ayırmaktadır ve her bölge için olasılıkları ve sınırlayıcı kutuları tahmin etmektedir. Bu sınırlayıcı kutular her bir bölgede nesne bulunma olasılığını hesaplar. Ayrıca her sınırlayıcı kutu için bir güven

skoru da hesaplanmaktadır. Bu skor sayesinde o nesnenin yüzde kaç ihtimalle tahmin edilen nesne olduğunu ortaya çıkarmaktadır. Örneğin bulunan bir insan için güven skoru 0,2 ise o nesnenin insan olma olasılığı oldukça düşüktür. YOLO, yaptığı tahminin güvenilmez olduğunu güven skoru aracılığıyla belirtmektedir. Sınırlayıcı kutularda bulunan nesnelere Maksimum Olmayanı Baskılama (Non-Maximum Suppression) yöntemi [7] uygulanmaktadır. Bu işlem güven skorlarını karşılaştırarak güven skoru düşük olan nesnelere değeri düşürür ve aynı bölgede güven skoru daha yüksek olan bir sınırlayıcı kutu olup olmadığını kontrol eder. Daha yüksek bir sınırlayıcı kutu olması durumunda en yüksek güven skoru olanı işaretleyerek diğer sınırlayıcı kutuları görüntüden çıkarmaktadır. Bu sınırlayıcı kutular aracılığıyla nesne tespiti örneği Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4: Sınırlayıcı Kutular Aracılığıyla Nesne Tespiti

YOLOv4 modeli, nesne tanıma algoritmasının dördüncü sürümüdür. Bu sürüm önceki sürümlerde olduğu gibi hem bir kez konvolüsyonel sinir ağı modelinden geçmekte hem de MS-COCO veri kümesinden faydalanmaktadır. Bu sayede saniyede işlenen kare hızında ciddi bir artış olmakla beraber gerçek zamanlı nesne tespiti yapılmasına olanak sağlamaktadır.

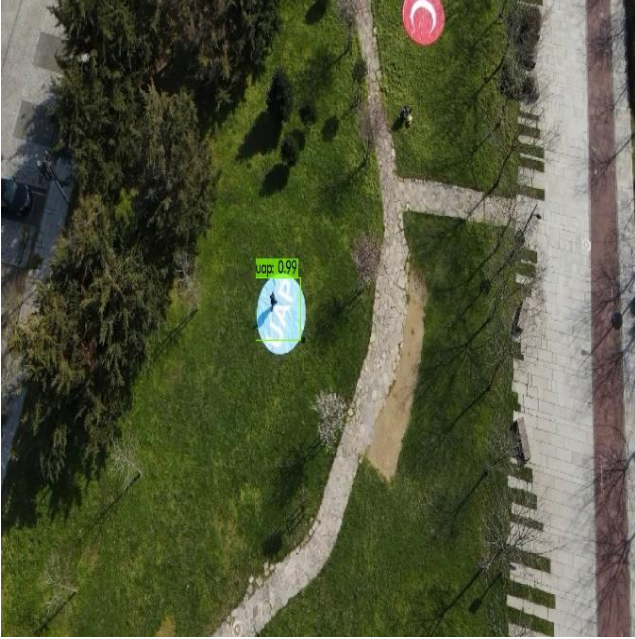
## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Bulgular

İnternet üzerinde bulunan hava aracının kaydettiği görüntüler kullanılarak bu görüntüleri Kısım 2.A'da bahsedildiği gibi çeşitlendirilerek YOLOv4 modelinde eğitim gerçekleştirilmiştir. Bu eğitimlerde RTX 2060 ekran kartı kullanılmış olup YOLOv4 modelinde eğitim 12 saat sürmüştür. Eğitim sonunda ağırlıklar incelendiğinde, düşük iterasyon sayısında oluşan ağırlıkların nesne tespitinde birden fazla sınırlayıcı kutu çizdiği görülmektedir. Nesne tespit oranının artması için aşağıda verilen matematiksel işlem uygulanmıştır.



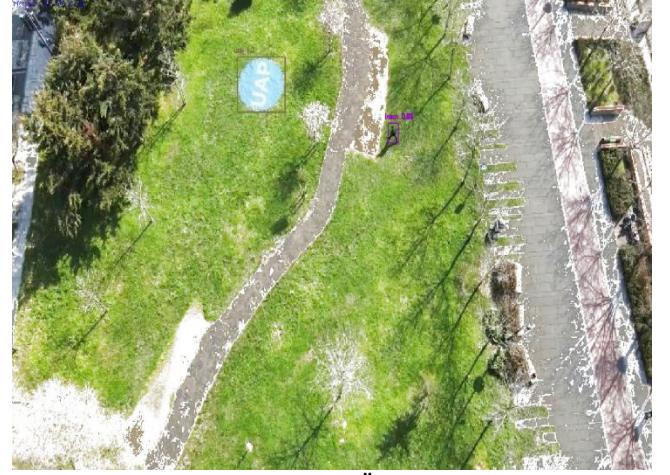
Bu alandaki sınıf sayısı tespit edilecek farklı nesne sayısıdır. Görüntü kirlenme işlemleri uygulanmış ve uygulanmamış model üzerindeki örnek görüntüler Şekil 5.a-d'de verilmiştir. Şekil 5.a-d'de yer alan sınıflar Uçan Araba Park (UAP), insan, Uçan Ambulans İniş (UAI) alanıdır. Eğitilen modeller simülasyon ortamına gerek duyulmadan gerçek araçta denenmiştir.



