



ÖZEL SAYI/SPECIAL ISSUE
ŞUBAT/FEBRUARY 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.



İÇİNDEKİLER / TABLE OF CONTENTS

Tren Frenleme Enerjisinin Maksimum Geri Kazanımı İçin Zaman-Planı Optimizasyonu

Büşra TURAL, Metin TURAN

Sayfa: 1 - 9

Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Anomali Tabanlı Saldırı Tespit Modeli Uygulaması

Mehmet Salih KARAMAN, Metin TURAN, Muhammed Ali AYDIN

Sayfa: 10 - 17

IoT Teknolojisi Kullanan Pratik ve Güvenilir Akıllı Kapı Kilidi Tasarımı

Ayşegül KALYONCU, Metin TURAN

Sayfa: 18 - 24

Sulama/İlaçlama Robotu için Nesne Tanıma Çalışmaları

Haluk ÖZGEN, Metin TURAN

Sayfa: 25 - 33

Video Duygu Analizi

Metin TURAN, Emre ARIĞ

Sayfa: 34 - 41

Cebirsel Şifrelenmiş LSB Yöntemi

Ali KARADURAN, Metin TURAN

Sayfa: 42 - 49

Görüntülü Mobil İletişimde Hologram Teknolojisinin Kullanımı

Şafak KAYIKÇI, Ahmet YÜREKLİ

Sayfa: 50 - 54

Pnömatik Yapay Kaslar için Yapay Sinir Ağı Esaslı Ters Modelleme

Cabbar Veysel BAYSAL

Sayfa: 55 - 62

Dinamik Tüketici Talep Yönetimi Yapabilen Blokzincir/Kripto Para Tabanlı Elektrik Piyasası İşletme Modeli

Alper ÖZPINAR

Sayfa: 63 - 69



Tren Frenleme Enerjisinin Maksimum Geri Kazanımı İçin Zaman-Planı Optimizasyonu

Büşra Tural^{1*}, Metin Turan²

¹ İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3645-8761)

² İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1941-6693)

(Bu yayın 26-27 Haziran 2020 tarihinde HORA-2020 kongresinde sözlü olarak sunulmuştur.)

(DOI: 10.31590/ejosat.1115811)

ATIF/REFERENCE: Tural, B. & Turan, M. (2021). Tren Frenleme Enerjisinin Maksimum Geri Kazanımı İçin Zaman-Planı Optimizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue), 1-9.

Öz

Bu makalede, Metro İstanbul araçlarında kullanılması için zaman planı oluşturularak maksimum enerji kazanımının optimize edilmesine yönelik yapılan araştırma sonuçları paylaşılmıştır. Bu çalışma ile amaçlanan rejeneratif enerji ile enerji kazanımı elde ederek enerji tasarrufu sağlamaktır. Rejeneratif enerji ile sağlanan enerji kazanımı, elektromanyetik frenleme yapan trenlerin ürettiği enerjii hatta bulunan ve hareket etmeye hazır durumda olan diğer trenlere aktarması ilkesine dayanmaktadır. Trenin frenlemesi esnasında kinetik enerji açığa çıkar ve bu enerji elektrik enerjisine dönüştürülür, elektrik enerjisine dönüşen bu enerji katenera geri iletilir. Katener de hatta alıcı durumunda bulunan diğer bir trene bu enerjii iletir ve böylelikle hatta alıcı durumundaki tren bu enerjii kullanması ile enerji kazanımı sağlanmış olur. Rejeneratif frenleme enerjisinden en etkin bir şekilde yararlanmanın yollarından biri zaman-planı en iyileştirmesi (optimizasyonu) uygulanmasıdır. Zaman-planı en iyileştirilmesi yapılarak maksimum enerji kazanımı sağlayacak istasyon bekleme süreleri bulunur. Trenlerin istasyondaki en uygun bekleme sürelerini bulmak için bu çalışmada genetik algoritma kullanılmıştır. Genetik algoritma, çok boyutlu ve karmaşık arama uzayında en iyinin hayatta kalması ilkesine dayanan arama ve en iyileme yöntemidir. Genetik algoritmalar, evrimsel süreci bilgisayar ortamında taklit ederek problemlerin çözümünü ararlar. Başlangıç bireyleri tanımlanan kısıtlamalara dikkat edilerek rastgele oluşturulmuştur. Uygunluk fonksiyonu en iyileştirilmiş zaman-planını verecek bekleme sürelerini içeren bireyin değerlendirmesi amacıyla kullanılmaktadır. Her yeni nesilde daha iyi bireyler elde etmek üzere, farklı yöntem ve oranlarda elitizm, çaprazlama ve mutasyon operatörleri uygulanmıştır. Optimizasyonun nihai haline ulaşması iterasyon sayısı ile sınırlandırılmıştır. Gerçekleştirilen çalışma referans olarak alınan çalışmaya kıyasla %30 oranında daha iyi sonuç elde etmiştir. Referans makalede %60 oranında olan enerji kazanımının, bu çalışma ile %78 oranına kadar çıkartılabildiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yeniden Enerji Kazanımı, Metro Zaman Planı, Genetik Algoritma.

Time-Plan Optimization with Genetic Algorithm for Regain of Energy from Train Tracks

Abstract

In this article, the results of the research on optimizing the maximum energy gain by creating a time plan have shared for use in Metro Istanbul vehicles. The purpose of this study is to achieve energy savings by obtaining energy gain with regenerative energy. The energy recovery provided by regenerative energy is based on the principle of transferring the energy produced by the trains that make electromagnetic braking to other trains that are found and ready to move. During the braking of the train, kinetic energy is released and this energy is converted into electrical energy, this energy transformed into electrical energy is transmitted back to the catenary. The catenary transmits this energy to another train that is also in the receiver status, and thus, energy gain is achieved, by using this energy in receiver train on the line. One of the ways to utilize regenerative braking energy in the most effective way is to apply time-plan optimization. By optimizing the time-schedule that provide maximum energy gain, the station waiting times is found. Genetic algorithm was used in this study to find the most suitable waiting times of trains at the station. Genetic algorithm is the search and optimization method based on the principle of the best survival in multi-dimensional and complex search space. Genetic algorithms seek the solution of problems by imitating the evolutionary process in a computer environment. Initial individuals were

randomly created by taking into consideration the defined restrictions. The fitness function is used to evaluate the individual which includes the waiting times that give the optimized time-schedule. Elitism, crossover and mutation operators in different methods and proportions have been applied to obtain better individuals in each new generation. The finalization of optimization is limited by the number of iterations. The study carried out has achieved 30% better result than the reference study. It was observed that the 60% energy gain in the reference article can be increased up to 78% with this study.

Keywords: Regain of Energy, Metro Time-Table, Genetic Algorithm

1. Giriş

Günümüzde artan nüfus ile birlikte ulaşım ve çevresel sorunlarda giderek artmaktadır. Nüfusun büyük çoğunluğunun şehir merkezlerinde yaşadığı düşünüldüğünde ulaşım problemlerinin çözülmesinde toplu taşıma ulaşımın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Toplu taşımaya verilen önemin giderek artması ile birlikte metro, tramvay gibi raylı sistem araçlarına duyulan talepte artmıştır.

Gelişmiş ülkelerde raylı sistem araçları diğer toplu taşıma araçlarına kıyasla öncelikli olarak kullanılmaktadır. Bunun sebebi, raylı sistem araçlarının kullanım ömürlerinin ve yolcu kapasitelerinin fazla olması ve çevreye verdiği zararın diğer toplu taşıma araçlarına göre daha az olmasıdır. Fakat bunun yanında raylı sistemler inşaat süreci uzun süren, araç, yatırım ve yüksek maliyetli sistemlerdir. Raylı sistem yatırımlarının artırılması için projelerin geri dönüş sürelerinin kısılması ve sistemin maliyetlerinin düşürülmesi oldukça önem arz etmektedir. En yüksek maliyet faktörlerinden biri de enerji tüketimidir. Kullanılan enerji tüketiminin en aza indirilmesi bu açıdan oldukça önemlidir. Enerji tüketimini daha verimli hale getirmek için, raylı sistemlerde enerji tasarrufuyla ilgili en iyileştirme (optimizasyon) çalışmaları yapılmaktadır. Böylelikle hem çevreye fayda sağlanmış olurken, hem de işletmenin tasarruf yapması sağlanmış olur.

Metro İstanbul 'da 2019 yılında mevcut hat uzunluğu 233 km iken, inşaat halinde 221 km hat ve hedeflenen toplam hat uzunluğu 1100 km'dir. Raylı sistemlerde hat uzunluğu arttıkça tüketilen enerji miktarı da doğru orantıda artmaktadır. Tüketilen enerjinin büyük kısmını araçlar kullanırken, diğer kısmı ise istasyonlardaki merdiven, havalandırma ve aydınlatmada kullanılmaktadır.

Raylı sistemlerde enerji verimliliğini artırmak için bazı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bunlar; kullanılan araç ağırlıklarının azaltılması, akıllı istasyon tasarımlarının gerçekleştirilmesi, enerji verimliliğinin artmasını sağlamak için kullanılan sürüş stratejileri ve enerji optimizasyonu gibi çalışmalardır [1]. Bu çalışmalara ek olarak enerji verimliliği için, enerji depolama sistemleri, frenleme enerjisinin geri kazanılması, enerji tasarruflu sürüş yöntemleri, enerji verimli cer sistemleri, optimum trenler arası süre (Headway Time), trenlerde yapılacak hız ayarlamaları, hattın işletilme açısından yeniden yapılandırılarak optimize edilmesi, vb. üzerine yoğunlaşmaktadır.

Enerji tasarrufunu sağlamak için kullanılan yöntemlerden bir diğeri ise rejeneratif frenlemenin kullanılmasıdır. Demiryolu sistemlerinde sıklıkla kullanılan rejeneratif enerji, raylı sistem araçlarının frenleme esnasında açığa çıkarttıkları kinetik enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesidir. Rejeneratif frenleme enerjisi, frenlemekte olan trenin ürettiği enerjinin yakılmadan hatta hazır durumda bekleyen ivmelenmekte olan başka bir trene aktarılması ve bu trenin o enerjiyi kullanması ile gerçekleştirilir.

Araçların hareket süreleri üç aşamadan meydana gelmektedir. Yüksek enerjinin gerektiği ivmelenme/frenleme aşaması, düşük enerji gücü gerektiren boşta gitme aşaması ve rejeneratif enerjinin üretildiği frenleme aşamasıdır [2]. Rejeneratif enerji kullanımı, trenlerin frenlemeye geçerken ürettiği enerjinin kendi iç direnci ile yakılmadan, hatta alıcı durumunda bulunan trene aktarılması ve trenin de bu enerjiyi kullanması ile gerçekleşir. Rejeneratif frenleme enerjisinin kullanımı işletilen trenlerin sefer aralıkları (headway), sayıları ve konuna bağlı olarak değişim göstermektedir. Frenleme ile açığa çıkan bu enerji başka bir tren tarafından kullanılmaz veya depolanmaz ise boşa gidecektir. Rejeneratif frenleme ile sadece enerji kazanılmasının yanında, istasyonlarda bulunan havalandırma sistemlerinin çalışma sıklıklarının da düşürülmesi sağlanır [3].

Tren zaman çizelgelerinin oluşturulmasında, işletme yolcularının da fayda sağlaması dikkate alınır. Zaman çizelgelerinde, genellikle hesaplanmış en düşük sefer sürelerinin oluşabilecek gecikmelerin kapatılmasına olanak sağlayacak yedek zaman aralıklarını da kapsaması önemsenir. 1971 yılında Amit ve Goldfard yapmış oldukları çalışmada, tren zaman çizelgeleme problemi için optimizasyon tekniği uygulamışlardır [4]. Bu çalışma ile, yolculuk süresi, gecikme süresi, işletme maliyeti, güvenilirlik, sağlamlık gibi farklı optimizasyon hedeflerine sahip algoritmalar önerilmeye başlanmıştır.

Rejeneratif enerji kullanılarak enerji kazancını artırmak için, trenlerin istasyonlarda frenleme veya istasyondan ivmelenme anlarındaki örtüşmelerinin en fazla olması hedeflenir. Bunu sağlamak üzere, trenlerin zaman çizelgeleri üzerinde çalışılabilir. Öte yanda, zaman çizelgelerinde en iyileştirme işlemi karışık ve elle yapılması mümkün olmayan bir NP problemidir.

Zaman çizelgesinde en iyileştirme amaçlı birçok çalışma yapılmıştır. Bunlardan birinde, Ramos ve arkadaşları (2008) yaptıkları çalışmada trenlerin hızlanma ve frenleme zamanlarının örtüşmesinin maksimum olmasını sağlayacak şekilde zaman çizelgesinde optimizasyon işlemi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında genetik algoritma kullanmışlardır [5]. Benzer biçimde Nasri ve arkadaşları (2010) yaptıkları çalışmada istasyonda bulunan iki treni koordine etmek için en iyi (optimum) yedek (reserve) zaman aralığını bulmak istemiş ve bunun için çalışmalarında genetik algoritmayı kullanmışlardır [6].

Albrecht (2010) ise yaptığı çalışmada, enerji tüketimini azaltmak için frenleyen ve ivmelenen trenlerin zaman tablolarını incelemiş, trenlerin istasyonlardaki bekleme sürelerini artırarak, trenlerin zaman tablolarını optimize etmiştir. Bu sayede, trenlerin çalışma zamanlarını en iyi şekilde planlayarak (koordine ederek), en uygun kombinasyonun bulunmasını sağlamıştır [7].

Yakın zamanda gerçekleşen bir diğer çalışmada Peña-Alcaraz ve arkadaşları (2012), zaman tablosu oluştururken istasyonlardaki değişken olan bekleme sürelerinin yerine, çalışma sürelerini göz önünde bulundurmıştır. Aynı trafodan

beslenen trenlerin hızlanma ve ivmelenme zamanlarının örtüşmeleri incelenmiştir. Geliştirilen model Madrid Metro hattında simüle edildikten sonra %7 oranında enerji tasarrufu gözlemlenmiştir [8].

Arturo Gonzalez-Gil ve Roberto Palacin (2013) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, trenlerin rejeneratif frenleme enerjilerinden daha fazla yararlanabilmenin en önemli yolunun tarife optimizasyonundan geçtiği ve elektronik depolama sistemlerinin rejeneratif enerjinin kullanımı ve tasarruf için en verimli kullanım olduğu belirtilmiştir [9].

Genetik algoritma kullanan bir diğer çalışmayı, Yang ve arkadaşları (2013) aynı hatta aynı yöne giden trenler üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Yapılan bu çalışma Pekin Yizhuang metro hattında simüle edilmiş, trenlerin ivmelenme ve frenleme örtüşmeleriyle rejeneratif frenleme enerjisinden kazanılan enerjinin en yoğun saatlerde %22, normal saatlerde ise %15,2 arttığı gözlemlenmiştir [10]. Yang ve arkadaşları (2014) önceki çalışmalarının aksine yeni bir yaklaşımda bulunmuştur. Bu çalışmalarında aynı hatta bulunan fakat farklı yönlere giden trenler üzerindeki trenlerin ivmelenme ve frenleme zamanlarındaki örtüşmeyi incelemişlerdir. Yine genetik algoritma kullanılarak yaptıkları çalışma sonucunda edilen enerji kazancının %8,8 oranında olduğu tespit etmişler [11].

Zhao ve arkadaşları (2014) tarafından, metro sistemlerinde zaman çizelgelerini optimize etmek için yaklaşımlı bir optimizasyon modeli önermiştir. Bu modelde amaç, çakışma süresi ile ölçülen rejeneratif enerji ile, enerji kazanımını en üst düzeye çıkarmak ve diğer yaklaşım ise toplam yolculuk süresini en aza indirerek yolcu memnuniyetini artırmaktır. İki hedef ağırlıklandırma yolu ile bir araya getirilmiş ve optimum zaman çizelgesini gerçekleştirmek için Benzetilmiş Tavlama (SA) yöntemi kullanılmıştır [12].

Gong ve arkadaşları (2014) tarafından yakın zamanda gerçekleştirilen diğer bir önemli çalışmada, bekleme süresi kontrolü ile rejeneratif enerji kazanımını en üst düzeye çıkarmak için bir zaman çizelgesi optimizasyon modeli sunulmuşlardır. Ayrıca, istenmeyen bir durum oluştuğunda tren işletiminin planlanan zaman çizelgesine dönmesini sağlamak için telafi edici bir sürüş stratejisi algoritması önermişlerdir. Optimum bir çözüm bulmak için Genetik Algoritma kullanmışlardır [13].

Enerji verimliliğinin artırılması için yapılan çalışmalardan biri de trenlerin işletme tarafından daha etkin kullanılmasıdır. Xiang Li ve Hong K. Lo (2014) yaptıkları çalışmada günlük metro işletilmesinde, enerji tüketimini en aza indirerek tarife ve hız profillerinin yolcu taleplerini karşılayacak şekilde olmasını sağlayarak gerçekleşeceğini öne sürmüşlerdir. Yaptıkları çalışmada dinamik tren zaman çizelgeleri oluşturmuşlardır. Öncelikle yolcuların taleplerini öngörme ve tek veya çift yön sefer sürelerini belirlemişler, bir sonra ki tren turu için aynı süreleri belirtilen kistaşlara uygun olarak optimize etmişlerdir. Başlangıçta güzergah kısıtlarına bağlı tren sefer aralıkları, tren hızlanma için harcanan çekiş enerjisini azaltmak için düzenlenmiştir. Bu çalışma Yizhuang hattı (Pekin metrosu)'nda uygulanmış ve sistemin enerji tüketiminin 11% azaldığı tespit edilmiştir. En yoğun sefer saatlerinde, dinamik tarife çizelgeleri ile 7% daha verimli olduğu ortaya konmuştur [14].

Xu ve arkadaşları (2016) mevcut çalışmalardan farklı olarak, çalışma süresini ve her istasyonda kalma süresini kontrol ederek yolcu süresini ve kullanılan enerjiyi en aza indirmek için, objektif bir model geliştirmiştir. İki hedefi bir araya getirmek

için doğrusal ağırlıklı uzlaşma yaklaşımı ve bulanık doğrusal programlama yaklaşımı geliştirmiş ve optimizasyon problemini çözmek için Genetik Algoritmadan faydalanmışlardır [15].

Bu alanda ülkemizde yapılan önemli bir çalışma, İbrahim Demirci'nin 2018 yılında gerçekleştirmiş olduğu genetik algoritmadır. Çalışmada, istasyon bekleme sürelerinde değişiklik yapılarak rejeneratif enerji tasarrufu sağlamak amaçlanmıştır. Genetik algoritma kullanarak trenlerin hızlanma ve frenleme anlarındaki örtüşme oranının en fazla olması hedeflenmiş, en iyi zaman çizelgesi oluşturulmaya çalışılmıştır. Yapılan bu çalışma, Metro İstanbul Hatlarından olan Kadıköy-Kartal hattında uygulanmıştır. Çalışma sonucunda normal saatlerde rejeneratif frenleme ile enerji kazanımının %14'den %30'lara çıktığı ve yolcu yoğunluğunun en fazla olduğu saatlerde bu oranın %46'dan %60'a çıktığı gözlemlenmiştir [16].

Literatürde raylı sistemlerde oluşan rejeneratif enerjiden faydalanmak için birçok çalışma yapıldığı görülmektedir. Bu makalede açıklanan çalışma, İbrahim Demirci tarafından daha önce gerçekleştirilen araştırmanın devamı niteliindedir. Önerilen yöntemde, genetik algoritma kullanılarak hatta ortaya çıkan rejeneratif enerjinin kullanımını maksimum yapacak en iyi zaman çizelgesinin bulunması hedeflenmiştir. Zaman çizelgesi en iyileştirilirken istasyon bekleme sürelerinin minimum ve maksimum bekleme süreleri göz önüne alınmıştır. Bekleme sürelerinde gerçekleşecek değişim miktarı, bekleme süreleri için ayrılan süreyi geçmeyecek şekilde düzenlenmiştir. Çalışmada farklı genetik algoritma parametreleri kullanılarak zaman çizelgesinde en iyileştirme sağlanmıştır. Çalışmada uygulanan farklı genetik algoritma yöntemleri sonucu, enerji kazancı yaklaşık olarak %78'lere ulaşmıştır (referans makale %60). Bu sonuç, daha önce yapılan çalışmadan %30 daha fazla verimli bir modele ulaşıldığını göstermektedir.

Makalenin 2. Bölümünde ilgili kavramlardan, 3. Bölümde algoritma ve gerçekleştirilen sistemin modelinden ve 4. Bölümde sonuç ve daha sonra bu çalışmadan yola çıkılarak yapılabilecek başka çalışmalara yönelik fikirlerden bahsedilmektedir.

2. İlgili Kavramlar

2.1. Raylı Sistem Araçlarında Enerji Tüketimi

Raylı sistem araçlarında enerji tüketimi işletmeden işletmeye göre değişim gösterebilir. İşletmeler de enerji tüketimine sebep olan birden fazla faktör bulunmaktadır. Raylı sistemlerde araçlarında enerji tüketimi, zamana, hattaki trenlere, yolcu sayısına, hattın geometrisine, trenin hızına vb. bağlı olarak sürekli değişmektedir.

Araçlar frenleme esnasında hatta bulunan katenerden aldıkları enerjinin %42'sini elektrik enerjisine çevirmekte, frenlemesi ile oluşan enerjinin yaklaşık olarak %27'si katener sistemine geri vermektedir. Frenleme esnasında oluşan enerjinin %15'lik bir kısmı ise rezistörlerde yakılarak harcanmaktadır [17].

2.2. Raylı Sistem Araçlarında Enerji Tüketimi

Rejeneratif frenleme enerjisi raylı sistem araçlarının enerji tasarrufu için en çok tercih edilen yöntemlerden biridir. Bu yöntemde dikkat edilmesi gereken asıl husus frenlemeye geçen aracın üretmiş olduğu enerjinin kendi iç direnci ile yakılmadan önce kullanmasıdır.[18] Araçlar frenleme esnasında kinetik

enerji oluşturur ve bu enerji elektrik enerjisine çevrilir ve daha sonra trafoya iletilir. Kazanılan enerji istasyonlarda aydınlatma, havalandırma ve ısıtma gibi alt yapı sistemleri tarafından kullanılabilir. Aynı zamanda bu enerji araç-üstü sistemlerine iletilebilir ve araç tarafından yardımcı konfor fonksiyonları için kullanılabilir. Açığa çıkan enerji aracın talep ettiği konfor fonksiyonları enerjisinden daha fazladır. Bu durumda kazanılan enerjinin hepsi kullanılmamış ve boşa gitmiş olur. Kazanılan bu enerjiyi tekrar kullanma yollarından bir diğeri ise o anda hatta bulunan ve ivmelenmekte olan araca trafo tarafından iletilesidir.

Rejeneratif frenleme enerjisi frenlemeye başlama hızına ve cer gücü dağıtım sisteminin alabilirliğine bağlıdır. Frenlemeye başlama hızının düşük olması halinde rejeneratif enerji fren talebini ancak karşılayabilmektedir. Fren giriş hızının yüksek olması durumunda ise, mekanik ve elektrik fren kombinasyonu gereklidir. Bunun nedeni motorun gerekli olan fren kuvvetini sağlama açısından yetersiz kalmasıdır. Frenlemeye başlama hızı arttıkça mekanik fren oranı artar, mekanik fren oranının artması ile rejeneratif enerji kazanımı ters orantılı olduğundan enerji kazanımı azalır. Rejeneratif enerjinin kazanımının maksimum olması için, frenlemeye başlama hızının yüksek ve düşük karakteristikte motor kullanılmasını gerekmektedir [19]. Aynı zamanda rejeneratif enerji ile kazanılacak toplam enerji, frenleme yapan araçların sayısı, araçların kurulu gücü ve frenleme sıklığı gibi parametrelere de bağlıdır[20].

2.3. Zaman Çizelgesi

Tren zaman çizelgeleri oluşturulurken yolcuların ihtiyaçlarına uygun hizmet verecek şekilde olmalıdır. Sefer aralıkları yolcu yoğunluğu ve yolcuların talebine göre oluşturulurken işletmenin bunu karşılayacak nitelikte olmasına dikkat edilmelidir. Trenler için oluşturulan zaman çizelgeleri (sefer planlaması yapılırken) hedeflenen, hangi trenin ne zaman ve nerede olacağını, hangi istasyonda ne kadar süre beklemesi gerektiğinin ve oluşabilecek gecikmelerin tolere edilmesi için yedek zaman aralıklarının belirlenmesidir.

Tren zaman çizelgelerinin kullanımı ilk olarak Charnes ve Miller (1956) tarafından yük treni hareketlerinin çizelgelemesinde dinamik programlama modeli kullanılması ile başlamıştır. [21]

Lee ve Chen (2003), tren zaman çizelgeleme probleminde genetik algoritma ile 2 çözüm yaklaşımı geliştirmişlerdir. Seyyar satıcı problemi kullandıkları matematiksel programlama modelini geliştirmişlerdir ve sonuçları çözüm süreleri açısından kıyaslamışlardır. [22]

Ghoseiri ve Morshedsolouk (2006), tren zaman çizelgeleme problemlerinde karınca kolonisi algoritması kullanarak küçük ve orta boyutlu problemlerde çözümler geliştirmişlerdir. Sonuçları seyyar satıcı problemi modeli ile karşılaştırmışlardır.[23]

Dünder ve Şahin (2013), tren zaman çizelgesinde uyumsuzluk çözümü için genetik algoritma (GA) kullanmışlardır. Çalışmalarını yapay sinir ağları algoritması ile kıyaslamışlar ve küçük ölçekli sorunlar için toplam gecikme süresini azaltmayı başarmışlardır.[24]

Rejeneratif enerjinin kazanımı ile zaman çizelgeleri birbiriyle yakından ilişkilidir. İvmelenen ve frenleyen trenlerin örtüşmesini artırmak için zaman çizelgelerinde optimizasyon yapılması gerekmektedir. İki tren arasındaki mesafe 3 dakika ve altında ise frenleme esnasında oluşan enerjinin %85 ile, %95'i

diğer alıcı trenler tarafından kullanılmaktadır[24]. Yapılan çalışmalarda trenler arasındaki sürenin daha fazla olduğu zaman aralıklarında rejeneratif enerjinin büyük kısmının fren rezistörlerinde yakıldığı görülmüştür[25].

Rejeneratif frenleme ile oluşan enerjinin kullanılmasını artırmak için trenlerin ivmelenme ve frenleme zamanlarının koordinasyonunun sağlanması gereklidir. Bunu başarmanın en etkin yollarından biri, istasyonda bekleme sürelerinin, trenlerin ivmelenme ve frenleme zamanlarına maksimum denk getirilecek biçimde düzenlenmesidir.

Tren zaman çizelgeleri bekleme sürelerinde yapılacak değişiklikler üzerine kurulmuştur. Trenlerin seferleri için zaman tablosu oluşabilecek gecikmeler (arızalardan veya yolculardan kaynaklı) düşünülerek oluşturulmalıdır. Bu gecikmeleri tolere etmek için zaman çizelgelerine maksimum bekleme süreleri de eklenir. Bu ilave bekleme süreleri ile birlikte istasyon bekleme sürelerinin de kullanılmasıyla, enerji verimi elde edilecek sürüşler planlanabilir. [26].

2.3. Genetik Algoritma

Genetik algoritmalar optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan meta sezgisel yöntemlerden biridir. Bu yaklaşım ilk olarak Holland tarafından 1975 yılında ortaya atılmıştır. Biyolojik sistemdeki evrim sürecine benzeyen bir arama, en iyi çözümü bulma ve optimizasyon yöntemidir. Optimizasyon problemlerinde kullanılan genetik algoritmalar hızlı ve en iyi çözümün elde edilmesini sağlamıştır.[27].

Genetik algoritmalar karmaşık problemlerin hızlı ve en iyiye yakın olarak çözülmesini sağladıklarından sıklıkla tercih edilir. Bu algoritma sayesinde büyük çözüm uzayına sahip problemler için kısa sürede çözüme ulaşılabılır. Kısa sürede en iyi çözüme ulaşması ve global çözüm bulma yönünden başarılı olmasına rağmen, yerel çözüm bulmada başarılı oldukları söylenemez [28].

Genetik algoritmada ilk olarak problemin parametrelerine uygun olacak şekilde kromozomlar kodlanarak oluşturulur. Problem değişkenine uygun olarak seçilen genlerin bir araya gelmesi ile birey kromozomları, birden fazla bireyin bir araya gelmesi ile popülasyon oluşturulur. İlk popülasyon genellikle rastgele oluşturulur. Popülasyonu oluşturan kromozomların her biri problemin çözümü için birer adaydır. Oluşan popülasyonda en iyi sonucu verecek bireyi belirlemek için iyilik fonksiyonuna (fitness function) ihtiyaç vardır. İyilik fonksiyonu her probleme özgü bir şekilde belirlenir. Belirlenen iyilik fonksiyonunun değerine göre en iyi çözüm belirlenir. Bir döngü sonucunda oluşturulan yeni bireylerden en iyileri “elit bireyler“ (elite chromosome) bir sonraki nesile doğrudan aktarılır. Bireylerde ki kromozomlar “çaprazlama”(crossover) ve “mutasyon” (mutation) operatörlerine tabii tutularak yeni bireyler elde edilir. Bu işlemde amaç daha iyi kromozomlar elde etmektir. Tüm bu işlemler, istenen yineleme sayısı boyunca veya tanımlanan hata eşliğine ulaşılan kadar tekrarlanır ve her döngü sonucunda yeni nesiller oluşturulur. Bütün bu işlemler gerçekleşirken popülasyon sayısı genelde sabit tutulur [28].

2.4.1. Çaprazlama

Çaprazlama operatörü genetik algoritmadaki en önemli operatörlerden biridir. Seçilen iki ebeveynin çaprazlanması sonucunda yeni bireyler oluşturulur. Çaprazlama işlemi amaç yeni bireyler oluşturmaktır. Bunun nedeni ise mevcut ebeveynlerin uygunluk değerinden daha yüksek iyilik

fonksiyonu değerine sahip yeni bireyler elde etmektir. Çaprazlama operatörü incelendiğinde birden fazla çaprazlama yöntemi mevcut olduğu görülmektedir. Bu yöntemlerden en kolayı tek noktadan çaprazlama yöntemidir. Tek noktadan çaprazlama da, seçilen çaprazlama noktasına kadar genler bir ebeveynden alınırken, kalan genler ise diğer bir ebeveynden alınarak yeni birey oluşturulması prensibine dayanır. Diğer bir yöntem ise yine sıklıkla tercih edilen çift noktadan çaprazlamadır. Çift noktadan çaprazlama, tek noktadan çaprazlamaya benzemektedir ama çaprazlama noktaları rastgele belirlenir. Yeni birey ilk noktaya kalan olan genleri bir ebeveynden alırken ikinci çaprazlama noktasına kadar olan genleri diğer ebeveynden alır ve sırayla diğer genler iki ebeveynden elde edilir. Çaprazlama işlemi olarak bu yöntemler haricinde “Pozisyona Dayalı Çaprazlama”[29], “Kısmi Planlı Çaprazlama”[30], “Sıraya Dayalı Çaprazlama”[31] gibi yöntemler de kullanılmaktadır.

2.4.2. Mutasyon

Genetik algoritmada kullanılan diğer bir operatör ise mutasyon operatörüdür. Bu operatör genetik çeşitliliğin sağlanması açısından oldukça önemlidir. Çaprazlama işlemi uygulandıktan sonra yeni oluşan kromozomların genlerinden bir veya birkaç tanesi değiştirilerek yeni kromozomlar elde edilmiş olur. Örnek olarak gezgin satıcı probleminde mutasyon işlemi seçilen iki genin birbiriyle yer değiştirmesi sonucunda yeni bireyin oluşması ile gerçekleştirilmiş olur. Bu operatör genlere düşük bir oranda uygulanır. Mutasyon oranının düşük olmasından dolayı etkileri kromozomlarda az hissedilir.

2.4.3. Elitlik

Elitlik, en yüksek iyilik fonksiyonu değerine sahip kromozomun bir sonraki nesle aktarılmasıdır. Bir popülasyonda genetik algoritma operatörlerinden çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin sırasıyla uygulanması sonucunda probleme özgü belirlenen iyilik fonksiyonunun değeri hesaplanır. Böylelikle en yüksek değere sahip iyilik fonksiyonunu veren kromozom belirlenir ve elit birey olarak bir sonraki nesle aktarılır.

2.4.4. Yeni Neslin Oluşturulması

Kromozomlar üzerinde çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin sırasıyla uygulanmasıyla yeni bireyler elde edilir. Elde edilen yeni bireylerin kromozom iyilik değerleri, popülasyondaki mevcut bireylerin kromozom iyilik değerleri ile karşılaştırılır. Karşılaştırma sonucunda eğer yeni kromozomun iyilik değeri mevcut kromozomlardan iyilik değeri en kötü olandan daha yüksek olduğu takdirde, mevcut kromozom popülasyondan çıkarılır ve yerini yeni kromozom alır. Bu işlem istenilen nesil sayısı kadar veya durdurma kriteri sağlanıncaya kadar devam eder.[32]

3. Önerilen Yaklaşım

Uygulamada hedeflenen rejeneratif enerjiden kazanılan enerjinin maksimum olmasını sağlamaktır. Bu ise ivmelenen trenler ile frenleyen tren sayısındaki örtüşmenin maksimum olması ile gerçekleşir. Bu örtüşmeyi maksimum yapabilmek için trenlerin bekleme sürelerinde değişiklik yapılarak en iyi çözümün bulunması hedeflenir. En uygun zaman çizelgesini bulabilmek elle yapılması zor bir NP problemidir. Bu sebepten ötürü otomatik olarak oluşturulması önemlidir. Bu amaçla genetik algoritma kullanılmıştır.

3.1. İlk Popülasyonun Belirlenmesi

Problem de kullanılacak değişken istasyon bekleme süreleridir. Bu sebepten popülasyon istasyon bekleme sürelerinden oluşmaktadır. Problemin büyüklüğü göz önüne alınarak başlangıç popülasyonu 20 bireyle oluşturulmuştur. Kromozom oluşturulurken dikkat edilmesi gereken önemli husus, istasyon bekleme sürelerindeki kısıttır. Bir trenin istasyon bekleme süresinin normal değeri 20 saniye olarak belirlenmiştir fakat trenlerin istasyonda bekleyebileceği minimum ve maksimum süreler ise sırasıyla 15 ve 25 saniyedir. Popülasyon oluşturulurken bekleme sürelerinin bu aralıkta olmasına dikkat edilmelidir.

Popülasyonun ilk bireyleri oluşturulurken, her istasyondaki bekleme süresini en iyileştirmek üzere, minimum (-5) ve maksimum (+5) değer aralığında rastgele bir tam sayı seçilir. Mevcut istasyon sayısı (38) kadar gen kullanılarak bireyin kromozomu oluşturulur.

3.2. İyilik Fonksiyonunun Oluşturulması

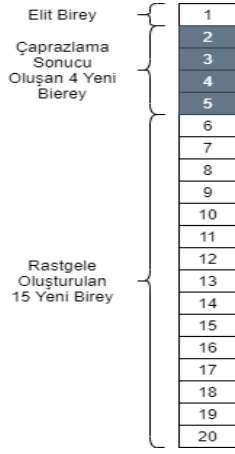
Uygulama simülasyonun her t birim zamanı için (1 saniye) trenlerin anlık durum bilgisi bir listede tutulmaktadır. Bu listede trenin t anında; ivmelenmede, frenlemede, boşta gitmekte ve beklemede olmak üzere 4 ayrı durumu tutulmaktadır. Bu listeler aracılığı ile simülasyon süresindeki herhangi bir t anında ivmelenen ve frenleyen trenlerin süresi bulunabilir. Listelerden elde edilen ivmelenen ve frenleyen tren sayıları arasında karşılaştırma işlemi yapılır. Bu karşılaştırma sonucu ivmelenen ve frenleyen tren sayılarından minimum olanı bize maksimum rejeneratif enerji kullanımını ifade eder. Bir örnekle açıklayacak olur isek; 360. saniyede frenleyen tren sayısı 8 iken, ivmelenen tren sayısı 5 ise 360. saniyede örtüşen tren sayısı 5 olarak (rejeneratif enerji kazancı 5 tren için sağlanır) bulunur.

Bu işlem simülasyon boyunca, zaman çizelgesinin her t birim zamanında uygulanır ve toplam örtüşen tren zamanı elde edilir. Bir kromozomun iyilik değeri, simülasyon boyunca frenleme ve ivmelenme zamanları örtüşen trenlerin toplam zamanının, tüm trenlerin toplam frenleme zamanına bölünmesi ile elde edilir. Bunu bir örnek ile açıklayacak olur isek; simülasyon süresinin 27000 saniye olduğunu varsayarsak ve trenlerin toplam frenleme yaptıkları sürenin 153672 saniye ve örtüşen trenlerin toplam zamanının 98569 saniye olması durumunda iyilik değeri %64 (98569/153672) olarak hesaplanmış olur.

3.3. Popülasyonun Diğer Bireylerinin Belirlenmesi

3.3.1. Elit bireyin belirlenip bir sonraki nesle aktarılması

İlk popülasyonda bireyler rastgele oluşturulur. Oluşturulan bireyler iyilik fonksiyonuna göre büyükten küçüğe göre sıralanır. En yüksek iyilik fonksiyonu değerine sahip olan birey bir sonraki nesle elit birey olarak aktarılır. Algoritmadaki elit bireylerin seçilme oranı ise %5 olarak belirlenmiştir (popülasyonda toplam 20 birey bulunmaktadır). Yerel maksimumlarda kalma riskini azaltmak üzere, elitlik oranı düşük tutulmuştur. Yeni nesil bireylerinin mevcut popülasyondan oluşturulma şeması Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. Yeni neslin mevcut popülasyondan oluşturulma şeması

3.3.2. Çaprazlama Operatörünün Uygulanması İle Yeni Bireylerin Oluşturulması

İyilik fonksiyonuna göre sıralandıktan sonra en yüksek sonucu veren birey ($20 \times 0,05 = 1$) elit olarak bir sonraki nesle aktarılır. Daha sonra popülasyondaki diğer 4 birey çaprazlama yolu ile oluşturulur. Popülasyon büyüklüğü 20 olarak seçildiğinden diğer 15 birey rastgele olarak oluşturulur. Bu bireyler istasyonlardaki toplam bekleme süresi değişimi sıfır olacak şekilde oluşturulur. Rastgele bireylerin çok olması en iyi aramayı hızlandırır da öğrenmeyi yavaşlatmaktadır. Rastgele oluşturulan bireylerin fazla olması ise bizi yerel maksimum noktastan çıkarabilmektedir.

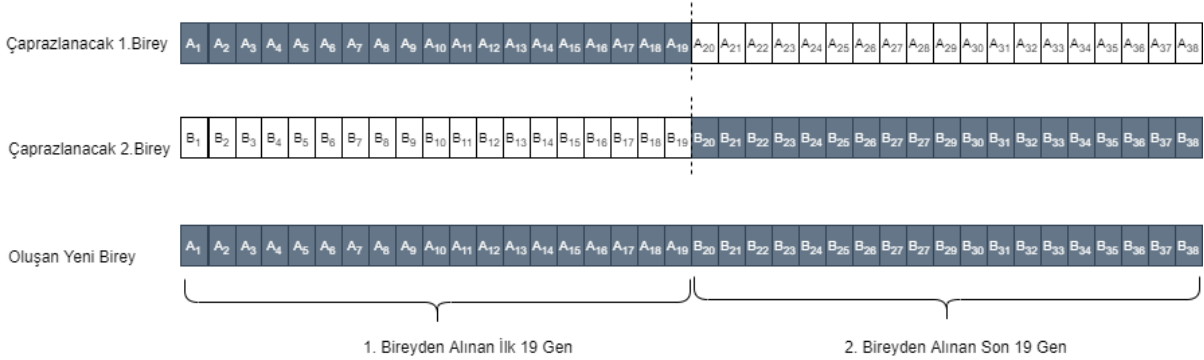
Çaprazlama için tek noktadan çaprazlama yöntemi tercih edilmiştir. Çaprazlanacak bireyler iyilik fonksiyonuna göre

sıralanan bireyler arasından seçilmektedir. İyilik değeri en yüksek olan birey elit olarak aktarılır. Sıralamadaki diğer 4 birey ise atılır. 6,7,8,9 numaralı bireyler çaprazlama için seçilir (öğrenmeyi az tutmak üzere). Seçilen bu bireyler ile çaprazlanacak diğer 4 aday olarak, iyilik değeri en düşük sonucu veren 17,18,19,20 numaralı bireyler seçilir. Popülasyonda yeni nesil için çaprazlama uygulama yöntemi Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Yeni nesil için çaprazlama uygulama yöntemi

Çaprazlama algoritmasında toplam 38 istasyon olduğundan 38 gen bulunmaktadır. Çaprazlama için tek noktadan mutasyon yöntemi seçildiğinden ilk 19 gen bir bireyden alınırken diğer 19 gen başka bireyden alınmaktadır böylelikle çaprazlama sonucunda yeni birey elde edilmiş olur. Tek noktadan çaprazlamanın nasıl uygulandığı Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Tek noktadan çaprazlama

Çaprazlama işlemi sonucu istasyon bekleme sürelerindeki toplam değişimin sıfır olması kuralının dışına çıkmış olabilir. Çaprazlama sonucunda toplam istasyonda bekleme süresi sıfır olmayan bireyler mevcut ise bu bireyler üzerinde mutasyon operatörü uygulanır.

3.3.3. Mutasyon Operatörünün Uygulanması İle Yeni Bireylerin Oluşturulması

Çaprazlama operatörünün uygulanması sonucu oluşturulan bireylerin kromozomlarında toplam bekleme süresi değişiminin sıfır olması istenmektedir. Mutasyon operatörü, istasyonlarda bekleme süresi toplamındaki değişimin sıfır olmadığı durumlarda uygulanmaktadır. İstasyon bekleme sürelerindeki

toplam değişim değeri hesaplanır ve değer bir değişkende tutulur. Bu değişkenin değerine göre 3 durum söz konusudur;

1. Durum : Toplam bekleme süresindeki değişim sıfırdan küçük ise;

Bekleme süresinde eksilen zaman (değişkende tutuluyor), negatif değerli olan genlere (istasyonlara) uygulanır. İlk genden başlayarak sırasıyla değişken sıfır olana kadar tüm negatif genlere 1 eklenir. Bir tur geçildiyse ve halen değişken sıfır değil ise, bu işlem tekrarlanır.

2. Durum : Toplam bekleme süresindeki değişim sıfırdan büyük ise;

Bekleme süresinde artan zaman, pozitif değerli olan genlere uygulanır. İlk genden başlayarak sırasıyla değişken sıfır olana

kadar tüm pozitif genlerden 1 eksiltir. Bir tur geçildiyse ve halen değişken sıfır değil ise, bu işlem tekrarlanır.

3. Durum : Toplam bekleme süresindeki değişim sıfıra ise;

Bekleme süresindeki toplam değişimin sıfır olması istendiğinden bu durumda mutasyon operatörü uygulanmaz.

3.3.4. Genetik Algoritmanın Sonlandırılması

Genetik algoritmalar iki şekilde sonlandırılabilir. Bunlardan ilki iyilik değerinin istenilen uygunluk değerine ulaşması (hatanın minimuma indirgenmesi), diğeri ise belirlenen tekrar sayısının tamamlanması ile. Hata değeri belirsiz olduğundan, deneysel olarak belirlenen en iyi tekrar sayısı kullanılmıştır.

Bu çalışmada, veri seti olarak Metro İstanbul hatlarından Kadıköy-Kartal hattının verileri kullanılmıştır. Bu hatta kullanılan trenlerin frenleme, ivmelenme, boşta gitme sürelerinin toplamı ile toplam yolculuk süresi 3597 saniyedir. Elde edilen bu süreye istasyonlarda toplam bekleme süresi toplamı olan 960 saniye eklendiğinde, bir trenin toplam parkur süresi 4557 saniyedir.

Simülasyonda gerçeğe yakın olarak toplam 18 trenin kullanıldığı öngörülmüştür. Ayrıca iki tren arasındaki mesafe 273 saniye ve toplam simülasyon süresi 18000 saniye olarak uygulanmıştır. Simülasyon tüm trenler işletilmeye başladığı andan itibaren başlatılmıştır.

Genetik algoritmanın 10 tekrar boyunca uygulanması sonucunda yaklaşık %76, 50 tekrar sonucunda %78 civarında bir enerji kazancı sağladığı gözlemlenmiştir. Tekrar sayısı daha fazla kullanıldığında, sonuçlar değişmemiştir. Referans alınan çalışmadaki [16] enerji kazancı miktarı %60 iken, önerilen yaklaşım ile yaklaşık %30 daha fazla enerji tasarrufu sağlandığı görülmektedir.4. Sonuç ve Öneriler

Gerçekleştirilen bu çalışma ile raylı sistemlerde kullanılan rejeneratif frenleme enerjisinden maksimum fayda sağlayarak enerji tasarrufunun artırılması hedeflenmiştir. Rejeneratif frenleme enerjisi bir trenin frenlerken oluşturduğu enerjiyi hatta alıcı konumunda bulunan o an ivmelenen başka bir trene iletmesi ile gerçekleşmektedir. Bir hatta frenleyen tren sayısı ile ivmelenen tren sayısı ne kadar fazla eşleşirse rejeneratif enerjinin kullanımı da o kadar fazla olmaktadır. Çalışmada önerilen modelde, ivmelenen ve frenleyen trenlerin örtüşmesinin maksimum olmasını sağlamak üzere istasyon bekleme sürelerinde optimizasyon yapılmıştır. Genetik algoritma kullanarak enerji kazanımını maksimum yapacak istasyon bekleme süreleri bulunmuştur. Uygulama C# programlama dili ile kodlanarak geliştirilmiştir.

İstasyon bekleme süreleri belirlenirken gerçek uygulamada baz alınan iki kurala dikkat edilmiştir. İlk kural her istasyonda yeni bekleme süresi, mevcut bekleme süresinden minimum -5 eksik ve maksimum +5 fazla olabilir. Diğer kural ise, istasyonda bekleme sürelerinin toplamı, seyahat boyunca değişmemelidir.

Bu çalışma için Metro İstanbul hatlarından Kadıköy-Kartal hattı seçilmiş, önerilen model ile bu hattın verimliliğinin daha önce yapılan çalışmalara göre %30 daha fazla iyileştirilebileceği görülmüştür.

Makalede ayrıca bahsedildiği üzere, gelecekte hattı besleyen trafolar göz önünde alınarak, istasyon bölgelerine göre daha detaylı ve gerçekçi modelleme yapılabilir. Algoritmada kullanılan çarpazlama ve mutasyon operatörlerinde farklı

yaklaşımlarda bulunarak yeni modeller oluşturulabilir. Ayrıca istasyon bekleme sürelerindeki kısıt değerleri değiştirilerek sonuçlar gözlemlenebilir.

Kaynakça

- [1] González-Gil, A., Palacin, R., Batty, P., & Powell, J. P. (2014). A systems approach to reduce urban rail energy consumption. *Energy Conversion and Management*, 80, 509-524.
- [2] Chen, J. F., Lin, R. L., and Liu, Y. C., 2005: Optimization of an MRT train Schedule: Reducing maximum traction power by using genetic algorithms . *Transactions on Power Systems*. Vol. 20, no. 3, pp. 1366- 1372.
- [3] Adinolfi, A., Lamedica, R., Modesto, C., Prudenzi, A., and Vimercati, S., 1998: Experimental assesment of energy saving due to trains regenerative braking in an electrified subway line. *Transactions on Power Delivery*. Vol. 13, no. 4, pp. 1536-1542.
- [4] Amit, I., & Goldfarb, D. (1971). The timetable problem for railways. *Developments in Operations Research*, 2(1), 379-387.
- [5] Ramos, A., Pena, M. T., Fernández, A., & Cucala, P. (2008). Mathematical programming approach to underground timetabling problem for maximizing time synchronization. *Dirección y Organización*, (35), 88-95.
- [6] Nasri, A., Moghadam, M. F., & Mokhtari, H. (2010, June). Timetable optimization for maximum usage of regenerative energy of braking in electrical railway systems. In *SPEEDAM 2010* (pp. 1218-1221). IEEE.
- [7] Albrecht, T. (2010). Reducing power peaks and energy consumption in rail transit systems by simultaneous train running time control. *WIT Transactions on State-of-the-art in Science and Engineering*, 39.
- [8] Peña-Alcaraz, M., Fernández, A., Cucala, A. P., Ramos, A., & Pecharromán, R. R. (2012). Optimal underground timetable design based on power flow for maximizing the use of regenerative-braking energy. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 226(4), 397-408.
- [9] González-Gil, A., Palacin, R., & Batty, P. (2013). Sustainable urban rail systems: Strategies and technologies for optimal management of regenerative braking energy. *Energy conversion and management*, 75, 374-388.
- [10] Yang, X., Li, X., Gao, Z., Wang, H., & Tang, T. (2012). A cooperative scheduling model for timetable optimization in subway systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 14(1), 438-447.
- [11] Yang, X., Ning, B., Li, X., & Tang, T. (2014). A two-objective timetable optimization model in subway systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 15(5), 1913-1921.
- [12] Zhao, L., Li, K., & Su, S. (2014). A multi-objective timetable optimization model for subway systems. In *Proceedings of the 2013 International Conference on Electrical and Information Technologies for Rail Transportation (EITRT2013)-Volume I* (pp. 557-565). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [13] Gong, C., Zhang, S., Zhang, F., Jiang, J., & Wang, X. (2014). An integrated energy-efficient operation methodology for metro systems based on a real case of Shanghai metro line one. *Energies*, 7(11), 7305-7329.

- [14] Li, X., & Lo, H. K. (2014). Energy minimization in dynamic train scheduling and control for metro rail operations. *Transportation Research Part B: Methodological*, 70, 269-284.
- [15] Xu, X., Li, K., & Li, X. (2016). A multi-objective subway timetable optimization approach with minimum passenger time and energy consumption. *Journal of Advanced Transportation*, 50(1), 69-95.
- [16] Demirci, I. E., & Celikoglu, H. B. (2018, November). Timetable Optimization for Utilization of Regenerative Braking Energy: A Single Line Case over Istanbul Metro Network. In *2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)* (pp. 2309-2314). IEEE.
- [17] Amalgamated Report, UITP "Reducing Energy Consumption in Underground Systems, International Metropolitan Railways Committee, , www.uitp.org, 1995
- [18] Cornic, D. (2010, October). Efficient recovery of braking energy through a reversible dc substation. In *Electrical systems for aircraft, railway and ship propulsion* (pp. 1-9). IEEE.
- [19] Günselmann, W., & Godbersen, C. (2001). Double-layer capacitors store surplus braking energy. *Railway Gazette International*, 1, 581.
- [20] Açıkbaş, S. ve Alataş A., 2006: Raylı Sistemlerde Enerji Verimli Sürüş. In *Türkiye 10. Enerji Kongresi*, 29 Kasım
- [21] Charnes, A., & Miller, M. H. (1956). A model for the optimal programming of railway freight train movements. *Management Science*, 3(1), 74-92.
- [22] Lee, C. K., & Chen, C. H. (2003). Scheduling of train driver for Taiwan railway administration. *Journal of Eastern Asia Society of Transportation Studies*, 5, 292-306.
- [23] Ghoseiri, K., Szidarovszky, F., & Asgharpour, M. J. (2004). A multi-objective train scheduling model and solution. *Transportation research part B: Methodological*, 38(10), 927-952.
- [24] Dündar, S., & Şahin, İ. (2013). Train re-scheduling with genetic algorithms and artificial neural networks for single-track railways. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 27, 1-15.
- [25] Martin, P., 1999: Train performance and simulation. In *Winter Simulation Conference*
- [26] Açıkbaş, S., 2008: Çok Hatlı Çok Araçlı Raylı Sistemlerde Enerji Tasarrufuna Yönelik Sürüş Kontrolü, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
- [27] Holland, J. H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, 560 University of Michigan Press. Ann Arbor, MI, 561.
- [28] Gonzalez, E. L., & Fernandez, M. A. R. (2000). Genetic optimisation of a fuzzy distribution model. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.
- [29] Murata, T., Ishibuchi, H., & Tanaka, H. (1996). Genetic algorithms for flowshop scheduling problems. *Computers & Industrial Engineering*, 30(4), 1061-1071.
- [30] Goldberg, D. E. (1989). *Genetic algorithms in search. Optimization, and Machine Learning*.
- [31] Syswerda, G. (1991). Scheduling optimization using genetic algorithms. *Handbook of genetic algorithms*.
- [32] Yeo, M. F., & Agyei, E. O. (1998). Optimising engineering problems using genetic algorithms. *Engineering Computations*.



Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Anomali Tabanlı Saldırı Tespit Modeli Uygulaması

Mehmet Salih Karaman^{1*}, Metin Turan², Muhammed Ali Aydın³

¹ İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye ORCID: [0000-0001-9881-0666](https://orcid.org/0000-0001-9881-0666)

² İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: [0000-0002-1941-6693](https://orcid.org/0000-0002-1941-6693))

³ İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: [0000-0002-1846-6090](https://orcid.org/0000-0002-1846-6090))

(Bu yayın 26-27 Haziran 2020 tarihinde HORA-2020 kongresinde sözlü olarak sunulmuştur.)

(DOI: 10.31590/ejosat.1115825)

ATIF/REFERENCE: Karaman, M. S., Turan, M. & Aydın, M. A. (2021). Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Anomali Tabanlı Saldırı Tespit Modeli Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue), 10-17.

Öz

Her geçen gün internetin yaygınlaşması ve buna bağlı olarak ağa bağlanan cihazların hızlı bir şekilde artması, bazı avantajlarının yanında birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Bu sorunlardan en önemlisi siber tehditlerdir. Kişilere, kurumlara ve devletlere karşı siber tehditler, maddi, itibar ve zaman gibi kayıplar verebilmektedir. Saldırı tespit ve saldırı önleme sistemleri, bu kayıpları ortadan kaldırmak veya en aza indirilebilmek için kullanılmaktadır. Saldırı tespit sistemleri imza tabanlı veya anomali tabanlı olarak tasarlanmakta ve günümüzde anomali tabanlı sistemler makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak geliştirilmektedir. Bu çalışmanın amacı, bir bilgisayar ağına saldırı olup olmadığını yüksek başarı oranı ile tespit etmenin yanı sıra, hangi saldırı türünün sisteme zarar vermeye çalıştığını da ayırt edebilen anomali tabanlı bir saldırı tespit sistemi tasarlamaktır. Bu sistemi geliştirmek için makine öğrenmesi yöntemlerinden olan yapay sinir ağları kullanılmıştır. Sistemin geçerliliğini sınamak üzere CSE-CIC-IDS2018 veri seti kullanılmıştır. Tehdit türleri olarak, yaygın sıklıkta karşılaşılan Botnet, DDOS, DOS, BruteForce saldırıları ele alınmıştır. Yapılan doğruluk sınamaları sonucunda, gelen bir paketin tehdit olup olmadığı %99.11 gibi çok yüksek bir başarı oranında doğru bulunmuştur. Ayrıca gelen tehdidin Botnet olduğu %93.23, DDOS olduğu %99.31, DOS olduğu %92.26 ve BruteForce olduğu %99.26 oranında doğru şekilde tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Saldırı Tespit Sistemi, Siber Güvenlik, CSE-CIC-IDS2018 Veri Seti, Yapay Sinir Ağları

Model Application of Anomaly Based Intrusion Detection Using Artificial Neural Network

Abstract

The spread of the internet day by day and the rapid increase of the devices connected to the network, along with some advantages, brings together lots of problems. The most important one of these problems are cyber threats. Cyber threats towards individuals, institutions and states can cause losses such as material, reputation and time. Intrusion detection and intrusion prevention systems are used to eliminate these losses or to reduce attacks. Intrusion detection systems are being designed as signature-based or anomaly-based, and anomaly-based systems use machine learning methods. The purpose of these work is to develop an anomaly-based system which determine with high success rate whether there is an attack on a computer network, as well as able to separate which type of attack tries to harm the system. Artificial neural networks, one of the methods of machine learning, were used to develop this system. CSE-CIC-IDS2018 data set were used to test the validity of the system. As type of threats, the common faced ones such as Botnet, DDOS, DOS, BruteForce attacks have been considered. As a result of the accuracy tests, it is found that whether an incoming package is a threat at a

* Sorumlu Yazar: İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: [0000-0001-9881-0666](https://orcid.org/0000-0001-9881-0666)), salih.krmm21@outlook.com

very high performance rate such as 99.11%. In addition, incoming threat was correctly determined 93.23% for Botnet, 99.31% for DDOS, 92.26% for DOS, and 99.26% for Brute Force.

Keywords: Intrusion Detection System, Cyber Security, CSE-CIC-IDS2018 Data Set, Artificial Neural Network

1 Giriş

Modern yaşam tarzının vazgeçilmezi haline gelen bilgi ve iletişim teknolojileri, ulusları bilgi ve iletişim alt yapılarına bağımlı hale getirmiştir. Günümüzde yaklaşık 2 milyar insan internet kullanmaktadır ve Microsoft'un araştırmasına göre bu sayının 2025 yılına kadar hızla artarak 4 milyarı geçmesi beklenmektedir (Yılmaz, Ulus, & Gönen, 2015). İnternetin geniş alanda kullanımı, bilgi teknolojisi olarak da adlandırılan "Siber Güvenlik" kavramını önemli hale getirmiştir.

'Stuxnet saldırısı' olarak da bilinen ve ABD tarafından 2009'da öne sürülen saldırının, İran'ın Natanz nükleer yakıt zenginleştirme tesislerine karşı düzenlendiğine inanılmaktadır (Çelik, 2013, s. 144). Yakın bir tarihte Gürcistan genelinde etkili olan siber saldırının; aralarında cumhurbaşkanlığının, sivil toplum kuruluşlarının, özel şirketlerin ve ulusal TV istasyonunun da bulunduğu 15 binden fazla web sitesini olumsuz etkilediği açıklanmıştır (SiberBülten, 2019).

Karmaşık ve sürekli büyüyen ağ saldırılarına karşı en önemli savunma araçlarında biri Saldırı Tespit ve Önleme Sistemleri (STÖS)'dir. Bir Saldırı Tespit Sistemi (STS) ağı izleyerek güvenlik tehditlerini tespit etmeye çalışır ve sisteme bir saldırı tespit etmesi durumunda saldırı hakkında bilgi verir. Bu bilgi Saldırı Önleme Sistemleri (SÖS)'ne iletilir ve SÖS yöneticiye alarm gönderir ve kaynak adresin trafiğini engeller. Günümüzde birçok STÖS kullanılmaktadır. STS'lerin geliştirilmesinde, günümüze kadar istatistiksel yöntemler, kural tabanlı, eşik değeri belirleme, durum geçiş diyagramları, yapay sinir ağları, veri madenciliği, yapay bağışıklık sistemi, bulanık mantık gibi farklı birçok yaklaşım uygulanmıştır (Güven & Sağıroğlu, 2008).

STS'ler, imza tabanlı ve anomali tabanlı olmak üzere iki farklı şekilde tasarlanmaktadır. Bilinen saldırılar imza tabanlı STS'lerde bir veri tabanında tutulmaktadır ve gelen paketler bu veri tabanındaki verilerle kıyaslanarak saldırı olup olmadığı tespit edilmektedir. Ticari uygulamalarda çoğunlukla imza tabanlı STS'lerin kullanıldığı görülmektedir (Kalıpcıoğlu, Toğay, & Yolaçan, 2019). Anomali Tabanlı Saldırı Tespit Sistemleri (ATSTS) ise daha çok yapay zeka yöntemleri ile normal ve anormal veriler kullanılarak, sistemin eğitilmesi sonucu oluşturulurlar. Snort, Bro, Selks, Suricata, Ossec, Kfsensor, PhpIDS, .NetIDS, Firestorm yaygın olarak kullanılan STS'lerdendir (Baykara & Daş, 2019).

ATSTS daha önce karşılaşılmamış olan saldırılar karşısında iyi bir çözüm olarak görülmektedir. ATSTS'lerin modellenmesinde, istatistiksel temelli, önceden bilinen bilgilerin kullanılmasına dayanan veya örüntülerin sınıflandırılmasına dayanan yöntemler kullanılmaktadır (Garcı'a-Teodoroa, Dı'az-Verdejo, Macia'-Ferna'ndez, & Va'zquez, 2009).

Veri setleri içerisinde bir örneklem çok sayıda öz nitelik ile ifade edilebilmektedir. Çok fazla özellik kullanılarak tasarlanan bir modelin, en iyi performans göstereceğinin beklenmesi doğru değildir. Aksine bu durum, hesaplama maliyetini ve sistemin hata oranını arttırabilmektedir (Al-Jarrah, Siddiqui, Elsalamouny, Yoo, Muhaidat, & Kim, 2014). Bu yüzden bu çalışmada saldırı modelleri için farklı özellikler kullanılmıştır. Saldırının tespit

edilme performansı değerlendirilerek, kullanılan özelliklerin en aza indirilmesi için BruteForce yöntemi kullanılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, yaygın saldırılardan DDOS, DOS, BruteForce ve Bot'un, normal ağ trafiğinden farklı özellikleri ile eğitilerek en yüksek başarımda bir ATSTS tasarlamaktır. Bu sistemin geliştirilmesi, PyCharm IDE'si üzerinde Python programlama dili ve yapay sinir ağları öğrenme modeli kullanılarak yapılmıştır. Uygulamanın geçerliliğini sınamak üzere Kanada Siber Güvenlik Enstitüsü tarafından paylaşılan CSE-CIC-IDS2018 veri seti üzerinde sınanmıştır (CyberSecurity, 2018). Çalışma sonucunda gelen bir trafiğin tehdit olup olmadığı %99.11 oranında doğru tespit edilmiştir. Ayrıca gelen bir tehdidin Bot tehdidi olduğu %92.33, DDOS tehdidi olduğu %99.23, BruteForce tehdidi olduğu %99.33 ve DOS tehdidi olduğu %92.1 oranında doğru tahmin edilmiştir.

2 ATSTS ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

ATSTS'lerin geliştirilmesinde, Yapay Sinir Ağları (YSA), k En Yakın Komşu, Naive Bayes, Destek Vektör Makineleri (DVM) gibi birçok makine öğrenmesi yöntemleri kullanılmıştır. Bu çalışmalar, yöntemler bazında ayrı ayrı aşağıda ele alınmıştır.

2.1 YSA Kullanılarak Yapılmış Çalışmalar

Kaynak kullanımını iyileştirmek ve zaman karmaşıklığını azaltmak üzere yapılan çalışmada, 41 öz nitelikli KDD-99 veri seti ve bu verinin 25 öz nitelikli hali, YSA kullanılarak test edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, azaltılmış veri setinin saldırının olup olmadığını tahmin yüzdesinin daha yüksek olduğu görülmüştür (AkashdeeP, Manzoor, & Kumar, 2017). KDD-99 veri seti üzerinde yapılan çalışmada Geri Beslemeli Sinir Ağı algoritması kullanılarak, saldırıları sınıflandıran bir STS tasarlanmıştır. Test sonuçları incelendiğinde, KDD-99 ile yapılmış diğer çalışmalara göre farklı saldırıları tespit etmede daha az sayıda yanlış pozitif ve yanlış negatif verdiği gözlemlenmiştir (Poojitha, Kumar, & Reddy, 2010). KDD-99 veri kümesindeki tüm özellikleri kullanılarak tasarlanan ATSTS'de YSA ve DVM performansı karşılaştırılmıştır. YSA'nın saldırı tespit doğruluğunun DVM'den daha iyi bir performansa sahip olduğu görülmüştür (Cahyo, Hidayat, & Adhipta, 2016).