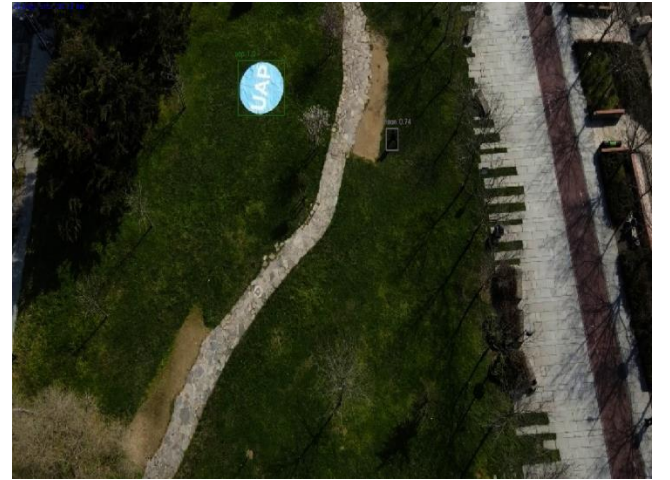
Şekil 5.a: Görüntü Kirlenme Uygulanmamış Model



Şekil 5.b: Görüntü Kirlenme Uygulanmış Model

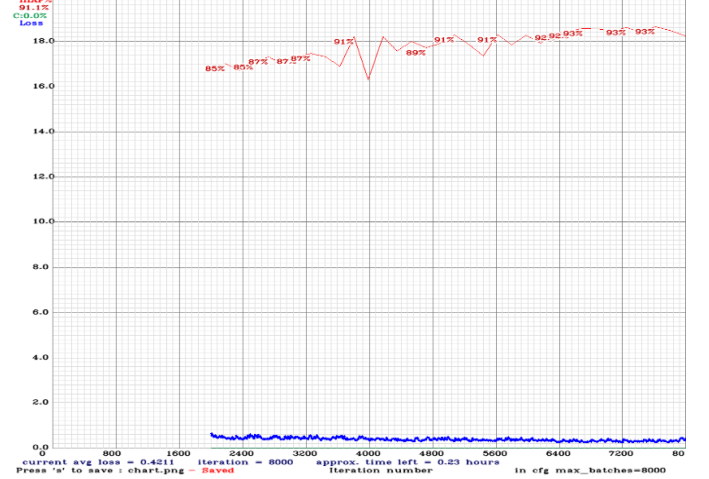


Şekil 5.c: Karlanmış Görsel Üzerinde Nesne Tespiti



Şekil 5.d: Gama Uygulanmış Görsel Üzerinde Nesne Tespiti

Kullanılan YOLOv4 modelinin 8000 tekrar sonrasında başarı değerinin %94'e kadar çıktığı ve loss değerinin 0.42 sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Bu eğitim bilgileri Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6: YOLOv4 Eğitim Sonuçları

Mavi eğri, eğitim kaybı veya eğitim veri kümesindeki hata oranıdır. Kırmızı çizgi, modelin daha önce hiç görülmemiş bir veri kümesinde veya doğrulama kümesinde iyi bir şekilde tespit edip edemediğini kontrol eden ortalama kesinlik oranıdır.

## 4. Sonuç

Test amaçlı eğitilen modeller, gerçek araç üzerinde test edildiğinde düşük sayıda veriyle hazırlanan modelin doğruluk oranının düşük olduğu ve görüntü kirlenme algoritmaları uygulanarak veri çoğaltma yöntemleriyle hazırlanan modelin doğruluk oranının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu sayede insan müdahalesi olmadan nesne tespiti yaparak çalışan sistemlerin kazaya sebebiyet vermeden sorunsuz bir şekilde çalışmalarına olanak sağladığı saptanmıştır.

## 5. Teşekkür

Yazarlar ayrıca Konya Teknik Üniversitesi RAC-LAB Araştırma Laboratuvarı'na (<http://www.rac-lab.com>) teşekkür eder.

## Kaynakça

- [1] (2021) Kontrast Sınırlı Uyarlanabilir Histogram Eşitleme (CLAHE), [Online]. Available: <https://github.com/YuAo/Accelerated-CLAHE>
- [2] FBochkovskiy, Alexey, et al. "YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection." ArXiv:2004.10934 [Cs, Eess], Apr. 2020. arXiv.org,
- [3] (2021) Image Filters: Gaussian Blur [Online]. Available: <https://aryamansharda.medium.com/image-filters-gaussian-blur-eb36db6781b1>
- [4] ŞEKER, Abdulkadir, et al. Derin Öğrenme Yöntemleri ve Uygulamaları Hakkında Bir İnceleme. 15 Nov. 2017. dergipark.org.tr,
- [5] Meeus, Wim, et al. "An overview of today's high-level synthesis tools." Design Automation for Embedded Systems 16.3 (2012): 31-51.
- [6] Yamashita, Rikiya, et al. "Convolutional neural networks: an overview and application in radiology." Insights into imaging 9.4 (2018): 611-629.
- [7] Neubeck, Alexander, and Luc Van Gool. "Efficient non-maximum suppression." 18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'06). Vol. 3. IEEE, 2006.