2.2 k-en yakın komşu Algoritması Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

NSL-KDD veri seti için TBA(Temel Bileşen Analizi / PCA) kullanılarak 6, 7, 11, 21 öz nitelik belirlenmiş, Naive Bayes, J-48, kNN-1 ve kNN-3 algoritmaları üzerinde 4 farklı veri seti kullanılarak, eğitim ve test işlemleri uygulanmıştır. Tehdit olup olmadığı, %99,6871 doğruluk oranı ile TBA-21 veri setinde, kNN-1 algoritmasıyla elde edilmiştir. Fakat TBA-21 verisinin eğitim ve test süresi, diğer verilerin test ve eğitim sürelerine oranla oldukça yüksek çıktığı görülmektedir (Çavuşoğlu & Kaçar, 2019)

2.3 Naive Bayes Algoritması Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

KDD-99 veri seti kullanılarak, DOS, R2L, U2R, Probing tehditlerinin tespitinde Naive Bayes ve Karar Ağacı tekniklerinin

performansı test edilmiş ve test sonuçlarında Naive Bayes'in R2L ve Probing tehditleri için doğruluk oranının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir (Amor, Benferhat, & Elouedi, 2004). 41 özellikli NSL-KDD veri seti kullanılarak, öz nitelik sayısı 10, 14, 20, 24 olan veri setleri ve azaltılmamış veri setine Naive Bayes algoritması uygulanarak test edilmiştir. Test sonuçlarına göre, doğruluk oranı 24 öz nitelikli veri setinde en yüksek çıkmıştır. Tüm öz niteliklerin kullanılması ile elde edilen doğruluk oranı %95.11 iken, 24 öz nitelikli veri ile elde edilen doğruluk oranı %97.78'dir (Mukherjee & Sharma, 2012).

2.4 Destek Vektör Makineleri Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

DARPA veri seti kullanılarak, YSA ve DVM'nin bu veri seti üzerindeki performansının değerlendirildiği çalışmada, test sonucunda iki yöntemde de doğruluk oranı birbirine çok yakın çıkmıştır (%99'un üzerinde). Ama yeniden eğitimin yapılması gereken durumlar göz önüne alındığında, bu iki yöntemin eğitim süreleri: DVM 17.77 sn. YSA18 dk sürmüştür. Bu durum göz önüne alındığında DVM'nin performansının daha iyi olduğu değerlendirilmiştir (Mukkamala, Janoski, & Sung, 2002). NSL-KDD veri seti, TBA ile öz nitelik sayısı 41'den 23'e indirilmiştir. Öz niteliği azaltılmış veri seti ve azaltılmamış veri seti üzerinde, DVM kullanılarak yapılan deneylerde STS sisteminin, doğruluk oranlarının iki veri seti içinde birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir. Fakat azaltılmış veri setinin eğitim ve test süresi 2 kata yakın daha az sürede gerçekleştirdiği gözlemlenmiştir (Heba, Darwish, Hassanien, & Abraham, 2010).

3 Veri Seti ve Uygulama

3.1 Veri Seti

STS sistemlerinin iyileştirilmesi amacı ile birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların çoğu, geçerli ve güncel bir veri seti bulunmadığından, mevcut birkaç veri seti üzerinde deneylerini gerçekleştirmişlerdir. DARPA, KDD'99, DEFCON, CDX, KYOTO, TWENTE, UMASS, ISCX bu veri setlerinden bazılarıdır (Sharafaldin, Arash, & Ali, 2018).

Kanada Siber Güvenlik Enstitüsü tarafından paylaşılan, uygun bir test ortamında hazırlanmış CSE-CIC-IDS2018 veri seti, daha önce kullanılan veri setlerindeki eksiklikler dikkate alınarak oluşturulmuştur (CyberSecurity, 2018). Bu veri seti, 5 günlük bir test sürecinde tehdit yapıları ve iyi huylu davranış trafikleri göz önüne alınarak üretilmiştir. Veri seti PCAP dosya formatında üretilmiş, ağ trafiği akış üretici olan CICFlowMeter uygulaması kullanılarak CSV formatına dönüştürülmüştür. Kanada Siber Güvenlik Enstitüsü tarafından paylaşılan bu veriler halkın kullanımına açılmış ve Siber Güvenlik alanında çalışma yapmak isteyen araştırmacılar bu veri setinin PCAP ve CSV formatına

erişebilmektedir (CyberSecurity, 2018). Yapılan çalışmada bu veri seti kullanılmıştır.

3.1.1 Veri Setinin Özellikleri

Veri seti yerel bilgisayara indirilip incelendiğinde, içerisinde yer alan etiketler ve her bir etikete ait örnek sayısı Tablo1'de verilmiştir. Veri setinin PCAP formatı, CICFlowMeter aracılığıyla 79 özelliğinden ve 1 etiketten oluşan CSV formatlı dosyalara dönüştürülmüştür. Deney ortamında veri setinin test edilebilmesi için bazı ön işlemlerden geçmesi gerekmektedir. Ön işlemler için "string" veri türünden olan zaman parametresi sayısal değere dönüştürülmüştür. Ayrıca parametresi eksik olan verilerin olduğu tespit edilmiş ve bu örnekler silinerek (normalleştirme) veri seti uygulama ortamı için uygun hale getirilmiştir.

3.1.2 Veri Seti Kullanılarak Yapılan Bazı Çalışmalar

Karar Ağacı ve Rastgele Orman Yöntemleri kullanılarak yapılan çalışmada, Hizmet Engelleme, Dağıtılmış Hizmet Reddi ve Port Tarama saldırıları anormal olarak etiketlenmiş ve deney sonuçlarında doğruluk oranı %99,966 ile Rastgele Orman daha başarılı sonuç vermiştir (Özekes & Karakoç, 2019). Her tehdidi belirleyen en iyi dört özelliğin bulunması amacıyla, K-en yakın komşu, Rassal Orman, ID3, Adaboost, çok katmanlı algılayıcı, Naive Bayes ve ikinci dereceden ayırım analizi yöntemleri kullanılmış, test ve eğitim süresi ve doğruluk değeri dikkate alındığında en iyi sonucu Rassal Orman yönteminin verdiği görülmüştür (Sharafaldin, Arash, & Ali, 2018).

3.2 Uygulama

Kolaylık sağlaması için her saldırı türüne ait dosyalar oluşturulmuş ve oluşturulan dosyalara saldırıya ait bilgiler yazılmıştır. Oluşturulan 13 farklı veri dosyası kullanılarak uygulama için 5 farklı veri seti oluşturulmuş ve bu veri setleri YSA ile eğitilmiştir.

1.veri seti herhangi bir tehdidin olup olmadığını kontrol etmek için oluşturulmuştur. Bu veri seti içerisinde normal olarak etiketlenen veriler Benign (zararsız) dosyasından alınmış ve Bot, BruteForce-Web, BruteForce-XSS, FTP-BruteForce, BruteForce-SSH, DDOS, Dos attacks Slowris, DoSattacks-GoldenEye, DoSattacks-Hulk, DoSattacks-SlowHTTPTest veri dosyalarından alınan veriler ise anormal durum olarak etiketlenmiştir. BruteForce denemeleri sonucunda 79 özellik içerisinden 17 özellik ile oluşturulan veri seti en iyi sonucu verdiği(%99,11) görülmüştür. Saldırı olup olmadığını tespitinde kullanılacak en iyi özellik kümesi ve açıklamaları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1 Veri Seti İçerisinde Yer Alan Etiketlere Ait Örneklem Sayıları

ETİKET	ÖRNEKLEM SAYISI
Benign (zararsız)	6000000
Bot	290000
BruteForce-Web	612
BruteForce-XSS	231
DDOS	690000

DoS attacks-Slowloris	11000
DoSattacks-GoldenEye	41500
DoSattacks-Hulk	462000
DoSattacks-SlowHTTPTest	140000
FTP-BruteForce	196000
Infiltration	161000
SQLInjection	90
SSH-Bruteforce	188000

Tablo 2 Saldırı Olup Olmadığının Tespiti için En İyi Özellik Kümesi ve Açıklamaları

ÖZELLİK	AÇIKLAMA
Flow Duration	Mikro-saniyedeki akış süresi
Flow Byts/s	Saniyede akan byte sayısı
Flow Pkts/s	Saniyede akan paket sayısı
Flow IAT Std	Paketlerin varış zamanlarının standart sapması
Flow IAT Max	Paketlerin maksimum varış Zamanı
Fwd IAT Tot	İleri yönde gönderilen iki paket arasındaki toplam zaman
Bwd Pkts/s	Saniyedeki geri yön paket Sayısı
Pkt Len Std	Bir akışın standart sapması
Pkt Len Var	Bir akışın uzunluk varyansı
RST Flag Cnt	RST içeren paket sayısı
ECE Flag Cnt	ECE içeren paket sayısı
Down/Up Ratio	İndirme ve yükleme oranı
Bwd Blk Rate Avg	Geri yönde kütle oranının ortalama sayısı
Init Fwd Win Byts	İleri yönde ilk pencere içinde gönderilen bayt sayısı
Fwd Act Data Pkts	İleri yönde en az 1 bayt TCP veri yüküne sahip paket sayısı
Fwd Seg Size Min	Geri yönde kütle oranının ortalama sayısı
Active Max	Boşta kalmadan önce bir akışın aktif olduğu maksimum zaman

2.veri seti tehdidin DDOS olup olmadığını kontrol etmek için oluşturulmuştur. Bu veri seti, zararsız durum için Benign veri dosyasından ve anormal durum için ise DDOS veri dosyasından alınarak oluşturulmuştur. Denemeler sonucunda 79 özellikten sadece 2 özellik ile en iyi sonucun (%99,31) elde edildiği görülmüştür. DDOS saldırı türü için belirlenen özellikler ve açıklamaları Tablo 3'te verilmiştir.

3.veri seti tehdidin BruteForce olup olmadığını kontrol etmek için oluşturulmuştur. Bu veri seti, zararsız durum için Benign veri dosyasından ve anormal durum için BruteForce-Web, BruteForce-XSS, FTP-BruteForce, SSH Bruteforce veri dosyalarından alınarak oluşturulmuştur. Denemeler sonucunda 79 özellikten sadece 6 özellik ile en iyi sonucun (%99,26) edildiği görülmüştür. BruteForce saldırı türü için belirlenen özellikler ve açıklamaları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 3 DDOS Saldırısı Tespiti için En İyi Özellikler ve Açıklamaları

ÖZELLİK	AÇIKLAMA
Init Fwd Win Byts	İleri yönde ilk pencere içinde gönderilen bayt sayısı
Pkt Len Var	Bir akışın uzunluk varyansı

Tablo 4 Brute Force Saldırısı Tespiti için En İyi Özellikler ve Açıklamaları

ÖZELLİK	AÇIKLAMA
Flow Duration	Mikro-saniyedeki akış süresi

Bwd IAT Max	Geri yönde gönderilen iki paket arasındaki maksimum zaman
Flow Byts/s	Saniyede akan byte sayısı
Flow Pkts/s	Saniyede akan paket sayısı
Init Fwd Win Byts	İleri yönde ilk pencere içinde gönderilen bayt sayısı
Pkt Len Var	Bir akışın uzunluk varyansı

4.veri seti tehdidin Bot olup olmadığını kontrol etmek için oluşturulmuştur. Bu veri seti, zararsız durum için Benign veri dosyasından ve anormal durum için Bot veri dosyasından alınarak oluşturulmuştur. Denemeler sonucunda 79 özellikten sadece 4

özellik ile en iyi sonucun (93,23) elde edildiği görülmüştür. Bot saldırı türü için belirlenen özellikler ve açıklamaları Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5 Bot Saldırısı Tespiti için En İyi Özellikler ve Açıklamaları

ÖZELLİK	AÇIKLAMA
Flow Byts/s	Saniyede akan byte sayısı
Flow Pkts/s	Saniyede akan paket sayısı
Pkt Len Var	Bir akışın uzunluk varyansı
Init Fwd Win Byts	İleri yönde ilk pencere içinde gönderilen bayt sayısı

5.veri seti tehdidin DOS olup olmadığını kontrol etmek için oluşturulmuştur. Bu veri seti, zararsız durum için Benign veri dosyasından ve anormal durum için DoS attacks-Slowloris, DoSattacks-GoldenEye, DoSattacks-Hulk, DoSattacks-

SlowHTTPTest veri dosyalarından alınarak oluşturulmuştur. Denemeler sonucunda 79 özellikten sadece 6 özellik ile en iyi sonucun (%92,26) elde edildiği görülmüştür. DOS saldırı türü için belirlenen özellikler ve açıklamaları Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6 DOS Saldırısı Tespiti için En İyi Özellikler ve Açıklamaları

ÖZELLİK	AÇIKLAMA
Flow Pkts/s	Saniyede akan paket sayısı
Pkt Len Var	Bir akışın uzunluk varyansı
Init Fwd Win Byts	İleri yönde ilk pencere içinde gönderilen bayt sayısı
Flow IAT Max	Paketlerin maksimum varış zamanı
Flow Duration	Mikro-saniyedeki akış süresi
Flow Byts/s	Saniyede akan byte sayısı

3.3 Sınıflandırıcıların Eğitilmesi ve Sınanması

Oluşturulan beş veri dosyasının içerisindeki verilerin %80'i eğitim %20 si sınama için ayrılmıştır. Her bir veri setine ait örneklem sayıları Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7 Veri Setleri Eğitim ve Sınama Örneklem Sayısı

VERİ SETİ	EĞİTİM ÖRNEKLEM SAYISI	SINAMA ÖRNEKLEM SAYISI
1. Veri Seti	3.288.000	822.000
2. Veri Seti	1.096.000	281.000
3. Veri Seti	617.000	154.250
4. Veri Seti	460.800	115.000
5. Veri Seti	1.048.000	262.000

Eğitim PyCharm IDE'si üzerinde, Python dilindeki YSA algoritması kullanılarak yapılmıştır. Eğitimin gerçekleştirilmesi için Keras ve Scikit-learn kütüphanelerinden faydalanmıştır. Her bir sınıflandırıcının eğitilmesi esnasında geçen süre Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8 Sınıflandırıcıların Eğitilmesi İçin Geçen Süre

VERİ SETİ	SINIFLANDIRICI TÜRÜ	EĞİTİM SÜRESİ
1. Veri Seti	Tehdit Olup Olmadığı	457 sn.

2. Veri Seti	DDOS	98 sn.
3. Veri Seti	BruteForce	123 sn.
4. Veri Seti	Bot	107 sn.
5. Veri Seti	DOS	552 sn.

Eğitimlerden sonra her bir sınıflandırıcı modeli test verilerinde sınanmak üzere saklanmıştır. Test verilerinde bu sınıflandırıcıların kullanılması sonucunda elde edilen doğruluk yüzdeleri Tablo9’da verilmiştir.

Tablo 9 Saldırı Türleri için Sınıflandırıcıların Doğruluk Yüzdeleri

TEST VERİSİ	SINIFLANDIRICI TÜRÜ	TEST SONUCU (%)
1. Veri Seti	Tehdit Olup Olmadığı	99,11
2. Veri Seti	DDOS	99,31
3. Veri Seti	BruteForce	99,26
4. Veri Seti	Bot	93,23
5. Veri Seti	DOS	92,26

4 Sonuç ve Gelecek Çalışmalar

Tablo 9’daki saldırı tespit başarımları değerleri göz önüne alındığında, önerilen ATSTS modelinin saldırı tespiti ve özelleştirilmiş düzeyde en yaygın saldırı türleri olan Bot, BruteForce, DDOS ve DOS saldırılarının belirlenmesi amacı ile yüksek güvenilirlikte kullanılabilirliğini göstermektedir. Önerilen ATSTS modelinin ayrıntılı akış şeması Şekil 1’de verilmiştir.

İlk aşamada CICFlowMeter, gelen trafik verisini ATSTS modelinin anlayacağı niteliklere dönüştürmek üzere kullanılmıştır. Daha sonra elde edilen 79 öz niteliğe sahip veriden, özellik azaltma uygulaması kullanılarak 5 farklı özellik kümesi oluşturulmuş ve bunlarla 5 adet farklı sınıflandırıcı oluşturulmuştur. İlk sınıflandırıcı 17 özellik ile eğitilmiş, tehdidin olup olmadığını sınamak üzere kullanılmaktadır. Eğer tehdit yoksa uygulamadan çıkılmaktadır. Tehdit varsa, tehdidin sınıfını bulmak üzere, farklı özellik kümeleri ile oluşturulmuş 4 farklı tehdit sınıflandırıcısı sırasıyla, tehdidin DDOS, Bot, BruteForce, DOS olup olmadığını kontrol etmektedir. Bu tehditlerin dışında bir tehdit oluştuğunda mevcut modelde sadece tehdidin olduğu bildirilmektedir.

Bu çalışma sonunda, önerilen ATSTS’ nin ön uygulama olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi için Tablo 10’da tehdidin var olup olmadığının tespiti, Tablo 11’de DDOS tehdidinin tespiti, Tablo 12’de BruteForce tehdidinin tespiti, Tablo 13’te Bot tehdidinin tespiti ve Tablo 14’te DOS tehdidinin tespiti için yapılmış bazı çalışmalar ve bu çalışmaların test edilmesi sonucunda elde edilen doğruluk yüzdeleri verilmiştir. Tehdidin var olup olmadığı önerilen sistemde %99,11 oranında, DDOS tespiti %99.31 oranında, Brute Force tespiti %99.26 oranında, Bot tespiti %93.23 oranında, DOS tespiti %92.26 oranında doğru sonuçlar vermiş ve örnek çalışmalarla kıyaslandığında bütünlük bir ATSTS olarak uygulanabilir olduğu görülmektedir. Önerilen sistemin, mevcut çalışmalara başarımları olarak en uzak kalan tehdit tespitinin DOS saldırısı olduğu görülmektedir. Bununla birlikte elde edilen başarımları oranı kabul edilebilir bir düzeydedir.

Bundan sonraki çalışmalarda derin öğrenme modelleri kullanılarak (örneğin CNN algoritması) başarımları oranlarında daha iyi sonuçların mümkün olup olmadığı araştırılabilir. Ayrıca önerilen model, CSE-CIC-IDS2018 içerisindeki diğer saldırı türlerini de kullanılabilecek biçimde çalışmanın kapsamı genişletilebilir.

Tablo 10 Birden Fazla Tehdidin Tespiti İçin Tasarlanan Bazı Çalışmalar

Yapılmış Çalışmalar	Kullanılan Veri Seti	Tehdit	Kullanılan Makine Öğrenmesi Yöntemi	Başarımları Oranı (%)
(Özekes & Karakoç, 2019)	CSE-CIC-IDS2018	Port Tarama, DDOS, DOS	Rastgele Orman	99,96
(Sharafaldin, Arash, & Ali, 2018)	CSE-CIC-IDS2018	DDOS, DOS, BruteForce, Bot, SQL Injection, Infiltration	Rastgele Orman	98.00
(ATAY, ODABAŞ, & PEHLİVANOĞLU, 2019)	CSE-CIC-IDS2018	DDOS, DOS, BruteForce, Bot, SQL Injection, Infiltration	(CNN + Rastgele Orman)	98.05
(Basnet, Shash, Johnson, Walgren, & Doleck, 2019)	CSE-CIC-IDS2018	DDOS, DOS, BruteForce, Bot, SQL Injection, Infiltration	Derin Öğrenme	99,01

Tablo 11 DDOS Tehdidin Tespiti İçin Tasarlanan Bazı Çalışmalar

Yapılmış Çalışmalar	Kullanılan Veri Seti	Tehdit	Kullanılan Makine Öğrenmesi Yöntemi	Başarım Oranı (%)
(Kılınç, ve diğerleri, 2016)	YeZ ve NoZ	DDOS	Rastgele Orman	93,58
(Li, E, Vélez, & O, 2016)	NSL-KDD	DDOS	Destek Vektör Makineleri	99.00

Tablo 12 BruteForce Tehdidin Tespiti İçin Tasarlanan Bazı Çalışmalar

Yapılmış Çalışmalar	Kullanılan Veri Seti	Tehdit	Kullanılan Makine Öğrenmesi Yöntemi	Başarım Oranı (%)
(Najafabadi, Khoshgoftaar, Kemp, Seliya, & Zuech, 2014)	SILK	Brute Force	Naive Bayes	99.75
(Najafabadi, Khoshgoftaar, Calvert, & Kemp, 2015)	NETFLOWS	Brute Force	C4.5N	99.65

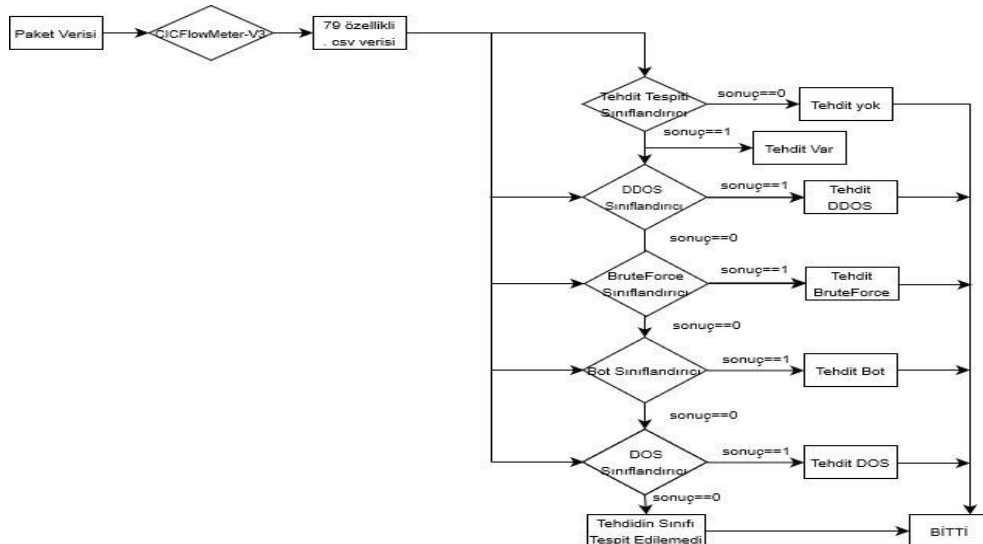
Tablo 13 Bot Tehdidin Tespiti İçin Tasarlanan Bazı Çalışmalar

Yapılmış Çalışmalar	Kullanılan Veri Seti	Tehdit	Kullanılan Makine Öğrenmesi Yöntemi	Başarım Oranı (%)
(Aydın, Sevi, & Salur)	Twitter	Bot	Lojistik Regresyon	79.1
(Tataroğlu, 2019)	Twitter	Bot	Derin Öğrenme	87..93
(Singh, Guntuku, Thakur, & Hota, 2014)	CAIDA and WireShark	Botnet	Rastgele Orman	99.98

Tablo 14 DOS Tehdidin Tespiti İçin Tasarlanan Bazı Çalışmalar

Yapılmış Çalışmalar	Kullanılan Veri Seti	Tehdit	Kullanılan Makine Öğrenmesi Yöntemi	Başarım Oranı (%)
(Kaya & Yıldız, 2014)	KDD cup99	DOS	Yapay Sinir Ağları	99.59
(Kaynar, Yüksek, Görmez, & Işık)	KDD cup99	DOS	Derin Öğrenme	99.42

Şekil 1 Önerilen ATSTS Modelinin Akış Şeması



Kaynakça

- Çavuşoğlu, Ü., & Kaçar, S. (2019). Anormal Trafik Tespiti için Veri Madenciliği Algoritmalarının Performans Analizi. *dergipark* , 205-216.
- Çelik, Ş. (2013). Stuxnet Saldırısı Ve Abd'nin Siber Savaş Stratejisi: Uluslararası Hukukta Kuvvet Kullanmaktan Kaçınma İlkesi Çerçevesinde Bir Değerlendirme. *Dergipark* , 144.
- Akashdeep, Manzoor, I., & Kumar, N. (2017). *A feature reduced intrusion detection system using ANN classifier*. ELSEVIER.
- Al-Jarrah, O., Siddiqui, A., Elsalamouny, M., Yoo, P., Muhaidat, S., & Kim, K. (2014). Machine-Learning-Based Feature Selection Techniques for Large-Scale Network Intrusion Detection. *34th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops*. Madrid: IEEE.
- Amor, N. B., Benferhat, S., & Elouedi, Z. (2004). Naive Bayes vs decision trees in intrusion detection systems. *Proceedings of the 2004 ACM symposium on Applied computing* (s. 420-424). Nicosia: SAC.
- Atay, R., Odabaş, D. E., & Pehlivanoglu, M. K. (2019). İki Seviyeli Hibrit Makine Öğrenmesi Yöntemi İle Saldırı Tespiti. *Dergipark* , 258-272.
- Aydın, İ., Sevi, M., & Salur, M. U. (Tarih Yok). Makine Öğrenmesi Algoritmaları İle Sahte Twitter Hesaplarının Tespiti.
- Basnet, R. B., Shash, R., Johnson, C., Walgren, L., & Doleck, T. (2019). Towards Detecting And Classifying Network Intrusion Traffic Using Deep Learning Frameworks. *Journal Of Internet Services And Information Security (Jists)* , 1-17.
- Baykara, M., & Daş, R. (2019). Saldırı Tespit Ve Engelleme Araçlarının İncelenmesi. *Dümf Mühendislik Dergisi* , 57-75.
- Cahyo, A. N., Hidayat, R., & Adhipta, D. (2016). Performance Comparison Of İntusion Detection System Based Anomaly Detection Using Artificial Neural Network And Support Vector Machine. *Aip Conference Proceedings 1755*. Aip.
- Cybersecurity, C. I. (2018, 01 01). *Unb.Ca/Cic/Datasets/İds-2018*. 11 03, 2019 Tarihinde Unb.Ca: <https://www.unb.ca/cic/datasets/ids-2018.html> Adresinden Alındı
- García-A-Teodoro, P., Dı'Az-Verdejo, J., Macia'-Ferna'Ndez, G., & Va'Zquez, E. (2009). *Anomaly-Based Network İntusion Detection*. Elsevier.
- Güven, E. N., & Sağıroğlu, Ş. (2008). Saldırı Tespit Sistemleri Üzerine Bir İnceleme. *3. Uluslararası Katılımlı Bilgi Güvenliği Ve Kriptoloji Konferansı* (S. 273-278). Ankara: Bildiriler Kitabı.
- Gustavsson, V. (2019). Machine Learning For A Networkbased Intrusion Detection System. *Examensarbete Elektronik Och Dator teknik, Grundnivå, 15 Hp* . Stockholm, İsveç: Kth Skolan För Elektroteknik Och Datavetenskap.
- Heba, F. E., Darwish, A., Hassanien, A. E., & Abraham, A. (2010). Principle components analysis and Support Vector Machine based Intrusion Detection System. *Intelligent Systems Design and Applications (ISDA), International Conference on*. Cairo: IEEE.
- Kılınç, D., Bozyiğit, F., Borandağ, E., Yücalar, F., Akyol, H., Akırmak, E. B., ve diğerleri. (2016). Sınıflandırma Tabanlı Zombi Bilgisayar Tespit Sistemi. *Akademik Bilişim 2016*. Aydın: Adnan Menderes.
- Kalıpcıoğlu, K. C., Toğay, C., & Yolaçan, E. N. (2019). Son Kullanıcılar İçin Anomali Saldırı Tespit Sistemleri. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Ve* , 199-212.
- Kaya, Ç., & Yıldız, O. (2014). Makine Öğrenmesi Teknikleriyle Saldırı Tespiti: Karşılaştırmalı Analiz. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi* , 89-104.
- Kaynar, O., Yüksek, A. G., Görmez, Y., & Işık, Y. E. (Tarih Yok). Oto Kodlayıcı Tabanlı Derin Öğrenme Makinaları İle Saldırı Tespiti.
- Kim, J., Shin, Y., & Choi, E. (2019). An Intrusion Detection Model based on a Convolutional Neural Network. *Journal of Multimedia Information System* , 165-172.
- Li, M. S., E, G. A., Vélez, J. I., & O, L. C. (2016). Distributed Denial of Service (DDoS) Attacks Detection Using Machine Learning Prototype. *In Distributed Computing and Artificial Intelligence, 13th International Conference* (s. 33-41). Cham: Springer.
- Mukherjee, D. S., & Sharma, N. (2012). *Intrusion Detection using Naive Bayes Classifier with Feature*. 120-128.
- Mukkamala, S., Janoski, G., & Sung, A. (2002). Intrusion detection using neural networks and support vector machines. *Neural Networks (IJCNN), International Joint Conference on*. IEEE.
- Najafabadi, M. M., Khoshgoftaar, T. M., Calvert, C., & Kemp, C. (2015). Detection of SSH Brute Force Attacks Using Aggregated Netflow Data. *2015 IEEE 14th International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)* (s. 283-288). IEEE.
- Najafabadi, M. M., Khoshgoftaar, T. M., Kemp, C., Seliya, N., & Zuech, R. (2014). Machine Learning for Detecting Brute Force Attacks at the Network Level. *2014 IEEE International Conference on Bioinformatics and Bioengineering* (s. 379-385). IEEE.
- Ozekes, S., & Karakoç, E. N. (2019). Makine Öğrenmesi Yöntemleriyle Anormal Ağ Trafikinin Tespit Edilmesi. *dergipark* , 566-576.
- Poojitha, G., Kumar, K. N., & Reddy, P. J. (2010). Intrusion Detection using Artificial Neural Network. *2010 Second International conference on Computing, Communication and Networking Technologies*. Karur: IEEE.
- Sharafaldin, I., Arash, H. L., & Ali, A. (2018). Toward Generating a New Intrusion Detection Dataset and Intrusion Traffic Characterization. *4th International Conference on Information Systems Security and Privacy (ICISSP)*. Portekiz. *siberbulten.com*. (2019, 10 29). 2 2020, 8 tarihinde siberbulten.com: <https://siberbulten.com/siber-saldirilar-2/gurcistanda-siber-saldiri-15-bin-siteyi-vurdu-cumhurbaşkanligi-dahil-bir-cok-kurum-etkilendi/> adresinden alındı
- Singh, K., Guntuku, S. C., Thakur, A., & Hota, C. (2014). *Big data analytics framework for peer-to-peer botnet detection using random forests*. Information Sciences.
- Tataroğlu, V. (2019). *Derin öğrenmeye dayalı sosyal medya profillemesi*. Denizli: Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- V.Kanimozhi, & PremJacob, T. (2019). Artificial Intelligence based Network Intrusion Detection with hyper-parameter optimization tuning on the realistic cyber dataset CSE-CIC-IDS2018 using cloud computing. *ICT* , 211-214.
- Yılmaz, E., Ulus, H., & Gönen, S. (2015). Bilgi Toplumuna Geçiş Ve Siber Güvenlik. *Dergipark* .



IoT Teknolojisi Kullanan Pratik ve Güvenilir Akıllı Kapı Kilidi Tasarımı

Ayşegül Kalyoncu^{1*}, Metin Turan²

¹ İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6205-6849)

² İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1941-6693)

(Bu yayın 26-27 Haziran 2020 tarihinde HORA-2020 kongresinde sözlü olarak sunulmuştur.)

(DOI: 10.31590/ejosat.1115828)

ATIF/REFERENCE: Kalyoncu, A. & Turan M. (2021). IoT Teknolojisi Kullanan Pratik ve Güvenilir Akıllı Kapı Kilidi Tasarımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue), 18-24.

Öz

Teknolojinin hızla gelişmesi ve internetin yaygınlaşması, ayrıca modern yaşamın ortaya çıkardığı ihtiyaçlar dolayısıyla Nesnelerin İnterneti (IoT)'ne olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır. IoT artık yaygın olarak kullandığımız, sürekli duyduğumuz bir kavram olmuştur. "Akıllı sistemler" olarak adlandırdığımız IoT uygulamaları, ev, tarım ve sağlık alanları başta olmak üzere neredeyse birçok alanda karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada "Akıllı Ev" sisteminin bir parçası olarak algılanabilecek, kapı kontrol IoT uygulaması geliştirilmiştir. Projenin motivasyonunu, sık sık karşılaşılan bir durum olan evin dış kapısında kalan birisinin (çocuk, bakıcı), uzak konumdaki ev sahibine durumunu haberdar ederek, güvenli bir biçimde IoT teknolojisi ile kapının açılabilmesi oluşturmaktadır. Süreç, kapıdaki kişinin telefonunda bulunan Android uygulama ile ev sahibine (genellikle ebeveyn) kapının açılması için istekte bulunması ile başlar. Bu istek, Raspberry Pi üzerindeki PHP Web servisinin uyarılması ve Python ile kodlanmış yazılım kullanılarak kamera görüntüsünün ev sahibine mail olarak gönderilmesi ile devam eder. Nihai olarak, ev sahibinin telefonunda olan diğer Android uygulama ile onay verilirse Raspberry Pi üzerindeki diğer PHP Web servisinin uyarılması sonucu elektrikli kapı kilidine yeterli gerilim verilerek kapının açılması ile sonlanır. Özellikle, düşük maliyetli ve güvenlik ihtiyaçları gözetilerek geliştirilmiş, pratik olarak uygulanabilir bir çalışmadır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Ev Uygulamaları, Nesnelerin İnterneti, Raspberry Pi

Practical and Reliable Smart Door Lock Design Using IoT Technology

Abstract

Due to the rapid development of technology and the widespread of the internet, and the needs of modern life, the interest in the Internet of Things (IoT) is increasing day by day. IoT is now a concept that we use extensively and that we constantly hear. IoT applications, which we call "smart systems", appear in many areas, especially in the fields of home, agriculture and health. In this study, door control IoT application, which can be perceived as a part of "Smart Home" system, has been developed. The motivation of the project is the fact that someone (child, childminder) who is at the outer door of the house, which is a frequent situation, can be opened safely with IoT technology by informing the home owner in the remote location. The process starts with the request by the cell phone of the person on the door using installed Android application to the homeowner (generally parent) to open the door. This request continues by activating the PHP Web service on Raspberry Pi and sending the camera image to the homeowner via an e-mail, using Python-encoded software. Ultimately, if it is approved by the other Android application on the homeowner's phone, it will end with the opening of the door by giving sufficient voltage to the electric door lock as a result of the activation of the other PHP Web service on the Raspberry Pi. In particular, it is a practically feasible study, developed with low cost and security needs in mind.

Keywords: Smart Home Applications, IoT, Raspberry Pi

1. Giriş

Son zamanlarda bilgisayarların, akıllı telefonların ve internetin kullanımı önemli ölçüde artmıştır. Bu artış insanların yaşamına kolaylıklar sağlmasına rağmen birçok olumsuz yanı da hayatımıza girmiştir. Bu sorunlardan en önemlisini "güvenlik" oluşturmaktadır. Geliştirilen tüm akıllı sistemlerde bulunması zaruri gözükken temel özellik, güvenliğin en üst düzeyde sağlanmasıdır.

Makaleye konu olan çalışmada, bir "akıllı kapı kilidi" modeli önerilmiştir. Bu problem, diğer birçok uygulama gibi hem veri, hem de uygulama güvenliği ile yakından ilişkilidir. Veriler internet ortamında iletildiğinden ve karmaşık uygulama platformundan dolayı iki güvenlik ayağı da dikkatlice ele alınmalıdır. Motivasyon sağlayan problem, ev sahiplerinin, çocukların, yaşlıların anahtarlarını unutması durumuyla ilişkilidir. Ebeveynler uzak bir yerde, hatta şehir dışında bulunuyorsa problem daha da kronikleşmektedir. Gerçek hayat problemi olan bu duruma çözüm üretmek ihtiyacı, akıllı kapı sistemlerine olan ilgiyi daha da arttırmıştır.

Akıllı kapı sistemleri hakkında çok çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bunlardan Bluetooth teknolojisini kullanarak yapılan çalışmalara ilk örnek Nehru ve arkadaşları (2015) tarafından yapılan çalışma verilebilir. Bu çalışmada, ARM denetleyicisine dayalı bir ev otomasyon tekniği geliştirilmişlerdir. Bu teknik kişiyi tespit etmek için bir IR algılayıcısı kullanılmaktadır. IR algılayıcısı bir kişi algılsa, geçiş kodunu girebilmek üzere tuş takımı etkinleştirir. Ayrıca kimlik doğrulaması için yetkili kişiye bir SMS gönderilir. Yetkili kişi onayı ile kapı açılır. Kapıda bekleyen kişi yanlış bir şifre girerse, sahibine bir bildirim mesajı gönderilir ve ayrıca sesli uyarı etkinleştirilir [1]. Han ve arkadaşları (2017) ise yaptıkları çalışmada, akıllı kapı kilidi sistemine gönderilen ve alınan verilerin sahteciliğe ve çöktürmeye karşı savunmasız olmasını ele almışlardır. Bu güvenlik sorunlarını iyileştirmek üzere, blok zinciri (block-chain) tabanlı bir akıllı kapı kilidi sistemi önermişlerdir [2]. Diğer bir önemli çalışmada, Hadis ve arkadaşları (2018) bir kapı açmak veya kilitlemek için doğrudan temas gerektirmeyen kilit sistemini geliştirmişlerdir. Ayrıca, kilit sistemi farklı fiziksel özelliklere sahip insanlar tarafından da kullanılabilir niteliktedir. Sistem düşük güçle Bluetooth teknolojisini kullanmaktadır ve neredeyse tüm cihazlarda kullanılabilmesi amaçlanmıştır [3]. Arifin ve arkadaşları (2018) tarafından önerilen modern sistemde, akıllı telefon uygulamasına konuşma komutu veya şifre girilerek kimlik doğrulaması ile kapı kilidinin açılması üzerine bir çalışma örneklendirilmiştir. Önerilen yöntemde, Android akıllı telefon uygulaması seri iletişim için Bluetooth kullanılmaktadır. Düşük maliyetinin yanı sıra, kablosuz ev otomasyon sistemi olarak kolayca uygulanabilir [4].

Bluetooth teknolojisine ek olarak görüntü işleme teknolojisi de kullanan çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin, Adalan ve Erkmen (2016) Android işletim sistemine sahip bir akıllı telefon üzerinde geliştirilen mobil uygulamayı kullanarak, yüz tanıma, NFC (Near Field Communication) ve ses komutu ile kapı kilidi sistemine erişimi kablosuz haberleşme kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Akıllı telefona ses komutu iletilerek ve telefonun NFC etiketine yaklaştırılmasıyla kapı kilidi sistemi kontrol edilmiştir. Ayrıca kapı kilidi sisteminin kontrolünde yüz tanıma işleminden de yararlanılmıştır [5]. Kavde ve arkadaşları (2017) "akıllı dijital kilit" sistemini kullanarak, kullanıcının canlı yayın yoluyla kimlik doğrulaması yapabilmekte, Bluetooth aracılığı ile kapıyı açabilmekte ve bekleyen kişinin eve girmesine

izin verebilmektedir. Bu çözüm, çalışan anne ve meşgul aileler için, çocukları veya beklenen kişiler için bir kişinin evde bulunması gerekliliğini ortadan kaldırmış olmaktadır [6].

Daha gelişmiş Wi-fi teknolojisini kullanan araştırmalara da rastlanmaktadır. Bunlardan Mrinal ve arkadaşları (2017) önerdiği sistemde, bazı işlevlere sahip ev otomasyonunun, Wi-Fi internet bağlantı protokolü ile kontrol edilmesi üzerinde çalışmışlardır. İşlevler arasında alarm tabanlı akıllı kilit, ev aletlerini uzaktan kumanda etmek, sivrisine algılama ve akıllı su deposu bulunmaktadır [7]. Rajadurai ve arkadaşları (2017) tarafından önerilen diğer bir sistemde, kapı kilidine gömülü WeMos D1 Wi-Fi birimi ve Firebase bulut mesajlaşma servisiyle iletişim kuran bir Android uygulaması kullanılarak, Wi-Fi protokolü ile kapı kilidi kontrol edilmektedir. Cep telefonu uygulaması, kapı kilit sistemine güvenli erişim için güvenli bir kullanıcı şifresi ile kişiselleştirilmiştir. Sistem kullanıcının kimlik bilgilerini doğrular ve ardından bulut tabanlı güvenli mesajlaşma servisini kullanarak mobil uygulama ara yüzüne bir OTP gönderir ve kapının açılıp açılmadığını kontrol eder [8]. Wi-fi teknolojisi ile birlikte görüntü işleme teknolojisi de kullanan diğer bir çalışmada Vaidya ve arkadaşları (2017) Python, OpenCV ve Android uygulamaları ve Raspberry Pi kartını kullanarak, bir akıllı ev otomasyon sistemi önermişlerdir. Sistem, Android uygulama aracılığı ile telefondan erişilebilen, ana kapının dışına monte edilmiş bir kameradan yüz tanıma dayalı olarak tasarlanmıştır. Bu çalışmanın en yenilikçi özelliğini, tüm cihazların kullanıcı sesiyle kontrol edilebilmesi oluşturmaktadır [9].

Sadece görüntü işleme kullanan, Kim ve arkadaşları (2013) tarafından yapılan çalışma, bir kapı telefonu aracılığıyla yabancı yüzleri daha verimli ve doğru bir şekilde tanımlamak üzere, hem yüz tanıma hem de ses yerelleştirme tekniklerini içermektedir. Özellikle, bir ziyaretçinin sesi konuşmacının doğru konumunu belirlemek için kullanılmaktadır. Daha sonra bu konum bilgisi kullanılarak, kapı telefonu kamerasının konumu güncellenmekte, görüş alanındaki yüz çerçevelenerek görüntü alınmaktadır. Ziyaretçinin yüz konumunu doğru bir şekilde bulmak için 4 ayrı mikrofon çapraz yapılandırılmaya yerleştirilmiştir. Ayrıca, ziyaretçiyi tanımak ve bilgileri ev sahibinin telefonuna göndermek için yüz algılama ve yüz tanıma algoritmaları ile kablosuz bir arabirim de kullanılmaktadır. Tüm kontrol sistemi bir FPGA yongası kullanılarak üretilmiştir ve kapı telefonu ortamlarında gerçek kullanım için test edilmiştir [10].

Bulut bilişim teknolojisi kullanan Faiz ve arkadaşları (2017) tarafından geliştirilen modelde, akıllı telefona kurulan bir Android uygulaması tarafından kontrol edilebilen bir akıllı kapı sistemi önerilmiştir. Kapının hareketini kontrol etmek üzere Raspberry Pi ve ilgili gömülü yazılım kullanılmaktadır. Hareket duyargaları, kapının önündeki herhangi bir hareketi tespit etmek için kullanılmaktadır. Herhangi bir kişi kapının önüne gelirse, algılayan duyarga tetiklenmekte, resim çekilerek ilgili kişilere bildirilmektedir [11]. Muthumari ve arkadaşları (2018) kamera özelliğine sahip akıllı telefonla kapıda bulunan kişi / kişilerin fotoğrafını çekerek, Wi-Fi yardımıyla kapının açılabilmesini sağlayacak bir sistem önermişlerdir. Yetkili kişi kapı önünün görüntüsünü görebilir, akıllı kapı kilidini açabilir veya bir cihazla da kilitleyebilir. Evin içinden Bluetooth ile kapının kilidini açmak mümkündür ve hatta çocuk veya yaşlı insanların Wi-Fi menziline oldukları durumda telefonla kapı kilidini açabilmeleri bazı özel durumlarda (felçli, engelli hastalar) oldukça faydalıdır. Bunun için ev üyelerinin uygulamayı kendi akıllı telefonlarına yüklemeleri yeterli olacaktır. Böylece, engellilerin kimseden

yardımla kapıyı açabilmesine ve normal bir yaşam sürebilmesine yardımcı olacaktır [12].

Diğer teknolojileri kullanan Park ve arkadaşları (2009) tarafından yapılan çalışmada, ev otomasyonu için akıllı bir dijital kapı kilit sistemi önerilmiştir. Burada önerilen kapı kilit sistemi, kullanıcı kimlik doğrulaması için RFID okuyucu, dokunmatik LCD, kapının açılması ve kapatılması için motor birimi, evin içindeki durumu tespit etmek için algılayıcı birim, iletişim birimi ve diğer birimleri kontrol etmek üzere kontrol birimlerinden oluşmaktadır [13]. Bir diğer uygulama ise, Lita ve arkadaşları (2017) tarafından yapılmış, burada akıllı evlerde erişim kontrolü amacı ile kullanılacak bir pnömatik (gaz basıncını mekanik harekete dönüştüren) kapı otomasyon sisteminin tasarımı ve örnek uygulaması sunulmuştur. Geliştirilen uygulamanın yapısı, selenoid valfli bir hava dağıtıcısı aracılığıyla kontrol edilebilen çift etkili bir silindiri süren bir pnömatik motor ve onu kontrol eden PIC 16F877A mikro-denetleyicisinden oluşmaktadır [14].

Bu araştırma kapsamında, açıklanan mevcut problem (kapıda anahtarsız kalma durumu) göz önüne alınarak güvenli bir akıllı kapı sistemi modeli önerilmiş ve uygulanmıştır. Geliştirilen Android "Kapıda Kaldım" sayesinde, kapının açılmasını isteyen kişi, Raspberry Pi üzerinde konumlanmış basit web servisi aracılığı ile kapı açma yetkisi olan kişi veya kişilere (sistemde tanımlanmış e-posta adresleri kullanılarak) kamera ile alınmış kapı resmini içeren bir e-posta gönderebilmektedir. Eğer kapı açmaya yetkili kişi gönderilen e-postadaki kişiyi doğrularsa, kapı Raspberry Pi üzerinde konumlanmış basit web servisinin, yetkili kişinin telefonunda bulunan "Kapıyı Aç" Android uygulaması ile çağırılması sonucu açılabilir. Web servisleri Raspberry Pi ile bağlantılı donanım cihazlarını (kamera, manyetik kilit) kontrol eden Python kodlarını çağırırlar. Önerilen model, çok katmanlı ve tamamen güvenilir bir sistem olarak tasarlanmış, ayrıca pratik olarak uygulanabilmesi için maliyeti minimum tutulmuştur.

Bu makalenin geri kalan kısmı, 2. bölümün de ilgili kavramlar, 3. bölümünde sistem tasarım modeli ve 4. bölümde sonuç ve gelecekteki çalışmalardan olacak şekilde düzenlenmiştir.

2. İlgili Kavramlar

2.1. Nesnelerin İnterneti (İnternet of Things-Iot)

Nesnelerin İnterneti, kablosuz telekomünikasyon cihazlarının yeni bir bağlantı şeklidir. Akıllı telefonlar, Akıllı şehirler, Akıllı cihazlar ve akıllı bir dünya IOT'nin akıllı vizyonudur. IOT'nin temel amacı günlük yaşamımızda ortak bir husustur ve kullanıcıların davranışlarına bağlı olarak gelişmektedir. [15].

Çalışmada IoT ağı kapıda kalan kişinin cep telefonu, kapı açma yetkisi olan kişinin cep telefonu ve mini bilgisayardan (Raspberry Pi) oluşmaktadır. Cep telefonları IoT cihazı olabilmek için özel bir ağa (VPN), geliştirilmiş bir Android uygulaması ile bağlanabilmektedirler. Bu uygulama ayrıca kullanıcıdan yetki

bilgilerinin (kullanıcı adı ve şifre) alınmasını zorunlu kılarak güvenliği üst düzeye çıkarmaktadır.

2.2. Akıllı Ev (Smart Home)

Akıllı ev, otomatik işlevleri olan ve kullanıcı tarafından uzaktan kontrol edilebilen sistemlere sahip cihazları içerir. Akıllı bir evin temel amacı, ev sakinleri için konfor, enerji tasarrufu ve güvenliği arttırmaktır. [16]. Çalışmada, ev kapısının uzaktan kontrol ile açılması üzerine "akıllı ev" uygulaması örneklenmiştir. Uzaktan kontrol için internet alt yapısı kullanılmaktadır. İnternete bağlı olan bir cep telefonu ve kapıyı kontrol eden bir elektronik kart (Raspberry Pi) ile çözüm sunulmaktadır.

2.3. Akıllı Kapı (Smart Door)

Akıllı kapı, dijital kod, şifreler, tarama ve parmak izi taraması, göz taraması veya retina taraması gibi tanıma faktörleri temelinde çalışan bir yapıdır [17]. Çalışmada ele alınan akıllı kapı modelinde fiziksel temas söz konusu değildir. Bunun yerine akıllı kapı uzaktan yetki kullanarak kumanda edilebilen (açılıp/kapatılabilen) bir sistemdir. Çalışmanın sınırları ise sadece kapının açılma özelliğini kullanmaya yönelik olarak belirlenmiştir.

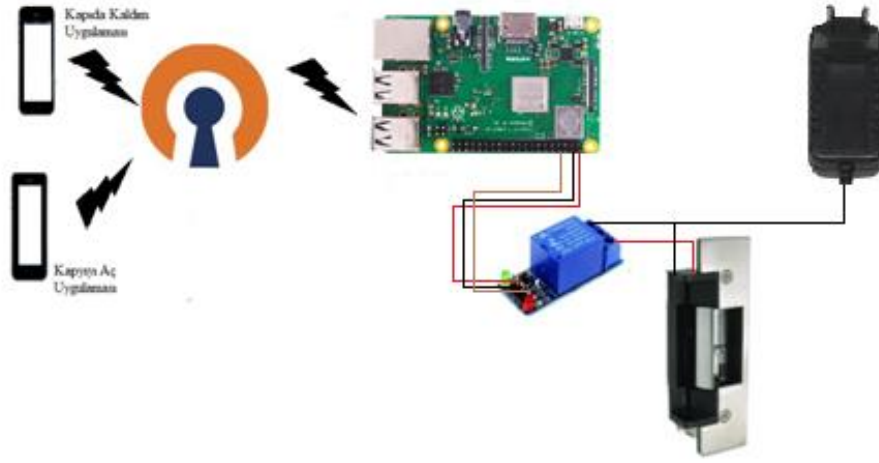
2.4. Raspberry Pi

Raspberry Pi, düşük maliyetli, mini bir bilgisayardır [18]. Çalışmada, bu bilgisayar üzerine Raspbian işletim sistemi ve Apache sunucu yüklenmiştir. Bu sayede internet istemleri web sunucu üzerinde bulunan web servisleri kullanılarak ve kapı kontrolü ise Python dilinde kodlanmış uygulamalar aracılığı ile yürütülmektedir.

3. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada önerilen sistem, kapıda kalan bireyin (çocuk, yaşlı, bakıcı) akıllı cep telefonunda bulunan Android uygulama sayesinde kapı açılma isteğinde bulunabilmesi, ev sahibi konumunda bulunan yetişkin bireyin (anne, baba) akıllı cep telefonunda bulunan diğer bir Android uygulama sayesinde kapıyı açabilmesi üzerinedir. Çok katmanlı yapı ile kapı gibi önemli bir donanım üzerinde maksimum güvenlik sağlanmaya çalışılmıştır.

Sistemin detaylı uygulama süreci, kapıdaki kişinin telefonunda bulunan Android uygulama ile ev sahibine (genellikle ebeveyn) kapının açılması için istekte bulunması ile başlar. Bu istek, Raspberry Pi üzerindeki PHP Web servisinin uyarılması ve Python ile kodlanmış yazılım kullanılarak kamera görüntüsünün ev sahibine mail olarak gönderilmesi ile devam eder. Nihai olarak, ev sahibinin telefonunda olan diğer Android uygulama ile onay verilirse Raspberry Pi üzerindeki diğer PHP Web servisinin uyarılması sonucu elektrikli kapı kilidine yeterli gerilim verilerek kapının açılması ile sonlanır. Akıllı cep telefonları ve Raspberry Pi güvenli bir şekilde veri alışverişi yapabilmesi için OpenVPN kullanılmıştır. Genel sistem şeması Şekil 1'de gösterildiği gibidir.



Şekil 1. Sistemin genel yapısı.

Sistem üzerinde çok farklı donanım ve yazılım ürünleri kullanılmıştır. Akıllı kart olarak Raspberry Pi B+ modeli belirlenmiştir. Bu mini bilgisayar projede kullanabilmek için, sırasıyla aşağıdaki adımlar uygulanmıştır:

1. Raspbian işletim sistemi kurulmuştur.
2. Web kameradan fotoğraf almak için OpenCV kurulumu yapılmıştır.
3. Çekilen fotoğrafı Raspberry Pi'den göndermek için projeraspberry@gmail.com isimli e-posta adresi tanımlanmıştır.
4. Gönderilen e-postayı ev sahibinin alması için proje.human@gmail.com isimli e-posta adresi alınmıştır.
5. Raspberry Pi ile, akıllı cep telefonunda bulunan Andorid Studio üzerinde geliştirilen uygulama yazılımının birbirleriyle iletişim kurabilmesi için Apache (web sunucu), Myadmin ve Flask kurulmuştur.
6. IoT ağındaki cihazların güvenilir bir şekilde iletişim sağlamaları için OpenVpn kurulmuştur. OpenVpn hem akıllı cep telefonlarına hem de Raspberry Pi'ye kurulmuştur.

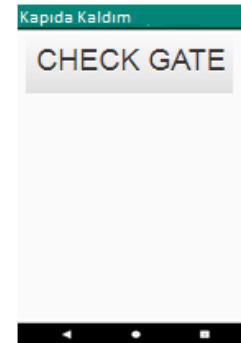
Ayrıca Android uygulamalarında yer alan kullanıcı ve şifre girişlerine ait panel bilgilerinin kontrolü için Firebase veri tabanı kurulmuştur. Kapının açılması esnasında Raspberry Pi'yi yüksek akımlara karşı korumak için bir röle kullanılmıştır.

Android uygulamalarında güvenliği artırmak üzere e-posta ve şifre giriş paneli tasarlanmıştır. Bu basit ekranın görüntüsü Şekil 2'de gösterildiği gibidir. Benzer yetkili giriş ekranı "Kapıda Kaldım" Android uygulaması içinde kullanılmaktadır.



Şekil 2. "Kapıyı Aç" android uygulaması giriş paneli.

"Kapıda Kaldım" Android uygulamasında e-posta ve şifre doğrulaması olduktan sonra Şekil 3'de gösterildiği gibi basit ekran görüntülenir. Burada yer alan "CHECK GATE" düğmesine basılınca Algoritma 1'de gösterildiği gibi kapıdaKaldim.php web servisi çalışır. Bu servis Raspberry Pi üzerindeki Python kodunu çağırır. Kapı önünün kameradan görüntüsü alınarak kapıdaGoruntu.jpg olarak kaydeden Python kodu Algoritma 2'de gösterildiği gibidir.



Şekil 3. Kapı açılması için istek gönderme paneli.

```
<?php
try
{
    exec("sudo python3
pinKontrol.py");
}
```

```

        echo 'Request is
succesfully';
    }
    catch (Exception $e)
    {
        echo $e-
    }
?>
>getMessage();

```

Algoritma 1. kapidaKaldim.php servisi.

```

camera = cv2.VideoCapture(0)
return_value,image =
camera.read()
cv2.imwrite(kapidaGoruntu.jpg',
image)
camera.release()
cv2.destroyAllWindows()
fileLocation='/home/pi/Desktop/
ornek/ kapidaGoruntu.jpg'
email='proje.raspberry@gmail.c
om'
password='proje.deney'
sendToMail='proje.human@gm
ail.com'
subject='Kapda ki kim'
message='Resmi kontrol et! -
http://10.8.0.9/
kapidaKaldim.php'
fileLocation='/home/pi/Desktop/
ornek/ kapidaGoruntu.jpg'
msg=MIMEMultipart()
msg['From']=email
msg['To']=sendToMail
msg['Subject']=subject
msg.attach(MIMEText(message,
'plain'))
print(msg)
fileName=" kapidaGoruntu.jpg"
attachment =
open(os.getcwd()+'/
kapidaGoruntu.jpg', "rb")
part = MIMEBase('application',
'octet-stream')
part.set_payload(attachment.rea
d())
encoders.encode_base64(part)
part.add_header('Content-
Disposition',"attachment;fileNa
me=%s"
%fileName)
msg.attach(part)
server=smtplib.SMTP("smtp.gm
ail.com",587)
print(server)
server.starttls()
server.login(email, password)
text=msg.as_string()
server.sendmail(email,
sendToMail,text)
server.quit()

```

Algoritma 2. Kapı önü kamera görüntüsü alma kodu ve e-posta gönderme kodu.

Raspberry Pi'de kapidaGoruntu.jpg olarak kaydedilen fotoğraf proje.raspberry@gmail.com e-posta adresinden yetişkin bireyin (anne, baba) kullandığı proje.human@gmail.com e-posta adresine gönderilir. Web servisi ile veri iletişimi sağlamak istendiğinden Raspberry Pi 'de 5000 portu açılır ve bu porttan veri alınıp, gönderilir. Raspberry Pi üzerinde Flask ile entegre çalışan Algoritma 3' de gösterildiği gibi Python kodları 5000 portuna gelecek taleplerin değerlendirilmesi için kullanılmıştır.

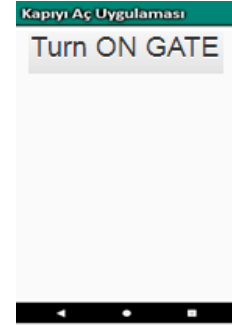
```

if __name__ == "__main__":
app.debug=True
app.run(host='0.0.0.0',
port=5000)

```

Algoritma 3. Raspberry Pi'ye gelen taleplerin değerlendirilmesi

E-posta ile gelen kapidaGoruntu.jpg resmindeki bireyin tanıdık bir kişi olduğu yetkili kişi tarafından anlaşıldığında, kendi cep telefonunda bulunan “Kapıyı Aç” Android uygulamasını kullanır. Şifre giriş panelinden doğru bilgileri girdiğinde, Şekil 4'de gösterildiği gibi "TURN ON GATE" düğmesini içeren ekran karşısına gelir. Bu düğmeye basıldığında Algoritma 4' de gösterildiği gibi kapiyiAc.php web servisi çalışır. Bu web servisi Raspberry Pi üzerindeki Algoritma 5' gösterildiği gibi verilen Python kodunu çağırır. Kod incelendiğinde görüleceği üzere, 7. pin'e verilen gerilimle elektrikli kapı kilidi açılmış olacaktır. 5V'luk röle Raspberry Pi' nin kapı açılma esnasında maruz kalabileceği yüksek akım zararlarından korunması için kullanılmıştır.



Şekil 4. Kapı açılması için istek gönderme paneli.

```

<?php
    try{
        exec("sudo
python kapiyac.py");
        echo
'SUCCESSFULLY OPEN
THE GATE';
    }
    catch (Exception $e)
    {
        echo $e->getMessage();
    }
?>

```

Algoritma 4. kapiyiAc.php web servisi.

```

pin = 7

gp.setmode(gp.BOARD)

```



```

gp.setup(pin,
gp.OUT)
def kapi_acik(pin):
gp.output(pin,
gp.HIGH) def
kapi_kapali(pin):
gp.output(pin,
gp.LOW)
gp.cleanup()
print('kapali')
if __name__ ==
'__main__':
try:
time.sleep(1)
except
KeyboardInterrupt:
gp.cleanup()

```

Algoritma 5. Kapı açma.

4. Sonuç ve Öneriler

Önerilen sistem modelinin bir prototipi Şekil 5'de görülmektedir. Sistemin maksimum güvenli olması amacı ile çeşitli teknik çözümler entegre edilmiştir. Örneğin, özel e-posta kullanılarak kapıdaki kişinin görüntüsü güvenli bir biçimde iletilmektedir. Daha da önemlisi, her iki kullanıcı tipi için bağımsız Android uygulamaları geliştirilmiş, yetki girişleri bağımsız kılınmıştır.



Şekil 5. Önerilen sistem prototipi.

Ayrıca günümüzde siber saldırıların artmasından dolayı, IoT cihazları için güvenlik önlemlerinin alınması zaruri olmuştur. Bu amaçla, internet ağı üzerinden gelebilecek olası saldırılardan korunmak üzere özellikle VPN kullanılmıştır. OpenVPN noktadan noktaya bağlantı kurduğu ve gönderilen veriler şifrelediği için kullanılmıştır.

Önerilen model, sunduğu üst düzey ve katmanlı güvenlik mimarisinin yanı sıra, maliyet olarak pratik biçimde uygulanabilir. Mevcut piyasa koşullarında, Raspberry pi B+ modelin 320 TL, elektrikli kapı kilidi 60 TL, 12V adaptör 20 TL, röle kartı 5 TL olarak ele alındığında, toplam fiyat yaklaşık olarak 405 TL olmaktadır. Sonuç olarak, sadece ev için değil iş yerleri içinde kullanılabilir.

Uygulamanın dezavantajı olarak görülebilecek en önemli unsurlar internet bağlantısının kopması veya elektriğin gitmesi olarak düşünülebilir. Aktif enerji tüketimi az olduğundan, elektrik kesintilerine karşı önlem olarak maliyeti düşük bataryalar kullanılabilir.

Kaynakça

- [1] Selvarasu R, Nehru P, Selvarasu R. (2015). Android mobile based home security and device control using GSM. Sponsored 2nd International Conference on Innovations in Information Embedded and Communication Systems (ICIIECS) 2015 (pp. 1-5) IEEE.
- [2] Han D, Kim H, Jang J. (2017) Blockchain based smart door lock system. 2017 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC) 2017 (pp. 1165-1167) IEEE.
- [3] Hadis MS, Palantei E, Ilham AA, Hendra A. (2018) Design of smart lock system for doors with special features using bluetooth technology. 2018 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT) 2018 (pp. 396-400) IEEE.
- [4] Arifin R, Sarno R. (2018) Door automation system based on speech command and pin using android smartphone. 2018 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT) 2018 (pp. 667-672) IEEE.
- [5] Adalan K, Erkmen B. (2016) Face recognition, nfc and voice controlled door lock system. 2016 National Conference on Electrical, Electronics and Biomedical Engineering (ELECO) 2016 (pp. 696-700) IEEE.
- [6] Kavde S, Kavde R, Bodare S, Bhagat G. (2017) Smart digital door lock system using bluetooth technology. 2017 International Conference on Information Communication and Embedded Systems (ICICES) 2017 (pp. 1-4) IEEE.
- [7] Mrinal M, Priyanka L, Saniya M, Poonam K, Gavali AB. (2017) Smart Home – Automation and Security System Based on Sensing Mechanism 2017 Second International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT) 2017 (pp. 1-3) IEEE.
- [8] Tilala P, Roy AK, Das ML. (2017). Home Access Control through a Smart Digital Locking-Unlocking System. 2017 IEEE Region 10 Conference (TENCON) 2017 (pp. 1409-1414) IEEE.
- [9] Vaidya B, Patel A, Panchal A, Mehta R, Mehta K, Vaghasiya P. (2017). Smart home automation with a unique door monitoring system for old age people using Python, OpenCV, Android and Raspberry pi. 2017 International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS) 2017 (pp. 82-86) IEEE.
- [10] Kim T, Park H, Hong SH, Chung Y. (2013). Integrated system of face recognition and sound localization for a smart door phone. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 59(3), 598-603.
- [11] Aman F, Anitha C. (2017) Motion Sensing and Image Capturing based Smart Door System on Android Platform. 2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS) 2017 (pp. 2346-2350) IEEE.
- [12] Muthumari M, Sah NK, Raj R, Saharia J. (2018) Arduino based Auto Door unlock control system by Android mobile through Bluetooth and Wi-Fi. 2018 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC) 2018 (pp. 1-4) IEEE.
- [13] Park YT, Sthapit P, Pyun JY. (2009) Smart Digital Door Lock for the Home Automation. 2009 IEEE Region 10 Conference 2009 (pp. 1-6) IEEE.
- [14] Lita AI, Visan DA, Mazare A G. (2017) Door Automation System for Smart Home Implementation. 2017 23rd

- International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME) 2017 (pp. 345-348) IEEE.
- [15] Tyagi V, Kumar A. (2017) Internet of Things and social networks: A survey. 2017 International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA) 2017 (pp. 1268-1270).
- [16] Stefanov DH, Bien Z, Bang WC. (2004) The smart house for older persons and persons with physical disabilities: structure, technology arrangements, and perspectives. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, 12(2), 228-250.
- [17] Aman F, Anitha C. (2017) Motion Sensing and Image Capturing based Smart Door System on Android Platform. 2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS) 2017 (pp. 2346-2350) IEEE.
- [18] Yamanoor NS, Yamanoor S. (2017) High Quality, Low Cost Education with the Raspberry Pi. 2017 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC) 2017 (pp. 1-5) IEEE.



Sulama/İlaçlama Robotu için Nesne Tanıma Çalışmaları

Haluk Özgen^{1*}, Metin Turan²

¹ İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3645-8761)

² İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1941-6693)

(Bu yayın 26-27 Haziran 2020 tarihinde HORA-2020 kongresinde sözlü olarak sunulmuştur.)

(DOI: 10.31590/ejosat.1115830)

ATIF/REFERENCE: Özgen, H. & Turan M. (2021). Sulama/İlaçlama Robotu için Nesne Tanıma Çalışmaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue), 25-33.

Öz

Yapay zekâ ve buna bağlı alt çalışma konularındaki bilimsel yöntemler, neredeyse her alanda yaygın biçimde kullanılmaktadır. Özellikle savunma sanayi ve tarım bu alanların en cazip uygulama merkezlerini oluşturmaktadırlar. Tarımda veya bahçelerde kullanılmak üzere daha önce geliştirmiş olduğumuz sulama ve ilaçlama prototip mobil robotumuzun, nesne (ağaç veya değil) tanıma kısmında yeterli düzeyde başarılı neticeler alınamamıştı. Bu çalışmada, bu mobil robot ile gerçek zamanlı görüntüler üzerinde karmaşık (asimetrik) yapıya sahip bitki nesnelерinin tanınması ve bu tanıma sonucuna göre ilaçlama mekanizmasının tetiklenmesinin başarımını artırılmıştır. Bitki nesnelерinin tanınması amacı ile Viola-Jones nesne tanıma algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma ile yapılan eğitim ve parametrik düzenlemeler sonucunda elde edilen modelin 5 farklı senaryo yolu üzerinde sınanması sonucunda, mobil sulama/ilaçlama robotunun görme yetisi ve bitki nesnelерini tanıma başarısının yaklaşık olarak %96.5 gibi oldukça yüksek bir düzeye çıkarıldığı görülmüştür. Ayrıca, ihtiyaç dolayısı ile uygulanan, herhangi bir nesneye ait görüntü eğitim setinin oluşturulmasına yönelik hızlı ve kolay bir yöntemin detayları makalede açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mobil robotlar, nesne tanıma, görüntü seti oluşturma, yapay zeka, akıllı sistemler

Object Recognition Studies for Irrigation/Medication Robot

Abstract

Scientific methods in artificial intelligence and related sub-studies are widely used in almost every field. Defense industry and agriculture are the most attractive application areas of these fields. Sufficient successful results could not be obtained in the object (tree or not) recognition part of our irrigation and spraying prototype mobile robot, which we developed earlier for use in agriculture or gardens. In this study, with this mobile robot, the performance of the identification of complex (asymmetric) plant objects on real-time images and the triggering of the spraying mechanism according to this recognition result has been increased. Viola-Jones object capture algorithm was used to identify plant objects. As a result of the testing the model obtained through the training and parametric arrangements made to this algorithm on 5 different scenario paths, it has been observed that the success of recognizing plant objects and vision ability of the mobile irrigation/medication robot has been increased to a very high level of approximately 96,5%. In addition, the details of a quick and easy method for creating an image training set for any object that is applied due to need are explained in the article.

Keywords: Mobile robots, object detection, creating image set, artificial intelligence, smart systems.

1. Giriş

Şüphesiz ki, nesne tanıma algoritmalarının en popüler olanı yapay sinir ağları olmakla birlikte, beraberinde bir takım uygulanabilirlik problemlerini de getirmektedir. Birçok alanda ve farklı veriler üzerinde büyük doğruluk oranlarına sahip olsa da, yapısal mantığı ve çok katmanlı mimarisi ile büyük sistem kaynaklarına ihtiyaç duymaktadır. Ancak mobil sistemler bazında düşünüldüğünde, bu durum ciddi performans problemlerine neden olmaktadır. Hızlı ve pahalı sistemler için iyi bir çözüm yolu olmasına rağmen, daha küçük sistem kaynaklarına sahip sistemlerde uygulanması zordur. Çünkü elektronik alt yapının zayıf olduğu sistemlerde, verilerin yavaş işlenmesinden kaynaklı, gecikmeli sonuçlar elde edilmektedir. Uygulanan yere ve zamana göre memnuniyet faktörü değişebilir ancak her durumda hızlı analiz avantaj sağlamaktadır. Özellikle görüntü işleme ve nesne yakalama gibi büyük iş gücü gerektiren uygulamalarda güçlü sistemlerin kullanılması kaçınılmazdır. Güçlü sistemler büyük maliyetler getireceğinden sistem tasarımları büyük önem taşımaktadır.

Çalışma kapsamında görüntü işleme yöntemi olarak, yapay sinir ağı algoritmaları yerine Viola-Jones (VJ) nesne tanıma algoritması kullanılmıştır. VJ algoritması, yapay sinir ağlarının aksine daha az işlem gücü ve sistem kaynağına ihtiyaç duyar. Buna bir gösterge olarak, kayan noktalı sayılar yerine tam sayılar üzerinde işlemler yapılması verilebilir. Bilineceği üzere işlemci için tam sayıların toplanması ve çıkartılması çok hızlı gerçekleşir. Gerçek zamanlı uygulamada VJ nesne tanıma algoritması ile yüksek doğrulukta sonuçlara ulaşılabilir. Algoritmanın ana teması daha çok yüz tanıma üzerine kurulmuş olsada, sonraki yıllarda yapılan farklı araştırmalar bu algoritmanın birçok farklı nesne üzerindeki başarısını ortaya koymuştur. Örneğin, Liu Yun ve Zhang Peng yapmış oldukları çalışmada [1], VJ metodunu SVMs ile harmanlayarak insan eli ve onun farklı durumlarını gerçek zamanlı olarak tanıyabilen sistem geliştirmişlerdir. Bu çalışmaya göre, ağ üzerinde bulunan bir veya daha fazla bilgisayarın uzaktan kontrol (remote control) edilebilmesi sağlanmıştır. İnsan elinin farklı hareketlerine yönelik bilgisayarın açılması veya kapatılması tetiklenmektedir.

Bir farklı bakış açısı ile Ramana Isukapalli ve ekibi çalışmalarında [2], VJ nesne tanıma algoritmasına ek olarak kendi geliştirmiş oldukları çok sınıflı algılama algoritmasını (multi-class detection algorithm) uygulayarak, ilgili nesnelerin tanınmasındaki performans ve doğruluk değerlerini göstermişlerdir. Bu çalışmada vurgulanması gereken önemli kısım, tek bir görüntü içinde barınan farklı türlerdeki nesnelerin tanınması ve etiketlenmesidir. Bilindiği üzere aynı ekosisteme dahil olmayan nesnelerin oluşturduğu veri kümesi, VJ nesne tanıma algoritmasının standart sapmasını artıracığından mantıklı bir yaklaşım olmamaktadır. Çalışmada kullanılan otomobil, motosiklet, yapraklar ve insan yüzleridir. Bu dört sınıfa ait oluşturulan tek bir veri kümesi ile elde edilen sonuçlar VJ nesne tanıma algoritmasının doğruluk değerini düşürecektir. Ancak her bir nesnenin oluşturduğu veri kümeleri için elde edilen sınıflandırıcı ile gerçek zamanlı tanıma işlemi performans kayıplarına yol açacaktır. Yapılan çalışmada bu probleme ilişkin çözüm algoritması ve doğruluk değerine ilişkin yapılan test sonuçları deneysel olarak verilmiştir.

VJ nesne tanıma algoritmasının farklı bir veri kümesi üzerinde uygulaması olan Mohammad Mahdi Moghimi ve

arkadaşlarının geliştirdikleri çalışma [3], taşıtların karayolları üzerindeki izleme kameralarından yakalanması üzerinedir. VJ nesne tanıma algoritmasına eğitim seti olarak sunulan pozitif görseller taşıtların ön yüzlerinden belli açılarda çekilen fotoğraflardan sağlanmıştır. Belli bir simetri ve benzerliğe sahip taşıtların bu alandaki kullanılabilirliğini çarpıcı olarak göstermişlerdir. Önerilen algoritma ile taşıtların hem ön hem arka yüzlerinden elde edilen veri setlerinden, çok sınıflı algılama algoritması kullanılarak tek bir izleme kamerası ile iki yönlü akışı kontrol edebilen taşıt tanıma algoritması geliştirilebileceğinden bahsedilmiştir. Çalışmada, farklı ışık şiddeti şartları altında elde edilen bulgulara ve bunlara ilişkin sonuçlara değinilmiştir. Aynı veri setleri üzerinde uyguladıkları farklı algoritmaların sonuçlarını ve ilişkilerini sunmaktadır. VJ nesne tanıma algoritmasını miras alarak yaptıkları uygulamada elde edilen doğruluk değeri çarpıcı biçimde yüksektir. Farklı ışık şiddeti oranları ve kalitelerde alınan videolar üzerindeki doğruluk değerlerinin %94'e kadar artırıldığı belirtilmiştir.

Bir dizüstü veya masaüstü bilgisayar için VJ nesne tanıma süreci çok kısa süreler içerisinde gerçekleştirilebilirken, gömülü sistemler için büyük bir performans sorunu haline gelebilir. Bu bağlamda yapılan bir çalışma, Moad. Benkiniouar ve Mohamed Benmohammed tarafından yayınlanmıştır [4]. Düşük güç tüketimine ve düşük performansla sahip sistemlerde VJ nesne tanıma algoritması esas alınarak bir optimizasyon algoritması tasarlanmıştır. Yayınlarında dile getirilen; performans kayıpları gelişen elektronik tabanlı çevre birimleri sayesinde giderilecektir. Ancak ufak ölçekli sistemlerde halen uygulanabilirliği yetersiz kalmaktadır. Algoritmanın eğitim aşamaları, eğitimin yapıldığı sistemler ve modeller ve elde edilen sonuçlar detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir.

Birçok görüntü işleme probleminde olduğu gibi, yüksek başarı oranının yanı sıra bir miktarda yanlış değerlendirme oranı vardır. Kullanılan alana ve bölgeye göre farklılıklar göstermekle birlikte, başarı oranları belli bir ölçüde memnuniyet sağlamaktadır. Yasaman Heydarzadeh, Abolfazl Toroghi Haghghat ve Nazila Fazeli çalışmaları sonucunda geliştirmiş oldukları modelin [5], VJ nesne tanıma algoritmasına göre dört kata kadar daha hızlı olduğunu ve doğru-yanlış oranını %10'dan, %2.4'lere kadar düşürdüğünü belirtmişlerdir. Ayrıca yüzünü içeren fotoğraflarda yüze ait olan içeriklerin tanınmasına yönelik bir çalışma sunulmuştur. Bilindiği üzere VJ nesne tanıma algoritmasının asıl hedef noktası insan yüzü tespitine yöneliktir. Bu çalışma VJ nesne tanıma algoritmasını temel almış ve yine insan yüzü tanıma üzerine bir çalışma olmuştur.

Rapee Krerngkamjornkit ve Milan Simic 2013 yılında yapmış oldukları çalışmada [6], VJ nesne tanıma algoritması kullanarak, video verisi üzerinde gerçek zamanlı insan vücudu tanıma algoritması geliştirmişlerdir. Makalelerinde, insan vücudunun gerçek zamanlı sistemlerinde kullanılan algoritmaların performans ve maliyetlerinden bahsetmişlerdir. Bu nedenle performans kayıplarına çözüm olarak çalışmalarında VJ nesne tanıma algoritmasını miras almışlar ve video verisi üzerinde etkin rol üstlendiğini vurgulamışlardır.

Dewiani Djmaluddin ve arkadaşları trafik yoğunluğunu ölçebilmek için VJ nesne tanıma algoritmasından faydalanmışlardır [7]. Özellikle benzer ve simetrik içeriklere sahip taşıtların ön kısımlarından alınan az sayıda örnek fotoğraflar ile %92 başarılı tespit oranına erişilmiştir.

Birçok çalışmada belirtildiği üzere, makine öğrenmesinin ve nesne tanıma metodlarının renk, ışık şiddeti, şeklin karmaşıklığı gibi faktörlerden etkilenebileceği belirtilmiştir. Bu durum, VJ nesne tanıma algoritması için de geçerlidir. Yongzheng Xu ve diğerleri ilgili nesnelerin tanınmasında, nesnelerin görüntü düzleminde farklı rotasyonlarda bulunması ya da eğitim verisine göre farklı yönlerde görsellerinin elde edilmesinin, tanıma oranını büyük ölçüde düşüreceğini bildirmişlerdir [8]. Ancak VJ nesne tanıma algoritmasının orijinaline sadık kalarak bu problemin çözülebilir olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca insansız hava aracı (UAV) üzerinde otoyol trafik kontrolü ve taşıt yoğunluğunun tespitine yönelik çalışmalarında, havadan aldıkları görüntülerde açı değişiminden dolayı kaynaklanan doğruluk kayıplarını ele almışlardır. VJ nesne tanıma algoritmasında nesnelerin düzlemdaki yönelimlerdeki değişiminin getirdiği negatif sonuçlar, bir ek algoritma (yön düzenleme metodu) ile giderilmiştir.

Bu alanların dışında ilginç bir uygulama olarak toplumsal gelişimi olumsuz etkileyen pornografik görsellerin henüz görüntülenmeden önce tespit edilip soldurulması veya sansürlenmesi örneği verilebilir. Özellikle toplumun genç bireylerinin gelişimini ve yönelimlerini olumsuz etkilemekte olan pornografik içeriklerin engellenmesine yönelik güzel bir çalışma örneği Muhammad R Wiratama ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilmiştir [9]. Gelişen internet ağı ve hızlanarak artan görsel içerik sayısının içinde barındırdığı olumsuz örneklerin giderilmesi veya önceden önlenmesi için farklı ırklara mensup insanlardan alınan cinsiyet belirleyici örnekler VJ nesne tanıma algoritması yardımıyla eğitilip, sınıflandırıcı elde edilmiştir. Ayrıca ten dedektörü algoritması (Skin Detector) yardımı ile odak noktaların renk uzayını daha net hale getirerek algoritmanın doğruluk performansı artırılmıştır.

VJ nesne tanıma algoritması kullanılarak, insan yüzü üzerinde ifade ve duygu tespiti de çalışılmıştır. Kartika Candra Kirana, Slamet Wibawanto ve Heru Wahyu Herwanto makalelerinde [10] VJ nesne tanıma algoritmasının gerçek zamanlı uygulamalarda hızlı ve yüksek seviyelerde doğruluk değerine sahip olduğunu belirtmişlerdir. VJ nesne tanıma algoritmasını, insan yüzündeki ifade belirten özelliklerle eğitmişlerdir. Ek olarak daha önce yaptıkları benzer çalışmayı, VJ nesne tanıma algoritması ile karşılaştırmış ve fark edilir şekilde iyi sonuçlar aldıklarını vurgulamışlardır.

Ancak bazı durumlarda, VJ nesne tanıma algoritması olumsuz yönde etkilediğinden doğruluğu düşebilmektedir. VJ nesne tanıma algoritmasının en önemli kısmı olan Adaptive Boosting Algoritmasıdır. Bu algoritmaya sunulan ilgili örneklerin düzgün seçilmiş olması, sınıflandırıcı oluşumunu birincil dereceden etkilemektedir. Düzgün ve belirgin içeriklerle beslenemeyen algoritmanın eğitilmesi önce sınıflandırıcıyı, sonra şelale (cascade) zincirini olumsuz yönde etkileyecektir. Pooya Tavallali, Mehran Yazdi ve Mohammad Reza Khosravi makalelerinde, sunulan eğitim verilerinin verimsizliği ve tutarsızlığı, VJ nesne tanıma algoritmasının negatif yönde sonuçlar doğuracağını belirtmişlerdir [11].

VJ nesne tanıma algoritması benzerliği fazla olan nesnelere ait eğitim setlerinde oldukça iyi performans ve doğruluk seviyelerine ulaşabilir. Ancak farklı görüntü ve karmaşık yapılarda doğruluğu düşmektedir. Buna ek olarak eğitim verileri ve nesnelerinin belirgin olması performansı çok etkilemektedir. Benny Hardjono ve diğerleri, VJ nesne tanıma algoritmasının

performans ve doğruluk değerlerini, farklı görüntü işleme algoritmaları yardımıyla ölçmüşlerdir [12]. Ayrıca derin öğrenme algoritması kullanılarak (YOLO), VJ nesne tanıma algoritması ile karşılaştırmasını da yapmışlardır.

Gerçek zamanlı çalışmalarda hızlı tanıma işlemi önemli olduğu kadar, hata oranının da az olması büyük önem taşımaktadır. Yukarıda bahsi geçen çalışmalar, VJ nesne tanıma algoritmasının hem doğruluk değerleri hem de gerçek zamanlı uygulamalardaki performansını değerlendirilmiştir. Genel kanı VJ nesne tanıma algoritmasının hızlı sonuçlar verebildiği yönündedir. Ancak doğruluk değeri bakımından oran yüksek olmakla birlikte hata oranı da küçümsenecek kadar düşük değildir. Yüz tanıma üzerine, VJ nesne tanıma algoritmasına dayalı ve doğruluğun artırılmasına yönelik bir çalışma Lu Wen-yao ve Yang Ming [13] tarafından yapılmıştır. Makalelerinde, ilgili nesnelerin tanınması esnasında, kameranın görüntü aldığı açı ile ilgili nesnelerin arasına giren katı yapıları nesnelerin, nesne tanınmasındaki doğruluğu büyük ölçüde azalttığını belirtmişlerdir. Makalelerinde yüz nesnesi ele alındığından, bir kupa veya Çin toplumuna has yemek çubuklarının insan yüzünün önüne geçtiği anda VJ nesne tanıma algoritmasının doğruluğunu büyük ölçüde düşürdüğünü deneysel gözlemlere dayalı olarak bildirmişlerdir. Ancak, VJ nesne tanıma algoritmasının başka algoritmalar ile kombine edilebilir olması onun bu zafiyetini ortadan kaldırmaktadır. Orijinal VJ nesne tanıma algoritmasının ve bu algoritmaya pekiştirici bir yaklaşımla geliştirdikleri algoritmanın karşılaştırmasını yapmışlardır. Composite Feature yaklaşımı ile VJ nesne tanıma algoritmasının doğruluğu artırılmıştır.

2. Viole Jones Algoritmasının Analizi ve Belirgin Özellikleri

Eğitim aşamasını oluşturan veri seti örneklerinin belirgin ve kaliteli olması, ilgili nesnelere alınan örneklerin aynı tür aileden olması, eğer nesnelere karmaşık türden ise örneklerinin sıkıştırılmaması nesne tanıma algoritmasının doğruluğunu pozitif yönde etkileyecektir. Çünkü tutarsız şekilde alınan her örnek zayıf sınıflandırıcı seti oluşturulmasında sapmalara neden olacaktır. Sıkıştırılan örnek görsellerinde meydana gelen kayıplardan dolayı ilgili nesnenin içeriklerinin kaybolmasına sebebiyet verecektir. İlgilenilen nesnenin cinsine göre içeriklerin önemi farklılık gösterebilir. Detaylar önemli içerikleri temsil ediyorsa, sıkıştırma işlemi eğitimi olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca sıkıştırılan nesne örnekleri sıkıştırılırken aynı orantılarda olacak şekilde sıkıştırılmalıdır. Orantısız sıkıştırılmalar zayıf sınıflandırıcı seçilmesi esnasında standart sapmayı artıracaktır. Tanınması istenen nesneden elde edilen ilgili örüntüler eğitim aşamasında sunulduğunda 24x24 piksel için 160 bin civarında Haar-Like içerikleri sunulur. Haar-Like içeriklerinin seçilmesi ve VJ nesne tanıma çerçevelerinin oluşturulması Adaptive Boosting algoritması sayesinde gerçekleştirilir. Nesnelere alınan 50x50 piksellik örnekler 24x24 piksellik vektör formatına dönüştürüldüğünde kayıplar meydana gelir. Bu nedenle nesneden alınan örüntünün bileşenleri önem arz ediyor ise sıkıştırılmadan eğitime sunulması gerekir. Ayrıca nesneden alınan örneklerin boyutsal oranları sabit olursa her örnek için daha etkin eğitim koşulu sağlanır. Örnek verilirse, her bir nesneden alınan örneklerin kare özelliği taşırsa, vektör formata dönüştürülürken kare özelliği korunacak ve ölçeklendirmeden doğan içerik sıkıştırması olmayacaktır. Bu

sayede belirlenen 24x24 piksellik vektör çerçevesi altında kayan VJ nesne tanıma çerçevelerinin boyutunu belirlemiş olur.

VJ nesne tanıma çerçevesi, kendini oluşturan birçok sabit konumlu zayıf sınıflandırıcı adı verilen dikdörtgen yapıları içeriklerden oluşur. Bu zayıf sınıflandırıcılar, Adaptive Boosting Algoritması tarafından en uygun olanlarının seçilmesiyle nesne tanıma çerçevesi oluşturulur. Zayıf sınıflandırıcıların her biri belli bir konumda bulunduğu için dolayı, nesne tanıma esnasında nesnenin açılma değişimleri VJ nesne tanıma çerçeveleri tarafından reddedilecektir. VJ nesne tanıma algoritmasının eğitimi sonucunda bir dizi VJ nesne tanıma çerçeveleri oluşturulur. Bu şekilde şelale sınıflandırıcı adı verilen birden fazla çerçeve ile güçlü sınıflandırıcı zinciri kurulur ve güçlü bir filtreleme mekanizması sağlanır. Her bir VJ nesne tanıma çerçevesi belli miktarda zayıf sınıflandırıcı barındırdığından şelale sınıflandırıcıyı oluşturan toplam zayıf sınıflandırıcı sayısı da çok fazla olmamaktadır. Bu süreç bir nesneyi sınıflandırmak için esasen lineer bir filtre görevi görür. Az sayıda zayıf sınıflandırıcı ile etkin filtreleme ve hız kazancı sağlanır. Süreç Haar-Like içeriklerinin sunulması, integral resmi, Adaptive Boosting algoritması ve Cascade sınıflandırıcı şeklinde gerçekleşir [14].

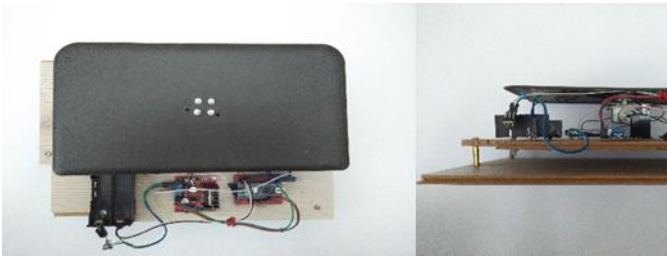
Bu çalışmada, daha önce geliştirmiş olduğumuz Kamera Destekli Mobil İlaçlama ve Sulama Robotu [15] üzerinde birkaç modül değişikliği yapılarak performans ve tutarlı hareket edebilme yeteneği artırılmıştır. Önceki tasarıma göre daha doğrusal hareket sağlanmış ve boyutu artırılmıştır. Nesne tanıma algoritması olarak VJ uygulanmış, bu algoritmanın eğitiminde kullanılmak üzere mobil bir mekanizma geliştirilerek, farklı açılardan görüntü alınarak eğitim kümesi oluşturulmuştur. Güncellenen mobil robot yapısı ve VJ nesne tanıma algoritması ile daha yüksek oranlarda başarı elde edilmiştir.

Makalenin bundan sonraki kısımlarında, Bölüm 3' de resim örneklerinin toplanması, mekanizması ve işlenmesi, Bölüm 4'te VJ nesne tanıma algoritmasının eğitimi, Bölüm 5' de sistemin sınanması ve Bölüm 6'da sonuçlar paylaşılmıştır.

3. Nesne Örneklerinin Toplanması

3.1. Örnek Toplama Mekanizması

Çalışmada, bitki veya ağaç nesnelere örnekler farklı bir yöntemle elde edilmiştir. Bu yöntem, geleneksel olarak



Şekil 1: Nesne fotoğraflarını seri ve farklı açılarda çekebilen dönen levha mekanizması

Yukarıda verilen dönen levha mekanizmasının alt konumunda bulunan suntaların eni ve boyu 20 santimetreye 30 santimetredir. Sunta levhaların kalınlığı 0,75 milimetredir. Aralayıcı somunlar yardımı ile iki katman haline getirilmiş ve belli bir ağırlığı sağlamasından dolayı iki adet kullanılmıştır. Suntalar belli yerlerden olmak kaydıyla dört aralayıcı somunla

kullanılan yaklaşımlara göre çok daha verimli ve kolaydır. Web üzerinden örnek toplamak, ya da hali hazırda var olan veri kümeleri ile çalışmak özel senaryonun oluşturulmasını kısıtlayabilir. Bitki ve ağaç örneklerini içeren fotoğrafların tek tek toplanarak, ilgili kısımlarının çıkarılması ve pozitif örnek olarak VJ algoritmasına sunulması zaman alıcı bir çalışmadır. Ayrıca mümkün olduğunca temiz, kolay ve hızlı örnekler alınması önem taşımaktadır. Örneklerin kalitesi, eğitim aşamasının başarısını etkileyen ve modelin doğruluğunu belirleyen en önemli faktördür. Elde edilen örneklerin sadece ilgili nesnenin parçasını içermesi, eğitim aşamasının çok daha verimli olarak uygulanmasını sağlayacaktır. Bu sebeplerden dolayı, düşük hızda ve yatay ekseninde dönen bir levha ya da plakanın üzerine yerleştirilen maketlerin, belli bir zaman dilimi ve miktarda örneğinin alınması uygulanmıştır. Dönen levha üzerine ilgili nesnenin kendisi veya ilgili nesnenin maketi yerleştirilerek üç boyutlu tarama mekanizmasının ön aşaması oluşturulur. Yavaş hızlarda dönen bu mekanizmanın karşısına sabit veya hareketli bir kamera konularak istenen mesafelerde, istenen açılarda ve farklı arka planlarda örneklerin hızlıca alınması mümkün kılınır. Genel anlamda bu yöntem kullanılarak, neredeyse her nesnenin maketi ile örneklerinin alınması sağlanabilir. Maketi olabilecek örnekler, otomobiller, ev ve binalar, elektronik cihazlar ve bileşenleri, beyaz eşyalar, meyveler hatta doğal ortamlarda bulunan her tür nesne olabilir. Bir nesnenin maketi oluşturularak hem yer tasarrufu hem de mali kazanç elde edilir. Bu yöntem ile ayrıca, karmaşık yapıları ve asimetrik objelerin her bir noktasından örnekler alınması mümkün olabilmektedir. Bir telefon nesnesi için 100 adet örnek alınarak eğitim algoritmasından iyi sonuçlar elde edilebilir. Aynı şekilde bir elma veya futbol topunda alınan az sayıda örnek ile model daha iyi eğitilebilir. Bununla birlikte, nesne karmaşıklığı arttıkça eğitim sonucu elde edilen başarı düşmektedir. Özellikle simetrik yapıya sahip objelerde başarı oranı gözle görülür şekilde artmakta, az sayıda örnek eğitim için yeterli olmaktadır. Çalışmada kullanılan bitki nesnelere çok yapraklı ve asimetrik dağılımlara sahip olması nedeniyle alınan örnek sayısının da fazla olması gerekmektedir. Bu sebepten dolayı, örnek görüntüler dönen levha mekanizması kullanılarak farklı açılarda toplanmıştır. Sadece VJ nesne tanıma algoritması için değil, ayrıca yapay sinir ağı tabanlı model oluşturma çalışmalarında örneklerin toplanması kolaylaşır. Geliştirilen görüntü toplama hareketli levhası Şekil 1'de görülmektedir.

birbirinden ayrılmışlardır. Üstteki sunta levha DC motor, motor sürücü 18650 pil yuvası ve breadboard için zemin oluşturmuştur. Fotoğrafları çekilecek olan nesnelere üstteki dönen levhaya yerleştirilir. Üst kısımda dönen levhanın boyutları 14 cm' ye 24 cm' dir. Dönen levha DC motor ile bağlantılı ve hız kontrolü Arduino Nano model bileşenlerle sağlanmıştır. Bu yöntem ile nesnelere ait görüntü serileri hızlıca elde edilebilmektedir.

Kullanılan elektronik alt yapıya bağlı olarak dakikalar içinde yüzlerce fotoğraf çekilebilir. Mobil robotun kamerası Raspberry Pi 3 uyumlu Raspberry Pi Camera Rev 1.3 model kamerası olduğundan çekilecek olan fotoğrafların kalitesi ve çözünürlüğü sınırlıdır. Hareketsiz nesnelere fotoğraflarından elde edilen örneklerin kalitesi VJ nesne tanıma algoritması için yeterli seviyededir. Ancak yukarıda bahsedilmiş olan dönen levha mekanizması hareketli bir yapıya sahip olduğundan birtakım problemleri de beraberinde getirmektedir. Cisimlerin hareketi esnasında elde edilen fotoğrafların bazı bölgelerinde kaymalara ve bulanıklıklara neden olmaktadır. Daha gelişmiş kameralar

ile hareket eden cisimlerin fotoğraflarının elde edilmesi daha kolay olacaktır. Düşük seviye tepkime ve tetikleme süresi ile hareket eden cisimlerin fotoğrafları net bir şekilde çekilebilir. Ancak çalışmada kullanılan kameranın hareketli fotoğrafları çekmesi ve kaliteli görüntüler yakalaması daha zordur. Bu sebeplerden dolayı bu levhanın çok daha yavaş açılarda, yani yavaş hızlarda dönmesi gerekmektedir. Düşük hızla dönen levha üzerindeki nesnelerin fotoğraflarının alınması bulanık görüntülerin belli bir oranda önüne geçmektedir.

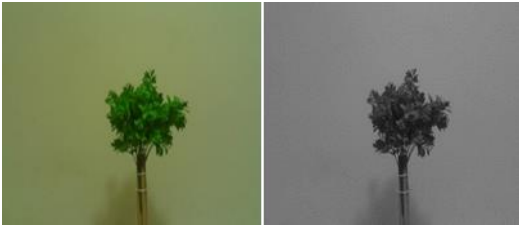
3.2. Örneklerin Toplanması

Çalışmada kullanılan maket bitki nesnelere, yapay süs bitkilerinin parçalarından birleştirilerek elde edilmiştir. Bu parçalar esasen terrarium objeleridir. Küçük ebatlı terrarium bitkilerinin birleşimiyle yapay ağaçlar elde edilmiştir. Bu yapay objeler düz tahta çubuklara plastik kelepçeler yardımıyla monte edilmiştir. Düz tahta çubukların bu modeli taşıyabilmesi için en alt kısmına ek olarak silindirik kutular tutkallar yardımı ile yapıştırılmıştır. Bu sayede model dik olarak istenen konuma yerleştirilebilir hale getirilmiştir. Senaryo tekrar tekrar baştan kurulabilir veya farklı modeller elde edilebilir. Bu sayede, test aşamalarının istenen şekilde ayarlanmasına da olanak sağlamaktadır.

Yukarıda belirtilenler doğrultusunda üç adet bitki objesi elde edilmiştir. Bunlar farklı yapıları terrarium objelerinin birleşiminden elde edilmiştir. Bitki objelerinin fotoğrafları elde edilmeden önce ortam ışıklandırılmasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Ayrıca dönen levha mekanizmasının bulunduğu arka planın temiz ve tek ton olması örneklerin çıkartılması esnasında kolaylık sağlamaktadır. Odanın ışıklandırması 6 Watt 6500K beyaz led ambul ile sağlanmıştır. Işığın dönen levha mekanizmasına olan uzaklığı yaklaşık 2 metre ve ışık 40 derecelik bir açı ile aydınlatmaktadır. Aydınlatma keskinliğinin giderilmesi amacıyla önünde ışık geçiren bir perde bulunmaktadır. Bu sayede gölge oluşması ve aşırı parlaklıklar engellenmiştir. Çünkü kuvvetli ve filtresiz aydınlatma ile elde edilen örneklerin eğitimi ile elde edilen sonuçlarda %50 ye varan

4. Viola-Jones Algoritmasının Eğitimi

Elde edilen fotoğrafları daha sonra 640x480 piksel boyutlarında olmak şartıyla, renk yapısı RGB' den gri tonlamaya dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm sonucu resim kalitesinde bir miktar kayıp olmakla birlikte, ilgili nesneye ait detaylar korunmaktadır. Aşağıda bitki nesnesinin her iki durumdaki yapısını temsil eden örnek bir resim Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2: Soldaki fotoğraf 1024x768 piksel RGB, sağdaki fotoğraf 640x480 piksel çözünürlükte gri tona dönüştürülmüş hali.

Dönüşüm sonrası fotoğraftan ilgili nesneye ait özelliklerin çıkarılıp örneklendirilmesi gerekir. Örneklerin çıkarılmasında izlenecek yol arzu edilen her şekilde olabilir (Şekil 3). Fakat dikkat edilmesi gereken husus, bu nesneyi ayırt edilmesi beklenen diğer nesnelere ayıran özellik bölgelerinin ön plana çıkartılmasıdır. Örneğin en basit yöntem, bitki objesinin tüm

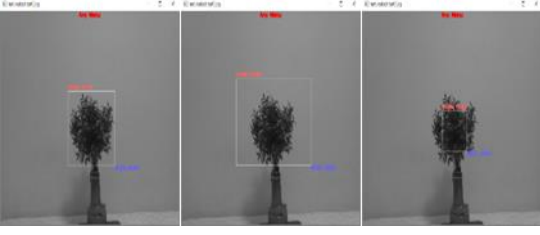
kayıplar gözlemlenmiştir. Aydınlatmanın bu şekilde yapılması sonucu, bitki nesnelerinin karmaşık yapısındaki her noktanın neredeyse eşit miktarlarda aydınlatılması sağlanmıştır. Çok düşük ışıklandırma ve çok kuvvetli ışıklandırma yapılan ortamlarda alınan örnekler ile yapılan eğitimler yetersiz kalmıştır. Ancak eşit dağılımlı bir aydınlatma ile elde edilen örneklerin eğitimi ile elde edilen sonuçların çok daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Dönen levha mekanizmasına yatayda ve dik açı ile olmak kaydıyla Raspberry Pi ve ona bağlı kamera yerleştirilmiştir. Kabaca 1,5 metre mesafede konumlandırılmıştır. Ek olarak dönen levha mekanizması arka plana, ya da diğer bir deyiş ile duvara tam bitişik değildir. Duvar ile mekanizma arasında yaklaşık olarak 15 santimetrelilik bir boşluk bulunmaktadır. Çekilecek fotoğrafların çözünürlüğü 1024x768 olarak ayarlanmıştır. Ancak bu elde edilen görüntüler daha sonra 640x480 çözünürlüğüne dönüştürülmüştür.

Levhayı döndürecek olan motorun dakikadaki tur sayısı kullanım kılavuzunda belirtildiği üzere 6' dır. Raspberry Pi 3 kamerasının peş peşe fotoğraf çekebilme hızı [0, 1] aralığında üretilen düzgün kayan ayırmalı sayının (uniform float number) saniyeye çevrilmesiyle ile belirlenmiştir. Bu sayede çekilen fotoğraflarda aynılıkların giderilmesi ve bitki nesnesinin her bir yüzeyinin eşit ve tam olarak taranması sağlanmıştır

Çalışmada, her bir bitki nesnesi için 10000 fotoğraf çekilmiştir. Her biri için harcanan süre ise, yaklaşık 3 saat 40 dakikadır. Görüldüğü gibi 30 bin tane örnek 11 saat gibi kısa bir sürede elde edilmiştir. Bu süre kullanılan elektronik alt yapıya ve belirlenen değerlere göre değişiklik gösterebilir ve azaltılabilir. Bu mantıktan yola çıkarak başka nesnelere maketleri üzerinden de örnekler elde edilebilir. Gerçeğe uygun olarak modellenmiş bir maket arabasının örneklerinin alınması eğitim öncesi veri toplamada büyük kolaylık sağlayacaktır. Farklı açılardan bir bina modelinin maketinden yüzlerce hatta binlerce örnek elde edilebilir. Toplanacak olan örneklerin kolayca çoğaltılmasının yanısıra, çeşitliliğe de olanak tanıyacaktır.

yapısını içerecek şekilde kırılması olabilir. Veya sadece gövde üstünde kalan ve yaprakların sınır bölgelerine kadar olan kısım ya da sadece yapraklı alanın iç bölgesinden görüntüler alınabilir. Bununla birlikte, modelin dışından alınacak olan görüntülerin sınır bölgelerine dikkat edilmelidir. Parçaları eksik kalan nesnelere eğitim sonrası tespit edilebilirliği olumsuz yönde etkilemektedir. Ek olarak alınan örneklerin bölgesellik yaklaşımı, eğitimin erken ya da geç bitmesine etkisi bulunmaktadır. Bitki nesnesi dışından alınan örneklerde çok erken turlarda bitmesine neden olmaktadır. Hatta yapılan eğitim denemelerinde henüz 2. turda iken sonlandığı gözlemlenmiştir. Ancak yapraklı bölgenin iç kısmından alınan örneklerle yapılan testlerde 12 tura kadar uzadığı gözlemlenmiştir. Bunun temel sebebi nesne dışındaki bölgenin taşıdığı bilgi az iken, ağaç yaprakları daha fazla bilgi içermektedir. Yapraklı bölgenin merkezinden alınan örneklerde tur bazında zayıf sınıflandırıcıların sayısı 50 tekrarı bulabilirken diğer durumlarda en fazla 10 tekrar olmuştur. Eğitimin başarısı için, açıklandığı üzere, bitkileri daha iyi temsil eden yapraklı kısmını oluşturan bölgelerin orta kısımları kullanılmıştır.



Şekil 3: İlgili nesnenin sınır bölgesi, sınır bölgesi dışı ve yapraklı bölgenin iç yapısından temin edilen örnekler

Bitki nesnesinin örneklerinin topluca alınması ilk belirlenen koordinatlara göre ilerleyecektir. Bunun dezavantajı, levhanın dönmesi esnasında dikeyde oluşan sağa ve sola kaymalardır. Çünkü modellerin üst bölgelerinde meydana gelen oynamalar toplu örneklerin alınması sırasında nesnenin belli bölgelerinin eksik ya da fazla alınmasına yol açacaktır. Görünüşte ufak kaymalar gibi görünseler de eğitimin sonucu etkileyecektir. Ayrıca, çalışmanın başarısı için alınan örneklerin en boy koordinatlarının da eşit olması gerekmektedir. Bunun başlıca nedeni, alınan örneklerin vektör formatına dönüştürülmesindedir. Eğer alınan örneklerin koordinatları eşit oranlarda vektöre çevrilmezlerse, içeriklerinde kayıplar meydana gelir. Örneğin, 100x80 piksel olarak kırılan kısım vektör formuna çevrilirken oranlar korunmazsa, alınan örneklerin içerikleri orijinal yapılarındaki en boy oranını korumayacaktır. Bu sebeple çalışmada en boy oranı sabitlenerek örnekler alınmıştır. Vektör formuna çevirme 42x42 şeklinde gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde içeriklerde aynı oranda değişime uğrayacağından dolayı eğitim esnasında sunulan Haar içerikleri de aynı oranlarda değişmektedir. Örneklerin asıl ölçüklerine sadık kalındığında daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Vektör formuna dönüştürülürken verilen değerlerin yüz tanıma (face detection) için kullanılan değerlere göre fazla olmasının sebebi ise asimetrik ve küçük yapıların daha belirgin olmasından dolayıdır. Bu şekilde oluşturulan her bir vektör için 1.500.000 üzeri zayıf sınıflandırıcı adı verilen VJ Haar özelliği sunulur. Eğitim için kullanılan platform açık kaynak OpenCV versiyon 3,43' tür. OpenCV açık kaynak kütüphanesi kullanılarak örneklerin eğitimi sağlanmıştır. Eğitim için alınan örneklerden, sadece 1500 tanesi pozitif örnekler olarak sunulmuştur. Bu veri kümesi, her bir bitki nesnesinden 500 adet olmak suretiyle oluşturulmuştur. Pozitif örnek veri kümesinin yanında 3000 adet negatif örnek içeren ayrı bir veri kümesi de verilmiştir. Parametrelerden, minimum hit rate 0,999 ve false alarm rate 0,40 olarak belirlenmiştir. Eğitimde kullanılan donanım, işlemci modeli Intel i5-2430m ve ana belleği 8gb ram 1333Mhz olan bir diz üstü bilgisayardır. Veriler 32gb Usb flash bellekten okunmaktadır. İşlemci çoğunlukla tek çekirdek üzerinde turbo frekansta 2,95 GHz hızında çalışmıştır. Bu koşullar altında eğitim 10. turda tamamlanmış ve geçen süre yaklaşık olarak 2 gün 20 saattir.

5. Sistemin Sınanması

Sınamalarda, birbirine bağımlı nesnelerin bulunduğu, birbirinden farklı nesnelerin olduğu ve sadece bir nesnenin bulunduğu olmak üzere farklı senaryolar uygulanarak, modelin öğrenme performansı ölçülmeye çalışılmıştır. Senaryonun gerçekleşeceği ortamın aydınlatma düzeyi standartlarda olmakla birlikte, 4 adet 6 Watt 6500K renk sıcaklığına sahip LED ampul ile destek sağlanmıştır. Sınama ortamının yol uzunluğu 3

metredir. Ayrıca odanın aydınlatılması saydam tül perdeler ile bir miktar kırılmıştır. Perdelerin sınama ortamının arka planını oluşturmasının yanısıra, arka planda bir miktar gürültü ve karmaşa oluşturmakta amaçlanmıştır. Bu sayede gürültü olmayan düz beyaz arka plan ile yapılacak sınamalara göre zorluk artırılmıştır. Ayrıca sınama nesnelere doğrudan güneş ışınlarını almamaktadır (Gerçek ortamda bu tür ışınların oluşturabileceği yan etkilerden korunmak üzere filtreleme yapılmalıdır). Mobil robotun sınamayı sarsıntı olmadan, doğrusal yapabilmesi için zemin düz ve sunta yapılıdır (gerçek ortamda sarsıntıya karşı kamera görüntülerinin sabitlenmesi önem arz edecektir). Bu sayede mobil robotun ilerlemesi esnasında doğrusal sapmaların önüne geçilmiştir.

Sınama nesnelere, daha önce bahsedilen bitki nesnelere ve buna ek olarak kullanılan maket evlerdir. Maket evler, bitki nesnelerinin diğer varlıklardan ayırt edilebilirliğinin bir göstergesi olarak kullanılmıştır. Ev ve ağaçların sulanmasındaki doğruluk oranının yüksek olması birinci amaç olduğundan, her bir sınama aşamasında bunların farklı kombinasyonları denenmiştir. Maket evlerden birinin, yüzeylerinden birisi yeşil tonda bir renge boyanmıştır. Yeşile boyanmasındaki amaç VJ nesne tanıma algoritmasının renklere karşı direncinin ölçülmesine yöneliktir. Algoritma renkler üzerinde işlem yapmasa bile, aynı renklere sahip bölgeler aynı parlaklıklara sahiptir. Aynı parlaklıklara sahip bölgelerin iç içe geçmesinin bitki nesnesinin tanınmasında sağladığı etki anlaşılmaya çalışılmıştır. Diğer bir deyişle, bitki nesnelerinin yeşil tonlarını içeren yapraklı bölgesiyle, ev nesnesinin yeşile boyanan yüzeyinin farklılığının VJ algoritması tarafından ayırt edilebilme başarısı ölçülmüştür.

Mobil robotun hareketi, kameranın saniyede bir görüntü alınması ve görüntünün analiz edilmesi ve 0,75 saniye kadar ilerlemek şeklinde gerçekleşmektedir. Bunun nedeni görüntülerin yeteri kadar hızlı işlenememesinden kaynaklıdır. Örneğin, saniyede 25 frame işlem yapılmadığından verimlilik oldukça düşük kalacaktır. Mobil robotun hareketi esnasında elde edilen görüntülerde kaymalar meydana geleceğinden doğru sonuçların elde edilmesi mümkün olmayacaktır. Ayrıca, kullanılan RaspberryPi 3 model B+ gömülü işlemcisi bu görüntüleri hızlı bir şekilde işleyemeyecek ve ağır iş yükü altında kalacağından ısınma problemine yol açacaktır. Bu olumsuz durumlardan etkilenmemek için bir frame al, dur ve değerlendir, sula (veya sulama), sonra ilerle şeklinde bir yöntem ile sınamalar gerçekleştirilmiştir. İzlenen bu yöntem sayesinde, daha net fotoğraflar elde edilerek, daha doğru analizler yapılmıştır.

Mobil robotun kısa tutulan ilerleme süresi ile ilerlenen yolda daha fazla alanın taranmasını sağlanmaktadır. Başlangıçta mobil robot önce görüntü alır ve değerlendirmeyi yapar. Daha sonra değerlendirme durumuna göre çekilen görüntüde ilgili bitki nesnesi yakalanırsa sulama mekanizması tetiklenir. Sulama sonrası ilerleme sağlanır. İlerlemenin sağlanması için öncelikli olarak mobil robotun kızıl ötesi mesafe sensörlerinden gelen bilgiye göre değerlendirilmesi gerekmektedir. Mobil robotun ilerlenen yol üzerinde konumlandırılmış her iki yönü tarayan kızıl ötesi sensörlerinden bir engel bilgisi (yolun sonu anlamında kullanılmaktadır) gelmemiş ise ilerleme sağlanır. Her iki kızıl ötesinden de engel yakalandığı bilgisi gelirse mobil robot bekleme konumuna geçer. Bu bekleme konumu sınama aşamasında kullanılmamıştır. Eğer kızıl ötesi sensörlerden biri engel bilgisini alırsa ilerleme yönü tersine döner ve o yönde

ilerleme bir sonraki engele kadar devam eder. Bu sayede 3 metrelik sına yolu üzerinde birden fazla ilerleme sağlanarak, sına aşamasında elde edilen sonuçların sayısı artırılmaktadır.

Sına yolu bu şekilde otomatik olarak birkaç kez taranır. Sına yolunun her iki ucunda bulunan engeller sayesinde tek seferlik çalışmada birden fazla yol taraması yapılması sağlanır. Örneğin sına yolunun 5 kere taranması istenirse 15 metrelik bir sına mesafesi elde edilecektir. Pinpon topunun iki duvar arasında sekmesi gibi, mobil robotta her iki engel arasında dönüşümlü olarak ilerleme sağlayacaktır.

Mobil robot kamerasının çektiği 640x480 çözünürlüğündeki fotoğraflara filtre uygulanmıştır. Bu filtre 640 pikselin üç parçaya (segmentasyon) bölünmesiyle elde edilmiştir. Üç bölündüğünde oluşan ortadaki bölüm görüntünün analizi için kullanılmış ve bu bölümün sağında ve solunda kalan kısımlarda ise nesne analizi yapılmamıştır. Böyle bir yöntemin kullanılmasının iki avantajı vardır. İlki, azalan piksel sayısı ile yapılan işlem üçte birine düşecektir. İkincisi, tanımanın yapılması mobil robotun bitki nesnesinin (veya ev) tam karşı doğrultusunda gerçekleşmesine fayda sağlayacaktır. Bu sayede sulama mekanizması algılanan bitki nesnesini neredeyse tam ortadan sulayabilecektir.

6. Sonuçlar

Sına, sadece bitki nesnelere içeren yatay yol, sadece maket evleri içeren yatay yol, hem maket evleri hem de bitkileri içeren yol, her iki modeli yakın konumlarda içeren yatay yol ve her iki farklı modelin iç içe geçtiği yatay yol olmak üzere toplam beş farklı senaryo ile uygulanmıştır. Aşağıda verilen tablolarda ✓semböl nesnenin bitki olarak tanındığını (pozitif sınıf), ✗semböl ise nesnenin bitki olarak tanımadığını (negatif sınıf) sembolize etmektedir. Senaryolarda kullanılan maket evlerden üçü aynı diğeri ise farklı modeldedir. Senaryolarda, aynı modelde olan maket evlerden yüzeyi yeşil olanın yeşil yüzeyi mobil robotun kamerasının bulunduğu yöne dönük olarak konumlandırılmıştır.

Sadece bitkileri içeren ilk senaryo yolu, 3 metrelik yol üzerinde 4 adet bitki nesnesinin eşit aralıklarda yerleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Her bir bitki nesnesinin birbirine olan uzaklığı yaklaşık 75 santimetredir. Mobil robot yolun sol tarafındaki en uç noktada konumlandırılmıştır. Sına başladığı anda, ilk görüntü alınır ve değerlendirilir. Daha önceden de bahsedildiği üzere 0,75 saniyelik düşük hızlardaki ilerlemeler sonraki görüntülerin alınması ve sınanmasını sağlar. Yol bitiminde mobil robot yön değiştirerek sına işlemini tersten yapmaya başlar. Bahsi geçen senaryo yolu üç kere taranarak aşama sonlandırılmıştır. Bitki nesnelere ile karşılaşma toplam 12 kez sağlanmıştır. Her karşılaşmada, bitki nesnesi VJ eğitim modeli tarafından tam olarak tespit edilmiştir. Bu senaryonun başarısı %100 olarak bulunmuştur. Mobil robotun senaryo yolunda bitki nesnelere tanımasına ilişkin tablo Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1: Mobil robotun senaryo yolundaki bitki nesnelere tanıma başarı tablosu.

Test-1	Bitki-1	Bitki -2	Bitki -3	Bitki -4
--------	---------	----------	----------	----------

Soldan-Sağa	✓	✓	✓	✓
Sağdan-Sola	✓	✓	✓	✓
Soldan-Sağa	✓	✓	✓	✓

İkinci senaryoda ise sadece maket evler kullanılmıştır. Maket evlerin dizimleri ilk senaryodaki gibidir ve kullanılan maket ev sayısı da benzer olarak 4 adettir. Senaryo yoluna yerleştirilen evler 3 metrelik uzunluğu eşit olarak bölecek biçimde 75 santimetre aralıklarda konumlandırılmışlardır. Sadece maket evleri içeren sına yolu da benzer biçimde soldan başlanmak suretiyle 3 kez taranmıştır. Ev nesnelere ile karşılaşma toplam 12 kez sağlanmıştır. Her karşılaşmada, ev nesnesi VJ eğitim modeli tarafından tespit edilememiştir. Bu senaryonun başarısı da %100 olarak bulunmuştur. Arka plan ve maket ev nesnelere oluşturulan gürültüye rağmen, bitki nesnesi olarak tanınamamışlardır. Mobil robotun senaryo yolunda ev nesnelere tanımasına ilişkin tablo Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2: Mobil robotun senaryo yolundaki ev nesnelere tanıma başarı tablosu.

Test-2	Ev-1	Ev-2	Yeşil Ev-3	Ev-4
Soldan-Sağa	✗	✗	✗	✗
Sağdan-Sola	✗	✗	✗	✗
Soldan-Sağa	✗	✗	✗	✗

Sınanın üçüncü senaryosunda, maket evler ve bitki nesnelere senaryo yoluna maket ev, bitki nesnesi, maket ev ve bitki nesnesi sırasıyla yerleştirilmiştir. Her nesne 3 metrelik senaryo yolu üzerinde eşit aralıklarla sıralanmıştır. Üçüncü sına senaryo yolunun sol uç kısmından başlatılmıştır. Maket evlerin hiçbiri bitki nesnesi olarak tanınamazken, bitki nesnelere hepsi de doğru olarak tanınmıştır. Maket ev bulunduran aşamalarda mobil robotun nesnelere uzaklığı yaklaşık 85 ile 90 santim arasındadır. Çünkü maket evlerin boyu bitki nesnelere boyundan biraz daha kısa olmasından kaynaklanmaktadır (sadece bitki nesnelere olan senaryolarda uzaklık 75-85 santim arasında uygulanmıştır). Mesafe artırılarak maket evlerin büyük bir kısmının kamerasının görüş açısına girilmesi hedeflenmiştir (gerçek uygulamada robotun nesnelere olan uzaklığının algoritmik olarak uyarlanması, böylece kamera görüntüsünün iyi bir konumdan alınması üzerinde çalışılmalıdır). Bu senaryonun başarısı da %100 olarak bulunmuştur. Mobil robotun senaryo yolunda ev ve bitki nesnelere tanımasına ilişkin tablo Tablo 3’de verilmiştir.

Dördüncü senaryoda ise maket ev ve bitki nesnelere çok yakın mesafelere yerleştirilmişlerdir. Maket ev ve bitki nesnelere aynı yatay doğrultuda ve cisimlerin ağırlık merkezleri yaklaşık olarak kesişmektedir. Yani bir nesne diğereinden daha ileride veya geride konumlanmamıştır. Maket evlerin hiçbiri bitki nesnesi olarak tanınamazken, bitki nesnelere hepsi de doğru olarak tanınmıştır. Senaryo tamamlandığında elde edilen sonuç, kadraja giren her iki nesneden sadece bitkinin tanımasıyla sonuçlanmıştır. Bu senaryonun başarısı da %100 olarak bulunmuştur. Mobil robotun senaryo yolunda ev ve bitki nesnelere tanımasına ilişkin tablo Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 3: Mobil robotun senaryo yolundaki ev ve bitki nesnelere tanıma başarı tablosu.

Test-3	Ev-1	Bitki-1	Ev-2 (Yeşil)	Bitki-2
Soldan-Sağa	✗	✓	✗	✓
Sağdan-Sola	✗	✓	✗	✓
Soldan-Sağa	✗	✓	✗	✓

Tablo 4: Mobil robotun senaryo yolundaki maket ev ve bitki nesnesinin çok yakın olduğu durumda nesnelere tanıma başarısı.

Test-4	Ev-Bitki İkili-1	Ev-Bitki İkili-2	Ev(Yeşil)-Bitki İkili-3	Ev-Bitki İkili-4
Soldan-Sağa	Ev: ✗ Bitki: ✓	Ev: ✗ Bitki: ✓	Ev: ✗ Bitki: ✓	Ev: ✗ Bitki: ✓
Sağdan-Sola	Ev: ✗ Bitki: ✓	Ev: ✗ Bitki: ✓	Ev: ✗ Bitki: ✓	Ev: ✗ Bitki: ✓
Soldan-Sağa	Ev: ✗ Bitki: ✓	Ev: ✗ Bitki: ✓	Ev: ✗ Bitki: ✓	Ev: ✗ Bitki: ✓

Beşinci senaryo ise, bir önceki aşamadan farklı olarak maket ev ve bitki nesnelere iç içe geçmiş hallerinden (kesiştikleri) oluşturulmuştur. Maket ev ile bitki nesnelere iç içe geçmesi nesne tanıma başarısını etkilemezken, düşük seviyede aydınlatma bölgesi olarak kullanılan senaryo yolunun bitiminde bulunan bölgede doğru nesne tanıma oranı %33 olarak bulunmuştur. Nesnelere iç içe geçtiği bölgelerde ise kamera görüntüsüne bağlı olarak (kısmi nesne parçası içerildiğinden) birden fazla bitki tanınması yapılmıştır. Bu senaryonun genel başarı oranı bitki nesnelere bazında %83 olarak bulunmuştur. Mobil robotun senaryo yolunda ev ve bitki nesnelere tanınmasına ilişkin tablo Tablo 5’ de verilmiştir.

Bu senaryolar sonunda elde edilen ilk bulgu, eğer iki nesne yanyana yer alıyor iseler, alınan kamera görüntüsü içinde diğer nesnenin parçasının bulunmasından dolayı tanıma işlemi iki kere gerçekleşebilmektedir. Bu durum esasında eğer bitki boyutları büyük ise, bitkinin kamera görüntüsü içinde kaldığı her frame için sulama veya ilaçlama eylemi yapılacaktır. Bu da tanıma problemi değil, işin doğası gereği olması gereken bir durum olarak algılanmalıdır. İkinci bulgu ise, nesnenin bulunduğu konumdaki aydınlatma diğer bölgelere göre daha az ise, bu durum tanınma başarısını etkilemektedir. Az ışıklandırma nesnenin, farklı nesnelere gibi görünmesine yol açmakta, karmaşık yapıdaki nesnelere için VJ algoritmasının nesneyi yanlış tanımasına ya da hiç tanınamasına sebep olmaktadır.

Tablo 5: Mobil robotun senaryo yolundaki iç içe geçmiş maket ev ve bitki nesnelere tanıma başarısı.

Test-5	Ev-Bitki İkili-1	Ev(Yeşil)-Bitki İkili-1	Ev-Bitki İkili-1	Ev-Bitki İkili-1
Soldan-Sağa	Ev: ✗ Bitki: ✓	Ev: ✗ Bitki: ✓	Ev: ✗ Bitki: ✓	-
Sağdan-Sola	Ev: ✗ Bitki: ✓	Ev: ✗ Bitki: ✓	Ev: ✗ Bitki: ✓	Ev: ✗ Bitki: ✓
Soldan-Sağa	Ev: ✗ Bitki: ✓	Ev: ✗ Bitki: ✓	Ev: ✗ Bitki: ✓	-

VJ algoritması göz önünde bulundurulduğunda, bitki nesnelere içeren fotoğraflardan alınan örneklerin içeriği, görüntü kalitesi, ışıklandırmanın yönü ve nesnenin karmaşıklık yapısından doğrudan etkilenmektedir. Görüntü kalitesi düşük olan fotoğraflardan elde edilen pozitif örnekler eğitimin

doğruluğunu negatif yönde etkilemektedir. Buna ek olarak ilgili nesnelere alınan pozitif örneklerin ilgili nesnelere iç ya da dış bölgesinden alınan örneklerine göre yapılan eğitimlerin sonuçları farklı olmaktadır. Bu nedenle ilgili nesnelere detaylara sahip bölgelerden elde edilen pozitif örnekler, VJ algoritmasını başarılarını artırmaktadır. Bu çalışma ile ayrıca, gerekli koşullar sağlandığında VJ nesne tanıma algoritmasının içeriği karmaşık olan nesnelere başarı ile tanıyabildiği gösterilmiştir. Ortamda benzer içeriklere sahip nesnelere gürültülerini gidermek amacıyla VJ framelemlerinin sayısı Min Neighbors algoritması yöntemiyle sınırlandırılabilir. Çoğu nesne için 3 ile 7 arasında bir frame komşuluk değeri yeterlidir. Çalışmada en yakın komşuluk değeri 6 olarak belirlendiğinde en iyi sınıma sonuçları elde edilmiştir.

Yapılan sınamalarda, 5*12=60 nesnenin 58 tanesi doğru tespit edilmiştir, bu mobil sulama/ilaçlama robotunun görme yetisi ve bitki nesnelere tanıma başarısının yaklaşık olarak %96.5 gibi oldukça yüksek bir düzeye çıkarıldığını göstermektedir. Bundan sonra yapılacak çalışma, robotun arazi ortamına adapte edilerek, karşılaşılabilecek görsel sorunlara (bazılarını açıkladık) çözüm üretmek, modeli faydalı bir ürün haline getirmektir.

Kaynakça

- [1] Liu Yun, Zhang Peng, An Automatic Hand Gesture Recognition System Based on Viola-Jones Method and SVMs, 2009 Second International Workshop on Computer Science and Engineering, pp. 72-75.
- [2] Ramana Isukapalli, Ahmed Elgammal, Russell Greiner (2006): Learning to detect objects of many classes using binary classifiers. 9th European Conference on Computer Vision (ECCV 2006). Vol. 3951, no.1, pp. 352-364.
- [3] Mohammad Mahdi M., Maryam N., Majid P. and Mohammad Kazem M. (2018): Moving Vehicle Detection Using AdaBoost and Haar-Like Feature in Surveillance Videos. International Journal of Imaging and Robotics. Vol. 18, no. 1.
- [4] Moad. Benkiniouar, Mohamed Benmohammed (2010): Optimisation the real time implementation of the Viola & Jones face detection algorithm on RISE processor. 2010 XIth International Workshop on Symbolic and Numerical Methods, Modeling and Applications to Circuit Design (SM2ACD). IEEE.
- [5] Yasaman Heydarzadeh, Abolfazl Toroghi Haghghat, Nazila Fazeli (2010): Utilizing Skin Mask and Face Organs Detection for Improving the Viola Face Detection Method. 2010 Fourth UKSim European Symposium on Computer Modeling and Simulation. Pp. 174-178, IEEE.
- [6] Rapee Krengekamjornkit, Milan Simic (2013): Enhancement of human body detection and tracking algorithm based on Viola and Jones framework. 2013 11th International Conference on Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services (TELSIKS). Vol. 1, pp. 115-118, IEEE.
- [7] Dewiani Djmaluddin, Tantri Indrabulan, Andani, Indrabayu, Sitti Wetenriajeng Sidehabi (2014): The Simulation of Vehicle Counting System for Traffic Surveillance Using Viola Jones Method. 2014 Makassar International Conference on Electrical Engineering and Informatics (MICEEI). pp. 130-135, IEEE.

- [8] Yongzheng Xu, Guizhen Yu, Member, IEEE, Xinkai Wu, Yunpeng Wang, and Yalong Ma (2017): An Enhanced Viola-Jones Vehicle Detection Method From Unmanned Aerial Vehicles Imagery. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. Vol. 18, no. 7, pp. 1845-1856. IEEE.
- [9] Muhammad R Wiratama, Sukmawati N Endah, Retno Kusumaningrum, Helmie A Wibawa (2017): Pornography Object Detection Using Viola-Jones Algorithm and Skin Detection. *2017 1st International Conference on Informatics and Computational Sciences (ICICoS)*. P. 29-34. IEEE.
- [10] Kartika Candra Kirana, Slamet Wibawanto, Heru Wahyu Herwanto (2018): Facial Emotion Recognition Based on Viola-Jones Algorithm in the Learning Environment. *2018 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (iSemantic)*. Pp. 406-410. IEEE.
- [11] Pooya Tavallali, Mehran Yazdi, Mohammad Reza Khosravi (2017): An Efficient Training Procedure for Viola-Jones Face Detector. *2017 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)*. Pp. 828-831. IEEE.
- [12] Benny Hardjono, Hendra Tjahyadi, Mario G. A. Rhizma, Andree E. Widjaja, Roberto Kondorura, Andrew M. Halim (2018): Vehicle Counting Quantitative Comparison Using Background Subtraction, Viola Jones and Deep Learning Methods. *2018 IEEE 9th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*. Pp. 556-562. IEEE.
- [13] LU Wen-yao Yang Ming (2019): Face Detection Based on Viola-Jones Algorithm Applying Composite Features. *2019 International Conference on Robots & Intelligent System (ICRIS)*. Pp. 82-85. IEEE.
- [14] Paul Viola Michael Jones (2001): Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features. *Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. CVPR 2001*. Pp. 511-518. IEEE.
- [15] Haluk Özgen, Metin Turan (2018): Camera Assisted Mobile Medication and Irrigation Robot Design. *ELECO 2018, Elektrik-Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Konferansı*. Pp. 162-168.



Video Duygu Analizi

Emre Arıĝ^{1*}, Metin Turan²

¹ İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3645-8761)

² İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1941-6693)

(Bu yayın 26-27 Haziran 2020 tarihinde HORA-2020 kongresinde sözlü olarak sunulmuştur.)

(DOI: 10.31590/ejosat.1115837)

ATIF/REFERENCE: Arıĝ, E. & Turan M. (2021). Video Duygu Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue), 34-41.

Öz

Bu çalışmada, videodaki görüntülerden tespit edilen insan yüzleri üzerinde CNN derin öğrenme modeli ile duygu analizi yapılmıştır. Bu analize ait sonuçlar saniye saniye kayıt edilerek bir duygu analizi grafiği çıkarılmıştır.

Çalışma 3 ana safhadan oluşmaktadır. İlk CNN modeli için gerekli duygu yüklü görsellerin bulunup etiketlenmesi, ikincisi duygu analizi yapabilecek bir CNN derin öğrenme modelinin oluşturulması ve üçüncüsü de videolardan yüz görüntülerinin tespit edilmesidir.

Eğitim veri seti oluşturmak amacıyla, seçilen 61 adet filmde binlerce yüz fotoğrafı analiz edilmiştir. Bunların arasında Bay Evet, Karabasan, Yaralı Yüz, Yedi Yaşam gibi farklı duyguların ağırlıklı olduğu filmler bulunmaktadır. İlk olarak 7 duygu türü için yüzler toplanmıştır. Bu duygular bıkkınlık, korku, mutluluk, sakinlik, şaşkınlık, sinirlilik ve üzünlüktür. Yüz tespiti kısmında Haarcascade tekniği kullanılmıştır. Tespit edilen yüzlerin duygulara göre etiketlenmesinde, Amazon webservisi olan Face Recognition'dan yardım alınmıştır. Çalışmada, 50 bin civarı yüz örnekleme elde edilmiştir. Ancak daha sonra yapılan kontrollerde Haarcascade ile bulunmuş görüntüler arasında yüz olmayan birçok görsel tespit edilerek çıkarılmıştır. Ayrıca, Amazon web servisinden dönen duygu analizlerinde %40 civarında yanlış duygu tespiti olduğu belirlenerek, eğitim veri setinden çıkarılmıştır. Tüm veri seti temizleme çalışmaları sonucunda 7 duygu için etiketlenmiş 20 bin fotoğraf elde edilmiştir.

Derin öğrenme sonucu, yapılan sınamalarda en çok karıştırılan 4 duygudan 2'sinin bıkkınlık ve şaşkınlık olduğu gözlemlenmiştir. Bıkkınlık sakinlikle, şaşkınlık ise korku yüz ifadeleri ile karışmaktadır. Elimizde kalan 5 duygu ile yapılan analizde, önerilen model ile %60'lık doğruluk değerine ulaşılmıştır. Videodan yüzleri çıkarıp modele gönderen ve bu sonuçlar ile bir duygu analizi grafiği çıkaran yazılımda, yüz tespitinin daha doğru olması için gerçek zamanlı analizde Haarcascade yöntemi yerine bir DNN modeli kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Duygu Analizi, Derin Öğrenme, Video İşleme, Yapay Sinir Ağları

Video Emotion Analysis

Abstract

In this study, emotional analysis was carried out with the CNN deep learning model on the human faces detected from the images in the video. The results of this analysis were recorded in seconds and an emotion analysis graph was created.

The study consists of 3 main stages. The first is to find and label the emotional images required for the CNN model, the second is to create a CNN deep learning model that can conduct emotion analysis, and the third is to identify the facial images from the videos.

In order to create a training data set, thousands of photographs from 61 selected films were analyzed. These include films with different feelings such as Yes Man, The Babadook, Scarface, Seven Pounds. First, faces were collected for 7 types of emotions. These feelings are boredom, fear, happiness, calmness, confusion, irritability and sadness. Haarcascade technique is used in the face detection section. Assistance was received from the Amazon Face Recognition web service for tagging detected faces according to emotions. In the study, about 50 thousand face samples were obtained. However, in the subsequent controls, many non-facial images were detected and removed from the images found with Haarcascade. In addition, approximately 40% false emotion detection was determined in the emotional analysis returned from the Amazon web service and removed from the training data set. As a result of the clearing of the whole data set, 20 thousand photos were tagged for 7 emotions.

As a result of the deep learning, it was observed that 2 of the 4 emotions most confused during the tests were boredom and confusion. Boredom is confused with calmness, and confusion with fear facial expressions. In the 5 emotion analysis that we have, 60% accuracy value has been reached with the proposed model. In the software that extracts faces from the video and sends them to the model and displays an emotional analysis graph with these results, a DNN model is used instead of Haarcascade method in real-time analysis to make the face detection more accurate.

Keywords: Emotion Analysis, Deep Learning, Video Processing, Artificial Neural Networks

1. Giriş

Gelişen teknoloji ve dijital hayatla birlikte veri kavramı giderek daha önemli hale gelmektedir. Veri artık sadece metin anlamına gelmemekte, fotoğraf, video gibi nesnelere artık dijital yapılarından dolayı işlenebildiklerinden bir tür veri olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle günümüzün önemli çalışma ve araştırma alanlarından birisini, tartışmasız görüntü işleme ve yine bu temelden geliştirilen çalışmalar oluşturmaktadır.

Görüntü işleme, dijital ortamdaki görüntülerden yararlanarak ihtiyaca veya istenilen bir veriye ulaşmak için kullanılan yöntemlerdir. Bu yöntemler son zamanlarda artan işlemci güçleri ile daha da popülerleşmiştir. Görüntü işlemenin en popüler kütüphanesi OpenCV'dir. OpenCV, Intel tarafından 1999 yılında geliştirilen açık kaynak kodlu görüntü işleme kütüphanesidir [1]. C, C++, Phyton ve Java arayüzleri bulunan OpenCV, Windows, Linux, Mac OS, iOS, Android gibi farklı platformlarda çalışabilmektedir [2]. BSD (Berkeley Software Distribution) lisansı sayesinde her türlü projede ücretsiz olarak kullanılabilir.

OpenCV, hesaplama verimliliğini artırmak ve gerçek zamanlı uygulamalar için tasarlanmıştır [3]. Nesnelere tespit edilmesi veya tanınması amacıyla yapılan çalışmalarda farklı yöntemler önerilmektedir. Nesnelere ait basit özellikler kullanılarak hızlı ve etkili nesne tanıma yönelik çalışmalar karmaşık arka plan çıkarımı ile tanıma, şekil tanıma, renk tanıma, kenar ve köşe tanıma, istatistiksel örüntü tanıma, şablon eşleme gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır [4][5][6].

Kameradan alınan görüntülerin bilgisayarlarda işlenmesi ile nesne tanıma (object recognition), yüz bulma (face detection), yüz takibi (face tracking), yüz tanıma (face recognition), duygu tanıma (emotion recognition), hareket takibi ve tanıma (human action recognition and tracking) [7], cinsiyet/yaş tespiti (gender/age classification), işaret dili algılama (gesture recognition for sign language) [8], sürücü uykusu durumu tespiti (driver drowsiness detection)[9], bakış yönü tespiti (gaze detection) ve kafa yönü tahmini (head pose estimation) gibi birçok uygulama geliştirilmiştir. İnsan davranışlarının görüntü işleme teknikleri ile tespit edilip analiz edilmesi konusu son zamanlarda popülerlik kazanmış ve farklı alanlarda önemli çalışmalara zemin hazırlamıştır [10].

Görüntü işlemeye yönelik en popüler çalışmaların başında şüphesiz yüz tanıma teknolojisi bulunmaktadır. Yüz tanıma, kişinin yüzünü otomatik olarak algılayan ve analiz eden bilgisayar tabanlı bir güvenlik sistemidir. Yapılan çalışmalar,

günümüzde sadece elektronik kartlara veya şifrelere bağımlı sistemlerin yeterli olmadığını, bu nedenle güvenliği arttırmak için biyometrik tanıma sistemlerinin iyi bir alternatif olacağını göstermektedir. Biyometrik sistemler kişiye özgü ham verileri işleyerek bireyi en iyi tanımlayan elektronik bilgiye çevirmektedir [11]. Bilgisayar destekli yüz tanıma konusunda yapılan ilk çalışma, 1964 ve 1965 yıllarında, Woodrow Wilson ve arkadaşları tarafından bilgisayarı insan yüzlerini tanıma kullanma üzerine yaptıkları araştırmadır [12]. Başta güvenlik uygulamaları olmak üzere, hukuki bilgi toplama, takip sistemleri, kimlik tespiti ve eğlence sektörü olmak üzere hızla artan bir kullanım alanına sahip olan yüz tanıma sistemleri, gelişen akıllı telefon ve tablet uygulamalarıyla da bütünleştirilerek yaygınlaşmaktadır [11]. Gerçek zamanlı görüntü işleme donanımlarının maliyetler açısından daha kolay ulaşılabilir olması, işlemci kapasitelerinin artması yüz tanıma sistemlerinin otomatikleşmesine ve diğer yazılım ağları ile bütünleşik şekilde çalışabilmesine olanak sağlamıştır [13].

Yüz tanıma konusunda son yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlanan bir diğer yöntem ise derin öğrenmedir. Derin öğrenme, makine öğrenme algoritmaları kullanılmak suretiyle doğrusal olmayan dönüşümler vasıtasıyla tanınacak olan veriyi en iyi temsil edecek özellikleri bulmayı amaçlayan bir yaklaşımdır. Derin öğrenme isimlendirmesindeki "derin" kavramı klasik yapay sinir ağlarına göre daha çok katmanlı bir yapıya dayalı bir öğrenmeyi belirtmektedir. Derin ağlar sayesinde görüntü işleme alanında oldukça büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Çok katmanlı sinir ağları görüntülerde bulunan nesnelere sınıflandırılması ve tespiti ile ilgili yapılan yarışmalarda normal makine öğrenmesi yöntemlerinden çok daha iyi derecelere alanının en iyisi olduğunu kanıtlamıştır [14]. Temelinde yapay sinir ağları olan derin öğrenme insan beyninin çalışmasını yapay sinir ağlarına göre daha iyi modelleyen yöntemler önerir. Derin öğrenmede kullanılan algoritmalarından birçoğu Geoffrey Hinton ve Toronto Üniversitesi'ndeki araştırmacıların yaptıkları çalışmalara dayanmaktadır. 1980'lerde öne sürülen bu algoritmalar yoğun matris işlemleri gerektirdiğinden ve büyük verilerin işlenmesinde yüksek işlemci gücüne ihtiyaç duyduğundan o yıllarda yaygın bir uygulama alanına kavuşmamıştır. Özellikle görüntü işleme alanında derin öğrenmenin özelleşmiş bir mimarisi olan Evrişimsel Sinir Ağları (Convolutional Neural Networks-CNN) başarılı sonuçlar vermekte ve son zamanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. ESA'da iki temel katman bulunmaktadır. Bunlardan biri evrişim diğeri ise havuzlama katmanıdır. ESA'lar bu iki katmanda temel bazı işlemler ile görüntünün önemli olan özelliklerini çıkarmayı amaçlamaktadır [15].

Videodan duygu analizi çalışması, yüz tespiti, görüntü işleme teknikleri ve sınıflandırıcıdan yararlanarak görüntüdeki insan yüzlerinden duygularının analizi yapabilmektir. İnsan

duygularının tahmini oldukça zor bir konudur. İnsanların genel duygu durumları ya da bir olaya karşı verdikleri tepkiler yüzlerine yansımaktadır. Videolarda bu yüzler ise video içerikleri hakkında bizlere çeşitli bilgiler vermektedir. Bu analizler sayesinde çeşitli istatistikî bilgilere de ulaşılabilmektedir. Bu alan Amazon, Microsoft ve Google gibi büyük firmalarında öncülüğünü ettiği bir çalışma alanıdır.

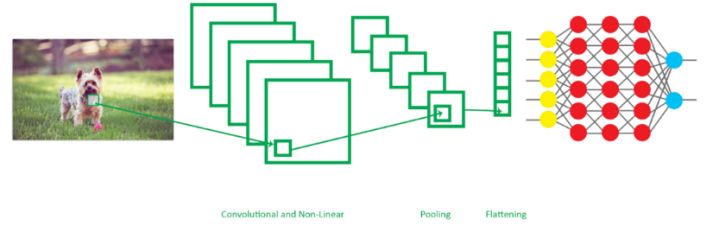
Duygu analizine yönelik çalışmalar kronolojik olarak incelendiğinde, analizin gelişimine önemli katkıları bulunan bazı çalışmalar öne çıkmaktadır. Valsar M. 2012 yılında yapmış olduğu çalışmada, SVM (Destek Vektör Makineleri) ve HMM (Gizli Markov Modeli) kullanarak geometrik öznitelik çıkarma yapmıştır. Yaptığı bu çalışma sonucunda %50,4 oranında tutarlılığa ulaşmıştır [16]. Bu sayede tespit edilen yüzlere ait duygular geometrik öznitelik çıkarma ile koordinat sisteminde ayrıştırılmaktadır. Gudi A. ise 2015 yılında, makine öğrenmesi temelli yaptığı çalışmada CNN mimarisini kullanmıştır. SEMAINE ve BP4D olarak iki ayrı veri seti üzerinde yaptığı çalışmada yüzden duygu analizi çıkarımında %52,2 ve %34,1 değerlerinde tutarlılık oranına ulaşmıştır [17]. Çalışmamız bu çalışma ile CNN mimarisinin kullanımı açısından benzerlik göstermektedir. Pooya K. 2016 yılında yaptığı çalışmada, CNN ve RNN (Giriş Geri Beslemeli) mimarilerini birlikte kullanarak %50,5 oranında bir tutarlılığa ulaşmıştır [18]. Çalışmasında yüzdeki belirli noktaları algılayarak duyguları tespit etmiştir. Nguyen ve arkadaşları tarafından 2018 yılında yapılan çalışmada ise önerdikleri model, çok seviyeli 18 katmanlı CNN modelidir ve VGG'ye (Çok katmanlı relu aktivasyon fonksiyonu tanımlı derin öğrenme modeli) benzemektedir. Bu modelde yüksek düzeyde özellikler bulunmasıyla beraber orta düzeyde özelliklerde bulunmaktadır. Çok seviyeli CNN modeli önerilmiş ve %69,21 hassasiyete ulaşmıştır. Duygu analizinde ulaştıkları bu oranı yükletmek için bu modelde Fer2013 veri seti kullanmış ve %73,03 hassasiyete kadar ulaşmayı başarmıştır [19]. Güncel çalışmalardan bir diğeri ise Cao ve arkadaşlarının 2019 yılında yapmış olduğu çalışmadır. Bu çalışma, K-Means kümeleme ve Support Vector Machine (SVM) sınıflandırıcısını birleştirerek bir model oluşturmuştur. Bu modelde K-Means, CNN'nin başlangıç değerini belirler. SVM katmanları ise Fer2013 veri kümesindeki görüntüleri sınıflandırmak için eğitilmiş CNN modelinden özellikler almaktadır [20]. Bu çalışmayı öne çıkaran SVM ve CNN mimarilerinin bir arada kullanılmasıdır. Kronolojik olarak 2012 ve 2019 yılları arasında yapılan bu çalışmalar incelediğinde, kullanılan veri setleri ve mimariye göre tutarlılık değerlerinin değişkenlik gösterdiği görülmektedir.

Videolar saniyede en az 24 fotoğraf karesinin arka arkaya gösterilmesi ile yapılır. Böylece göz bu sıralı görselleri hareketli olarak algılayarak video görüntüsü oluşur. Bu çalışmanın konusu olan videodan duygu analizinde amaç, her saniye akan bu karelerde yer alan insan yüzleri analiz edilerek bir duygu analizi grafiği ortaya koymaktır. Projede videodan duygu analizi 5 temel duygu için uygulanmıştır. Bu duygular, Korku, Mutluluk, Sakinlik, Sinirlilik ve Üzgünlüktür. Aslında insan yüzünde birden fazla duygu aynı anda betimlenebilmektedir. Bu nedenle e-ISSN: 2148-2683

bu çalışma en baskın olan duyguyu istatistiğe almak üzerine yapılmıştır. Bu sayede filmdeki karakterlerin istatistikî olarak duygularına ulaşılmıştır ve işlenen filmin türü tahmin edilmektedir.

2. Bölümde konu ile ilgili kavramlar, 3. Bölümde veri toplama, modelleme ve analiz aşamalarının detayları ve son olarak 4. Bölümde ise sonuç, kullanım alanları ve geliştirilmesine yönelik öneriler bulunmaktadır.

2. İlgili Kavramlar



Şekil 1. Convolutional Neural Network Mimarisi [21]

CNN yapısının genel olarak işleyişi, yapay sinir ağının öncesinde bulunan özellik çıkarımı katmanı, görüntü üzerinde belirlediğimiz parametrelere göre yapay sinir ağına gönderilecek ayrıştırıcı özellikleri elde etmektedir. Bu özellikler yapay sinir ağının eğitilmesini sağlamaktadır. Özellik çıkarım aşaması genellikle birden çok katmandan oluşur. Söz konusu katmanlar bu bölümde incelenecektir. GPU tabanlı yapılan bu uygulamada sonuçların doğruluk oranlarının yanında, yüksek öğrenme hızı da büyük bir avantajdır. CPU tabanlı yapılan uygulamalara göre GPU tabanlı uygulamalar yaklaşık 10 ile 60 kat arasında daha hızlı bir öğrenme hızına sahiptir [22].

2.1. Konvolüsyon Katmanı (Convolutional Layer)

Özellik çıkarımı için en önemli katmandır denilebilir. Görüntü üzerinde önemli ayrıştırıcı bölgelerin belirlendiği katmandır. Belirlenen bir matris penceresi kullanılarak, örneğin (3x3) matrisi, görüntü üzerinde dolaşarak özellik bölgeleri tanımlanmaktadır. Bu aşamanın sonucunda yeni bir matris oluşmaktadır. Bu yeni matrise ise özellik haritası (Feature Map) denir. Genellikle birden çok konvolüsyon katmanı uygulanabilir.

2.2. Aktivasyon Katmanı (Activation Layer)

Aktivasyon katmanı, elde edilen özellik haritası üzerine bir aktivasyon fonksiyonu uygulanarak, özelliklerin regüle edilmesi sağlanır. Bu aşamada en yaygın kabul gören aktivasyon fonksiyonu 'relu' dur.

2.3. Havuzlama (Pooling Layer)

Havuzlama katmanında, bir matris filtresi bulunmaktadır. Bu filtre görüntü üzerinde gezerek matris değerlerini oluşturur ve

belirlediğimiz havuz türüne göre maksimum ya da ortalama değeri elde edilir.

2.4. Vektörel Dönüşüm (Flattening Layer)

Vektörel dönüşüm katmanının temel görevi sinir ağının uçlarına iletilecek verinin uygun formata getirilmesidir. Buraya kadar elde edilen veri matris formatındadır, ancak sinir ağı genellikle tek boyutlu dizi ile beslenir. Bu katmanda matristen, vektöre dönüşüm sağlanır.

2.4. Tamamen Bağlı Ağ Katmanı (Fully Connected Layer)

Tamamen bağlı ağ katmanı son katmandır. Birbirlerine tamamen bağlı nöronlardan oluşan bir sinir ağı oluşur. Bu katmandan sonra sinir ağı karar verebilir hale gelmektedir.

3. Yapılan Çalışma

3.1. Eğitim Verilerinin Toplanması

Çalışmamızdaki eğitim ve test verilerimiz görsellerden oluşmaktadır. Bu görsellerin içeriği duyguların belirgin olduğu yüzlerdir. Bu görsellerin toplanabileceği en büyük kaynaklardan biri de film sektörüdür. Yüzler için belirgin duyguların baskın olduğu düşünülen filmlerden yüzler kesilerek alınmıştır. Bu aşamada süreci hızlandırmak adına bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada filmler seçildikten sonra film sahnelerinden Haarcascade ile yüzler tespit edilmiştir. Bu tespit edilen yüzler çerçevelenerek kesilmiş ve film ismine açılan klasör içine kopyalanmıştır. Aynı zamanda bir dosya oluşturup bu yüzlerin filmin kaçınıcı saniyesinde olduğu ve filminden kesilen kaçınıcı fotoğraf olduğu görsel adı ile birlikte JSON objesi olarak kayıt edilmiştir.

Yüz tespiti ve kesim aşamaları tamamlandıktan sonrasında, duygu kategorizasyonu için bir Amazon Webservisi olan Face Recognition kullanılmıştır. Bu aşamada, yüz tespiti sırasında saniye saniye kayıt edilen görsel bilgilerinin bulunduğu dosyalar okunmaya başlanır ve kesilen yüzler ilgili web servisine gönderilir. Servisten dönen duygu sonuçlarına göre iki işlem yapılır. İlk olarak, görsel adı ve sırası aynı yüz tespitindeki gibi JSON objesi olarak bir dosyaya kayıt edilir. Böylelikle daha sonra başka bir analiz için kullanılabilmesi mümkün olan bir arşiv oluşur. İkinci olarak, bu sonuçlara göre en baskın duygu seçilerek ilgili duygu klasörüne kopyalanır. Bu klasör analiz yapılan tüm filmlerden görselleri barındırır. Görseller rastgele isimlendirilmiştir. Bu arşivde toplamda 61 adet filminden 50 bin civarı görsel bulunmaktadır.

Daha sonra görseller incelendiğinde bu kaba ayrımın yetersiz olduğu anlaşılmıştır. Haarcascade yüz olmayan bazı cisimleri yüz olarak algılayıp ayırmış ve servise göndermiştir. Bunun sonucunda duygu klasörlerinde yer alan bu hatalı görseller tek tek temizlenmiştir. Ayrıca, Amazon Servisi Olan Face Recognition duyguları %40 civarının yanlış etiketlediği tespit edilmiştir. Bunlarda arşivlerden bulunarak çıkarılmıştır. Son olarak karanlık, düşük çözünürlük ve bulanık olan görsellerde temizlendikten sonra, toplam 7 duygu için 20 bin civarı görsel kalmıştır.

En sonunda, eğitim ve test için gerekli olan ayrıştırma yapılmıştır. Bu amaçla, veri kümeleri duygulara göre kategorize edilmiş ve oluşturulan bu duygu kategorileri altında eğitim ve sınav için farklı klasörler oluşturulmuştur. Eğitim klasörleri altında yer alan örnekler modelin eğitimi için, sınav klasörleri altında yer alan örnekler modelin sınavması için kullanılır. Oluşturulan veri setinin her duygu türü için ortalama %80'i eğitim, %20'si test olarak ayrılan görseller gönderilmiştir. Örneklerin duygu bazında eğitim ve sınav amaçlı sayısal dağılımı Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1. Duygu Bazında Eğitim ve Test Örneklerinin Sayısal Dağılımı

Duygular	Eğitim (Adet)	Test (Adet)
Korku	2582	682
Mutluluk	2806	610
Sakinlik	2666	668
Sinirlilik	2114	315
Üzgünlük	2328	576

3.2. CNN Modeli Oluşturulması

Bu aşamada oluşturduğumuz yüz arşivi veri setimiz için CNN yapay sinir ağı oluşturulmuştur. Proje yazılımı Python dilinde geliştirilmiştir. Python dilinin tercih edilme sebeplerinin başında Tensorflow ve Keras gibi kütüphanelerinin kolayca eklenebilmesi, esnek kodlama imkanı ve verimli çalışması gelmektedir.

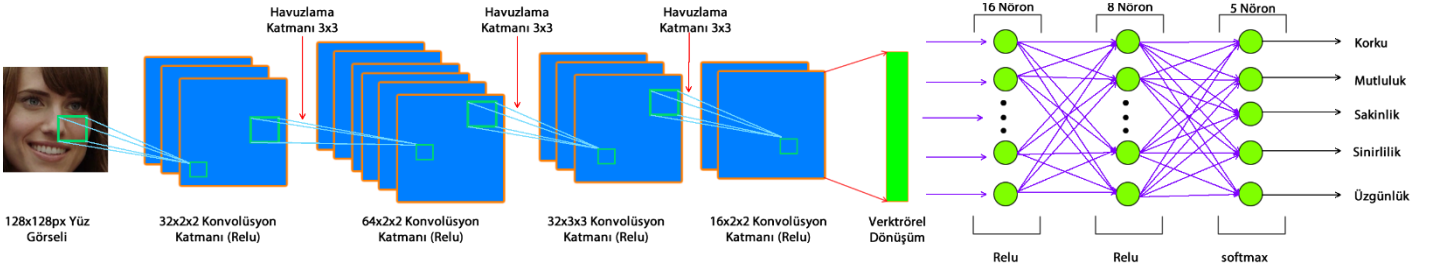
İlk olarak bir yapay sinir ağı modeli oluşturulmuştur. Model oluşturulurken katmanları biriktireceğimiz bir ardışık yığın oluşturulur. Daha sonra amacımıza yönelik olarak konvolüsyon katmanları eklenir. Belirlediğimiz parametrelerde, katmandaki düğüm sayısı, aktivasyon fonksiyonu ve ilk konvolüsyon katmanındaki giriş görsellerinin boyutu verilir. Modelde 32, 64, 34, 16 şeklinde giriş katmanı kullanılmıştır. Bu katmanlar arasında ise havuz katmanları eklenmiştir. Bu sayede farklı

oranlara göre yeterince özellik çıkarılabilmektedir. Ara katmanlarda aktivasyon fonksiyonu olarak “relu”, çıkış katmanında ise “softmax” kullanılmıştır.

Görseller sinir ağına 128x128 piksel olarak gönderilmiştir. Bunun sebebi olarak, daha küçük görsellerde detayın kaybolabileceği, daha büyük boyutlarda ise eğitim için gerekli donanımın ihtiyacının artması ve performansın düşmesi verilebilir. Çıkış katmanlarında ise aşırı öğrenmeyi (overfit) önlemek için “dropout” yaklaşımı kullanılmıştır. Bu fonksiyon sinir ağının her adımında, fonksiyona girilen oran kadar sinir ağını kapatarak aşırı öğrenmeyi önlemektedir. Çıkış katmanları ise 16, 8, 5 şeklinde oluşturulmuştur. “loss” fonksiyonu için ise “categorical_crossentropy” kullanılmıştır. Bu yaklaşım sonucu, 5 farklı duygunun kayıp değeri en ideal şekilde hesaplamaktadır.

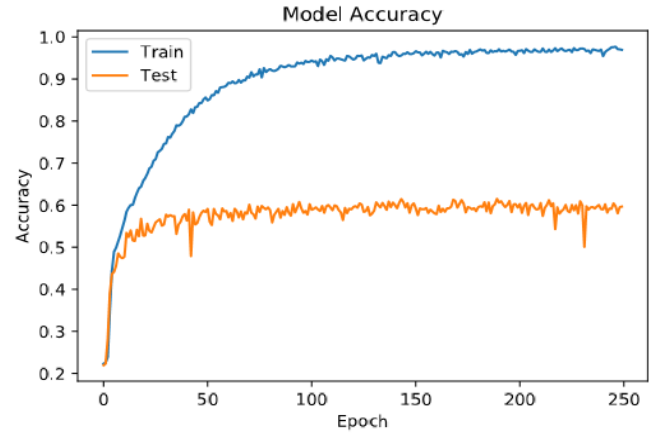
“optimizer” fonksiyonunda ise “sgd” kullanılmıştır. Tutarlılık ve kayıp değerlerini en verimli hesaplayan fonksiyonun bu olduğu tespit edilmiştir. Modelin başarı metriği olarak doğruluk (accuracy) hedeflenmiştir.

Bu parametrelerle yapılan denemelerden en başarılı sonuç veren 58 tanesi kodu ile birlikte kayıt altına alınmıştır. Bu denemelerin ışığında en yüksek tutarlılık ve en düşük kayıp (loss) değerine sahip sinir ağ modeli seçilmiştir. Bu model, oluşturduğumuz veri setinin eğitim kümesi ile 250 tekrar (epochs) yapılarak eğitilmiştir. Eğitim bittiğinde yapay sinir ağı ağırlıklarını içeren bir JSON dosyası ve doğruluk (accuracy) ve kayıp (loss) grafikleri kayıt edilmiştir. Elde edilen modelin, sonuç grafiklerine bakıldığında tutarlılık değeri %60 lara kadar ulaşmıştır.

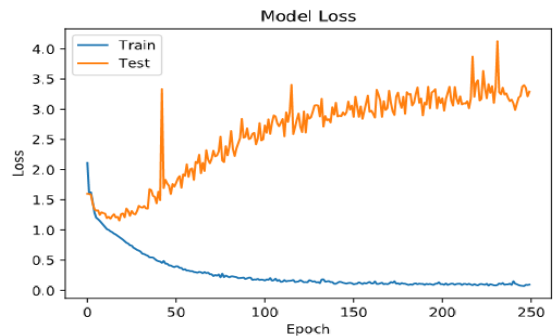


Şekil 2. Cnn Modeli

Projede kullanılan CNN modeli mimarisi Şekil 2’de görülmektedir. İlk olarak 128x128px çözünürlüğündeki yüz görsellerine, 32 filtreda 2x2 matrislik konvolüsyon katmanı uygulanmıştır. Bu aşamada bir eşik değeri belirlenebilmesi için en sık kullanılan aktivasyon fonksiyonlarından ‘Relu’ kullanılmıştır. Bu sayede bu ‘Relu’ ile hesaplanan değerlere göre özellikler çıkarılmıştır. Bu özelliklerin azaltılıp en etkin olanları alınabilmesi için maximum havuzlama işlemi uygulanmıştır. Farklı özellik çıkarımları elde edebilmek için bu işlem 64x2x2, 32x3x3 ve 16x2x2 şeklinde tekrarlanmıştır. Bu sayede bir özellik haritası oluşmuştur. Çıkarılan bu özelliklerin, yapay sinir ağına gönderilebilmesi için tek boyutlu bir diziye çeviren vektörel dönüşüm uygulanmıştır. Yapay Sinir Ağı, 3 katmandan oluşmaktadır. Her katmanda sırası ile 16, 8, 5 nöron bulunmaktadır. Daha fazla katman ve nöron kullanıldığında aşırı öğrenmeye sebep olduğu gözlemlenmiştir. 16 ve 8 nöronun bulunduğu gizli katman için ‘relu’ aktivasyon fonksiyonu en tutarlı öğrenim oranlarını verdiği için tercih edilmiştir. Çıkış katmanı olan 5 nöronlu katmanda ise kesin bir olasılık verdiğinden ‘softmax’ fonksiyonu kullanılmıştır. Model eğitimi tamamlandığında 5 duygu için elde edilen en yüksek doğruluk ve kayıp grafikleri sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4’te görülmektedir.



Şekil 3. Model Doğruluk Grafiği



Şekil 4. Model Kayıp Grafiği

3.3. Video Duygu Analizi



Şekil 5. Duygu Yüklü Yüzler

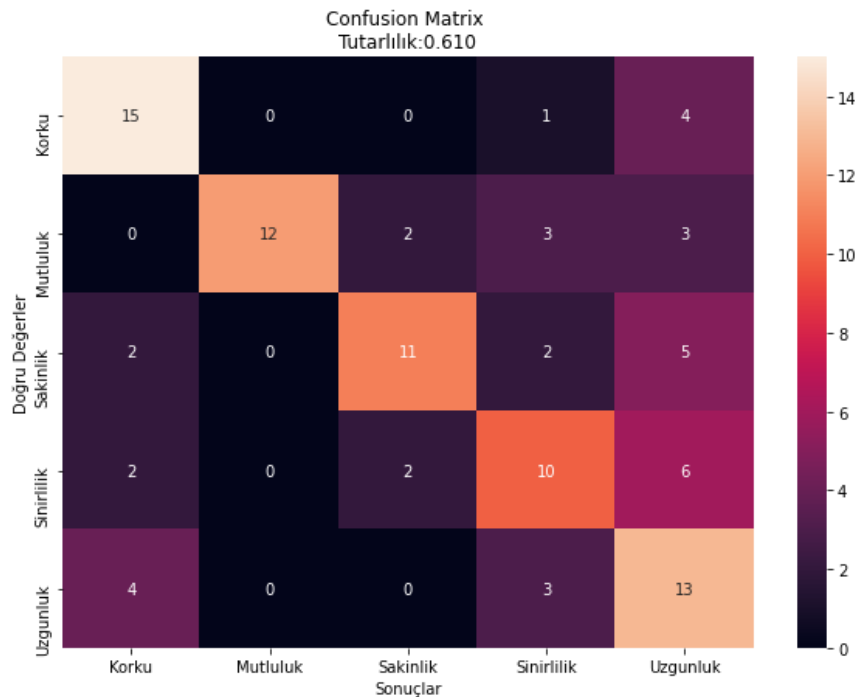
Eğitim sonucu oluşan yapay sinir ağı modeli başarılı bir biçimde sınıflandırmayı öğrenebilirse, kendine verilen yüz fotoğraflarının hangi duyguya ait olduklarını belirleyecektir. Eğitimi yapılmış modelin ağırlık değerleri, JSON formatında bir dosyada sınama esnasında kullanılmak üzere saklanmıştır.

Örnek videonun işlenmesinden önce özellikleri belirlenir. Kaç frame olduğu veya toplam kaç saniye olduğu gibi değerler kullanılarak algoritma işletilir. Projede, her saniyede bir kare (frame) alınarak üzerinde yüz bulma işlemi gerçekleştirilir. Yüz bulma işlenminde ilk denemelerde Haarcascade methodu denenmiş, ancak daha yüksek başarı elde edildiği için bir caffe modeli kullanılmıştır (DNN) [23]. Alınan karelerdeki yüzler tespit edilmekte, resimden kırılmakta ve klasöre kaydedilmektedir. Ayrıca, kayıt edilen yüz fotoğrafının adı, kaçınıcı saniyede olduğu ve toplamda kaçınıcı fotoğrafa denk geldiği gibi bilgilerde bir başka dosyada saklanır. Bu dosyada veriler JSON nesnesi olarak tutulmaktadır. Yüzün bulunduğu kısmın duygu analizine gönderilmesi ile yapay sinir ağının duygu analiz süresi kısalmakta ve ayrıca daha doğru kararlar vermesi sağlanmaktadır.

Oluşan yüz kesitlerinin analizi, yüz bulmaktan çok daha kısa sürmektedir. İlgili yüz kesitleri dizinden okunarak, duygu analizi yapılmak üzere eğitilen modele girdi olarak verilir. Bu görseller, sinir ağı eğitilirken olduğu gibi tekrardan 128x128px olarak

boyutlandırılır. Her ne kadar zaman kaybına sebep olsa da, standart bir boyut kullanıldığından doğruluk oranı artmaktadır. Modelin çıktısı, 5 duygu için bir değer döndürür. Bu değerlerden hangisi yüz görüntüsü en yüksek yüzdelikte tanımlıyor ise, o duygu ile etiketlenir. Bu sınama işleminin sonuçları önce bir diziye, daha sonra ise bir JSON nesnesi olarak dosyaya kaydedilir. Bu JSON nesnesi içerisinde yine görselin adı, saniyesi ve sırası gibi bilgilerin yanı sıra, ayrıca yapay sinir ağı modelinden dönen en büyük duygu değerinin yüzdesi de saklanır. Bu dosya ile model değerlendirme verisi oluşturulmaktadır. Bu sayede, bir kez işlenen video tekrar işlenmeden dosyadaki veriler okunarak grafik tekrar elde edilebilmektedir.

Analiz işleminin ardından video içerisindeki yüzlerin saniye saniye duygu analizleri elde edilmiş bulunmaktadır. Dizide tutulan bu bilgiler kullanılarak, bir sonuç grafiği haline getirilir. Bu grafik yorumlanarak, her duygunun diğerlerinden ne kadar ayırt edilebildiği görsel olarak izlenebilir. Ayrıca sınıf bazında karmaşıklık matrisi ile sınama sonucunda her duygu sınıfının ne kadar başarı ile ayrıştırılabildiği Şekil 6 'da görülmektedir. Bu değerler bazı duyguların başarımı açısından çok iyi sonuçlar olarak gözükmesine bile, ümit vericidir. Bu tablo ve grafiğin yorumlanması sonuçlar başlığı altında ele alınmıştır



Şekil 6. CNN Modelinin Karmaşıklık Matrisi

Yapılan duygu analizi sonucunda bir grafik oluşmaktadır. Bu grafikte 5 duygunun hangi saniyede yüzde kaç duygu yoğunluğuna sahip olduğu değeri gösterilmektedir. Örneğin, Şekil 7' de Jumanji: The Next Level filminin tanıtım çekiminden yapılan bir analizin sonucu görülmektedir. Bunun yanı sıra,

Tablo 2. Sınanan Bazı Filmlerin Genel Duygu Yüzdeleri

Film Adı	Korku (%)	Mutluluk (%)	Sakinlik (%)	Sinirlilik (%)	Üzgünlük (%)
3 Idiots	17.00	21.51	24.34	18.80	18.34
Glass	28.12	18.23	16.39	10.86	26.39
Joker	17.62	22.88	16.82	12.07	30.60
Shutter Island	22.45	13.05	21.84	15.22	27.44

4. Sonuç ve Öneriler

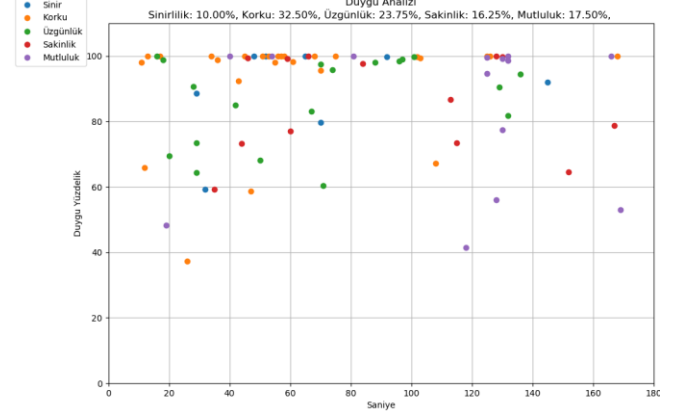
Bu çalışmanın sonucunda filmler hakkında ortalama bir duygu analizi yapılabilir. Filmlerin içeriklerinde geçen duygu yoğunlukları oransal olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, belirli zaman aralıklarında filmde hangi duygu veya duyguların baskın geldiği tespit edilebilmektedir. Toplam film süresi göz önüne alınarak, genel baskın duygunun ne olduğu tespit edilebilmekte, filmin duygu analizi yapılabilir. Bu tür bir bilgi, filmin türünün (örneğin, western, macera, v.b.) yanısıra, duygu ağırlığı hakkında da yıldızsal bir ön değerlendirme yapabilmenin önünü açmaktadır.

Tablo 3. Duygu Analizi Tahminleri

Test Case	Validation Accuracy
VGG 16	39.65%
VGG 16_ovs	40.04%
VGG 16_ru	41.20%
VGG 16_ru_ovs	41.45%
SVM	37.55%
LSTM RNN	38.00%
Hopfield RNN	46.65%
Feature-level Fusion	72.00%
Overall System	54.00%

Yüzden duygu analizi ile ilgili kullanılan yöntemlerin başarımları, 2017 de yayınlanan makalede [24] Tablo 3'deki gibi verilmiştir. Duygu analizi ile uygulanan yöntemlerden en iyi sonucun MLP modeli ile alındığı görülmektedir ve kullanılan yöntemlerin ortalama doğruluğu %45 olarak tespit edilmiştir. Yapılan çalışmanın başarı oranı ise %60 olarak elde edilmiştir. Buna rağmen, bu düşük değerler esasen problemin doğası gereği, bazı duyguların

tüm duyguların genel bir yüzde hesabı da yapılmaktadır. Bazı filmlere ait elde edilen duygu yoğunlukları Tablo 2' de verilmiştir. Tek bir yüz karesinden, duygu analizinin yapılması donanımına bağlı olarak 1 ila 3 ms aralığında gerçekleşmektedir.



Şekil 7. Jumanji: The Next Level Trailer Duygu Analizi Grafığı

ayrıştırılmasında karşılaşılan güçlükten ortaya çıkmaktadır. Duygu analiz yöntemleri, yüz ifadelerinin birkaç duyguyu barındırma veya ifade etmeye sahip karakteristikte olmasından dolayı kesin bir yargıya varmakta zorlanmaktadır.

Duygu analizinin oldukça zor bir alan olmasının nedeni birçok duygunun aynı anda var olabilmesi ve yüz mimikleri açısından birbirlerine çok benzeyen duyguların bulunmasıdır. Mevcut sınırlı veri kümesi ile elde edilen başarımların, literatürdeki çalışmaların ortalamasından çok daha iyi ve iyiler arasında da ön sıralarda yer aldığı görülmektedir. Bu ayrımların daha doğru yapılabilmesi için, her makine öğrenmesi probleminde olduğu üzere daha büyük veri kümelerine ihtiyaç vardır. Bununla birlikte bahsedilen duygu karmaşıklığından dolayı, bazı duyguların tamamen ayrıştırılmasının mümkün olmayacağı düşünülmektedir.

Bu çalışma kullanılarak, sanatsal ürünlerin duygu analizi veya istatistiksel bilgileri elde edilerek, tiyatrolar, sinemalar, gösteri salonları gibi yerlerde kullanımı sağlanabilir. Ayrıca bu kullanım ve analizler gerçek zamanlı olarak yapılabilir. Film salonu çıkışında izleyicilerin kamera görüntüleri işlenerek (örneğin gala sunumlarında), film ile ilgili otomatik duygu yorumu oluşturulabilir. Daha da önemlisi insan etkinliklerinin, kamera görüntüsü alınmış tüm faaliyetlerinin duygu analizinde de kullanılabilir. Örneğin, devlet büyüklerinin yapmış olduğu bir açıklama videosu analiz edilerek duygu analizi yapılabilir. Bunun gibi birçok alanda uygulanması mümkündür. Bunun için gerekli olan, anlık gerçek zamanlı görüntü analizini hızlı yapabilecek güçlü bir donanım desteğidir.

Gelecekte, videolar üzerinde doğal dil işleme teknikleri kullanılarak duygular hakkında bir açıklama metni de hazırlanabilir. Daha da önemlisi, her saniyede alınan yüz kesitleri hakkında bilgiler JSON nesneleri olarak saklandığından, aynı karaktere ait yüz kesitleri ile filmde karakterlerin (artistler) duygusal durumları hakkında yorumlar oluşturulabilir (karakterlere ait önceden oluşturulmuş örneklem yüz veritabanı

ile sınıflandırma yapılarak, her yüz kesidinin hangi karaktere ait olduğu ayrıştırılabilir).

Kaynaklar

1. OpenCV. 2017. <http://www.opencv.org> (Erişim Tarihi: 8.7.2017).
2. D. C. Cirean, U. Meier, J. Masci, and L. M. Gambardella, Flexible, High Performance Convolutional Neural Networks for Image Classification, in Proceedings of the Twenty-Second international joint conference on Artificial Intelligence, pp. 1237–1242, 2012.
3. P. Viola and M. Jones, “Rapid object detection using a boosted cascade of simple features,” Computer Vision and Pattern Recognition, 2001. CVPR 2001. Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on, vol: 1, pp.:1-511I518, 2001
4. R. Hussin, M.R. Juhari, N.W. Kang, R.C. Ismail and A. Kamarudin, “Digital image processing techniques for object detection from complex background image”. Procedia Engineering, vol:41, pp:340-344, 2012
5. Bradski G., Kaehler A. 2008. Learning OpenCV, O’Reilly Media Inc., USA .
6. Tuncer Ergin, Convolutional Neural Network (ConvNet yada CNN) nedir, nasıl çalışır?, <https://medium.com/@tuncerergin/convolutional-neural-network-convnet-yada-cnn-nedir-nasil-calisir-97a0f5d34cad>
7. Felsen, Agrawal ve Malik, 2017
8. Arı, Uyar ve Akarun, 2008
9. Zhang, Cheng ve Lin, 2012
10. Moore ve Bowden, 2011, Tripathi, Jalal ve Agrawal, 2017
11. Görüntü İşleme Teknikleri ile 3B Yüz Tanıma , Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019
12. Bledsoe, 1966a; Bledsoe, 1966b; Bledsoe ve Chan, 1965
13. Romero M., Pears N., “Landmark localisation in 3D face data”, 6th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance, AVSS 2009, s.73–78, 2009.
14. Garcia-Garcia, A., Orts, S., Oprea, S., Villena Martinez, V., Martinez-Gonzalez, P., & Rodríguez, J., A Survey on Deep Learning Techniques for Image and Video Semantic Segmentation, Applied Soft Computing, 70, 41-65, 2018.
15. Tumor detection in MR images of regional convolutional neural networks, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 34:3 (2019) 1395-1408
16. M. F. Valstar and M. Pantic, “Fully automatic recognition of the temporal phases of facial actions,” IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part B Cybern., vol. 42, no. 1, pp. 28–43, 2012.
17. A. Gudi, H. E. Tasli, T. M. Den Uyl, and A. Maroulis, “Deep Learning based FACS Action Unit Occurrence and Intensity Estimation,” vol. 2013, 2015.
18. P. Khorrani, T. L. Paine, K. Brady, C. Dagli, and T. S. Huang, “How Deep Neural Networks Can Improve Emotion Recognition on Video Data,” pp. 1–5, 2016.
19. H.-D. Nguyen, S. Yeom, G.-S. Lee, H.-J. Yang, I. Na, and S. H. Kim, "Facial Emotion Recognition Using an Ensemble of MultiLevel Convolutional Neural Networks," International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2018
20. T. Cao and M. Li, "Facial Expression Recognition Algorithm Based on the Combination of CNN and K-Means," presented at the Proceedings of the 2019 11th International Conference on Machine Learning and Computing, Zhuhai, China, 2019.
21. Tuncer Ergin, Convolutional Neural Network (ConvNet yada CNN) nedir, nasıl çalışır?, <https://medium.com/@tuncerergin/convolutional-neural-network-convnet-yada-cnn-nedir-nasil-calisir-97a0f5d34cad>
22. M. Sonka, V. Hlavac and R. Boyle, “Image processing, analysis, and machine vision. Cengage Learning”, 2014
23. Mesut Pişkin, https://github.com/mesutpiskin/computer-vision-guide/tree/master/code/yuz-tanima/python/dnn_yuz_tespiti
24. Emotion recognition and reaction prediction in videos, (Konferans Tarihi:3-5 Kasım.2017), (DOI:10.1109/ICRCICN.2017.8234476), INSPEC Erişim No: 17467617



Cebirsel Şifrelenmiş LSB Yöntemi

Ali Karaduran^{1*}, Metin Turan²

^{1*} İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

² İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1941-6693)

(Bu yayın 26-27 Haziran 2020 tarihinde HORA-2020 kongresinde sözlü olarak sunulmuştur.)

(DOI: 10.31590/ejosat.1115858)

ATIF/REFERENCE: Karaduran, A. & Turan M. (2021). Cebirsel Şifrelenmiş LSB Yöntemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue), 42-49.

Öz

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte verilerin elektronik ortamda güvenli bir biçimde transfer edilmesi önem kazanmıştır. Bu amaçla birçok yöntem önerilmiş ve kullanılmaktadır. Bu çalışmada, stenografi bilim dalının en az ağırlıklı bit şifreleme tekniği olarak bilinen LSB algoritmasının veri güvenliğini cebirsel ifadeler ile iyileştirmek, belli oranda daha fazla sıkıştırma sağlarken, resim üzerinde oluşan değişim hata oranını da çok artırmamak amaçlanmıştır. Geliştirilen algoritmada mesajın 24 bit renkli resimlere şifrelenmesi sağlanmıştır. Mesajda yer alan her karakter, şifrelenmek istenen resmin 2 pikseline kodlanır. Modelin başarımını ölçmek üzere (orijinal resim ile şifreli resmin değişim oranı) MSE ve PSNR metrikleri kullanılmış, LSB algoritması ile önerilen çalışma yaygın olarak kullanılan bazı model resimler üzerinde farklı uzunlukta mesajlar için karşılaştırılmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, çalışmada önerilen algoritmanın sıkıştırma oranı %33 daha iyi olmasına rağmen, yapılan sınamalarda elde edilen değerlerin ortalamasına göre beklendiği üzere MSE hata oranı %29 artmış ve PSNR %2.5 azalmıştır. Her ne kadar metrik değerleri negatif gözükse de, orijinal resimdeki bu değişimler çok ufak ve gözle algılanabilir olmaktan uzaktır. Kazanılan sıkıştırma oranı ve ayrıca verinin gizlenme güvenliği göz önünde bulundurulduğunda, güvenliğin önemli olduğu uygulamalara hitap ettiği düşünülmelidir.

Anahtar Kelimeler: Stenografi, Kriptoloji, Metin Şifreleme, En Az Ağırlıklı Bit

Algebraically Encrypted LSB Method

Abstract

With the development of technology, the security of data becomes important. There are many methods that ensure the security of digital data with the developing technology. In this study, it is aimed to improve the data security of LSB algorithm which is known as the least weighted bit encryption technique of the steganography discipline by providing algebraic expressions, while increasing the compression rate some ratio, not to increase the error rate of change on the picture. With this developed algorithm, the message is encrypted to 24-bit color images. Each character in the message is encoded to the 2 pixels of the picture to be encrypted. MSE and PSNR metrics were used to measure the performance of the model (the rate of change of the original picture and the encrypted picture). The proposed study with the LSB algorithm was compared for messages of different lengths on some commonly used model pictures. According to the results obtained, although the compression rate of the algorithm proposed in the study was 33% better, the MSE error rate increased by 29% and PSNR decreased by 2.5% as expected compared to the average of the values obtained in the tests. Although the metric values seem negative, these changes in the original image are very small and far from perceptible. Considering the compression rate gained and also the security of data hiding, it should be considered that it addresses applications where security is important.

Keywords: Steganography, Cryptology, Text Encryption, LSB

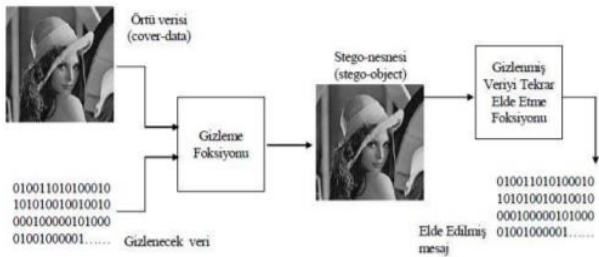
1. Giriş

Teknolojinin gelişmesiyle günlük hayatta veriler elektronik ortamda saklandığından dolayı verilerin güvenliği sağlanamamaktadır. Elektronik ortamda saklanan verinin karşı tarafa gönderilirken verinin korunması ve güvenliğinin olması önemli bir husustur [1]. Gün geçtikçe alınan önlemlere rağmen değişik tehdit yöntemleri çıkmaktadır. Bu tehditlere karşı birçok teknik geliştirilmiştir. Bu tekniklerden bilinen en etkin yollarından biri kriptolojidir [2]. Kriptoloji verinin bir algoritma ile biçim değiştirerek (şifrelenerek) alıcıya gönderilmesi işlemidir. Alıcı bu biçim değiştirmiş veriyi nasıl orijinal hale getireceğine dair yeterli bilgiye sahiptir ve en önemlisi biçim değiştirmiş veri orijinal haline tekrar dönüştürülebilir. Kriptolojinin uygulama alanlarından biri de steganografidir [3]. Steganografi, mesajın dijital verinin içinde kodlanması bilimidir. Steganografi' de verinin gizlenmiş olduğundan haberiniz yoktur, veri esasen dijital bir nesnedir (ses, resim, video). Çoğunlukla resimler üzerine uygulanır ve genel akış şeması Şekil 1'de görülmektedir.

Gizlenecek mesaj düz metin, şifrelenmiş metin ya da bitler halinde kaydedilebilir. Görüntü dosyalarında gizlenecek mesajlar metin dosyası veya herhangi bir resim içerisine şifrelenmiş başka bir resim dosyası da olabilir.

Tarihte steganografi, hem şifreleme yapıldığı zamandan itibaren hem de öncesinde kullanılmıştır. Eski Yunanistan'da mesajlar tahtalara yazılıp üzerine mum kaplanarak cisim kullanılmamış tablete benzetilirdi. Mesajın okunabilmesi için mumun eritilmesi gerekirdi. Benzer bir uygulamada, 1960'lı yıllarda mor ötesi boya ile yazı yazılabilen spre ve kalemlerdir. Bu kalemlerin yazdığı yazılar, sadece bir mor ötesi ışıkla görülebilmekteydi.

Steganografinin mantığı resim dosyasının önemli olmayan bitlerine, şifrelenecek mesajın kodlanması ile insanın fark edemeyeceği yeni bir görüntünün oluşturulmasıdır. Mesajın gizlenmesi için çeşitli yöntem ve teknikler bulunmaktadır.

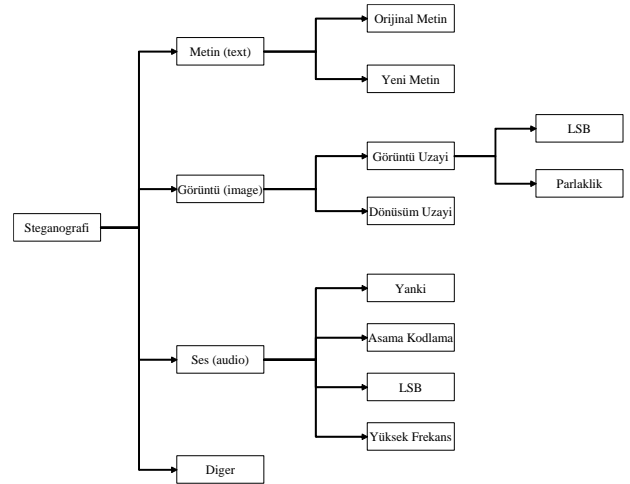


Şekil 1. Steganografinin uygulanması

Steganografinin amacı bilginin var olduğunu saklamaktır. Bu yüzden steganografi kriptolojinin bir parçası olarak görünebilir. Kriptoloji ve steganografi beraber kullanıldığında güvenlik düzeyi artmaktadır. İlk olarak mesaj kriptoloji ile şifrelenir. Daha sonra şifrelenmiş mesaj, veri gizleme işlemi yapılarak dosyaya şifrelenir [4].

Teknolojinin hızlı gelişimi ile verilerimizi korumak gerekli bir hal almıştır. Bu yüzden günümüzde dijital nesnelere üzerinde steganografi çalışmaları yapılmakta ve bu uygulama sıklıkla kullanılmaktadır.

Steganografi kendi içerisinde Dilbilim Steganografi ve Teknik Steganografi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Dilbilim Steganografide metin (text) taşıyıcı veridir. Teknik Steganografinin ise birçok alt metni vardır. Bunlar; görünmez mürekkep, gizli yerler, microdot'lar, ve bilgisayar tabanlı yöntemler gibi başlıklar altında toplanabilmektedir. Bilgisayar tabanlı yöntemler metin, ses, görüntü, resim dosyalarını kullanarak veri gizleme yöntemleridir. Bu Steganografinin veri gizleme yöntemlerinin yapısı Şekil 2' de görülmektedir. Görüntü steganografisinde kullanılan yöntemler ise imge uzayı ve dönüşüm uzayı tabanlı yöntemlerdir. İmge uzayında kullanılan yöntem LSB(Least Significant Bit)' dir. Dönüşüm uzayı tabanlı yöntemler imge verisini frekans uzayına dönüştürüp saklama işlemini dönüşüm uzayında gerçekleştirirler [5].



Şekil 2. Steganografi veri gizleme yöntemleri

2000'li yıllardan sonra, LSB ve Bit Plane Complexity Segmentation (BPCS) yöntemiyle, dönüştürme tekniğiyle ve permütasyon tekniği ile resim içerisine veri çalışmaları gerçekleştirilmiştir [6].

C. Koçak (2015) Erciyes üniversitesinde yayınlanan makalesinde kriptoloji ve steganografi üzerine çalışma yapmıştır. Bu çalışma kapsamında 2bit LSB yöntemi kullanılmıştır. RGB değerlerinden R ve G değerleri kullanılmıştır. Bu yöntemde 4 bit değiştirerek veri gizleme işlemi gerçekleştirilmiştir [7].

Y. Yıldız, A. T. Özcerit (2015) Sakarya Üniversitesinde yayınlanan makalesinde Steganografi üzerine çalışma yapmıştır. Bu çalışma kapsamında 24 bit Renkli hareketli videoların RGB değerlerinde cebirsel işlemler yaptıktan sonra yeni oluşan Red Green Blue değerlerine kaydetmektedir. Çalışmada gizlenen veri uzunluğu arttıkça piksel sayısında bozulmalarda arttığı görülmüştür. Fakat bu artış diğer veri gizleme algoritmalarına göre çok küçüktür [8].

Bu çalışmada yazılan metni gizliliğini ve güvenliğini artırmak için metinde yer alan her bir karakteri Resmin 2 pikselinin RGB değerlerinde cebirsel şifreleme yapmaktadır. Bu işlem her bir karakter için uygulanmaktadır ve resmin hangi piksel değerinde kalındıysa o pikselden devam etmektedir. Verinin gizliliğini artırmak için Cebirsel LSB yönteminin geliştirilmesi ve geliştirilen Cebirsel LSB yöntem ile LSB yönteminin karşılaştırılması yapılmıştır.

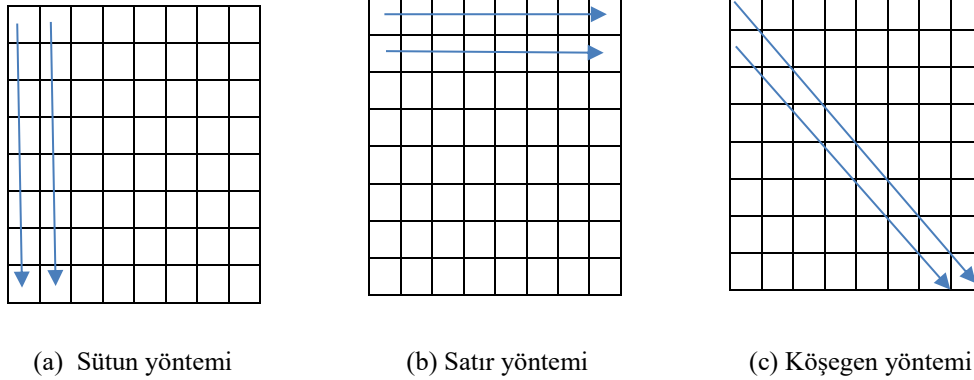
1.1. Least Significant Bit (LSB)

En Önemli Bite ekleme yöntemi (LSB) yaygın olarak kullanılan ve uygulaması basit bir steganografi yöntemidir. Gizli mesajın bitlerinin örtü imgenin piksellerin en önemli bitiyle yer değiştirilmesidir. Resmin satır veya sütunlarına mesajın bitleri gizlenebilir bu durumda mesajın geri elde edilmesi daha kolay olacaktır. LSB yönteminin temelinde olan piksellere birçok teknik uygulanabilir. Bu yöntemlere örnek olarak ayrık logaritma fonksiyonu ve Laplacian kenar bulma algoritması verilebilir [9].

Sayısal değeri düşük olan bit üzerinde yapılacak değişimin, resim üzerindeki etkisi göz ile fark edilecek kadar belli olmayacaktır. LSB yöntemi ile genellikle yüksek kalitedeki

görsel dosyalarda, yüksek miktarda veri gizleme işlemi yapılmaktadır. Fakat uygulamasının yaygınlığı ve iyi bilinmesinden dolayı bu yöntem saldırılara karşı dayanıksızdır [10].

Veri görüntü içerisinde satır, sütun veya köşegen sıralı olarak resmin piksellerine gizlenebilmektedir [11]. Bu yöntemler Şekil 3'te görülmektedir. Şeklin b şikkında satıra veri gizleme işlemi ilk satırdan itibaren soldan sağa doğru ilerlemektedir. Şeklin a şikkında sütuna veri gizleme işlemi de benzer biçimde ilk sütun'dan itibaren yukarıdan aşağıya doğru ilerlemektedir. Şeklin c şikkında ise, köşegen uygulamasında veri gizleme işlemi görülmektedir. Projede önerilen LSB yönteminde veri gizleme işlemi satır sıralı soldan sağa doğru olacak şekilde uygulanmıştır.



Şekil 3. LSB yönteminin resim üzerinde piksellere uygulanma yöntemleri

24 -bit renkli resimde LSB yönteminin uygulanması çok basittir. Her piksel 3 bayt ile temsil edilmektedir. Bu durum, bir pikselin rengini belirleyen 3 ana renk olan R(Kırmızı) , G(Yeşil), B(Mavi) 'den oluşmasındandır. Buna pikselin RGB değeri denmektedir. Bu durumda her baytın son bitini değiştirmek suretiyle bir pikselde 3 bitlik bilgi saklanabilir. Gizlenmek istenen mesaj, saklama işleminden önce sıkıştırılırsa, çok daha fazla sayıda bilgi resmin içine gizlenebilir. Örneğin, bir resmin orijinal halinin 3 pikseline ait RGB değerleri aşağıdaki gibi olsun.

1. piksel : 10010101 00001101 11001001 (149,13,201)
2. piksel : 10010110 00001111 11001010 (150,15,202)
3. piksel : 10011111 00010000 11001011 (159,16,234)

Yukarıdaki verilen 3 pikselin içine 'a' karakterini gizlediğimizi düşünürsek. 'a' karakterinin ASCII kodu olan 97'ye eşdeğer bit dizisi "01100001" olacaktır. Bu 8 bit toplamda 8 bayt veri üzerine gizlendiğinde oluşan yeni piksel değerleri aşağıdaki yer almaktadır. Buradaki örnekte orijinal değerlerden sadece 4 bitte değişiklik olmuştur (koyu yazılmış olanlar).

1. piksel : 1001010**0** 00001101 11001001 (149,12,201)
2. piksel : 10010110 000011**10** 11001010 (151,14,203)
3. piksel : 1001111**0** 0001000**1** 11001011 (159,16,234)

Sonuç olarak elde edilen yeni renk tonları çok ufak değişimlere uğradığından, bu değişikliğin göz ile tespiti mümkün olmayacaktır. LSB yönteminin çıkış noktası, en az ağırlıklı bite uygulanmak üzere olsa da, en az ağırlıklı farklı sayıda bite uygulanacak çeşitli yöntemlerde önerilmiştir [12]. Önerilen Cebirsel Şifreleme modelinde eklenen rakam değerleri

olduğundan, en fazla 9 değeri alabilmekte, bu sebeple en az ağırlıklı 4 bit üzerinde çalışmaktadır.

1.2. Least Significant Bit (LSB) Algoritmasının Geliştirilmesi

Bu çalışmada, LSB yönteminin saldırılara karşı dayanıksız olmasından dolayı, yöntemin güvenliğini artırmayı amaçlayan bir matematiksel kodlama yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntemde, mesajın 1 karakteri resmin 2 pikselinin RGB değerlerine gizlenmektedir. Mesaj, görüntü içerisinde satırlar bazında yazılmaktadır. Resmin toplam piksel sayısının yarısı kadar karakter şifrelenebilmektedir. Geliştirilen bu yöntem, basit LSB yöntemine göre veri gizlemede daha fazla veri saklama olanağı tanınmasının yanı sıra, yöntemi bilmeyenler tarafından anlaşılabilmesi ve çözülebilmesi geleneksel LSB yöntemlerine göre oldukça zordur. Ayrıca şifrelenmiş görüntüler üzerinde uygulanan kalite metriklerinin değerlerine göre, yöntemin görsel kalitede önemsenerek bozulmalara yol açmadığını da görülmektedir.

1.3. Cebirsel Şifreleme Yöntemi

Önerilen şifreleme yöntemi, basit cebirsel işlemlerden sonra elde edilen toplam değerlerin piksellere dağıtılmasına dayanmaktadır. Hem cebirsel işlem hem de farklı piksellere dağılan rakamlardan dolayı yöntem daha güvenilirlerdir.

Öncelikle, mesajın her bir karakterinin ASCII kod değerinin basamak değerlerinin 3 farklı toplamı elde edilir. Bu toplamlar daha sonra sırasıyla piksellerdeki renk baytlarına dağıtırlar. Böylece piksel bazında tahmin edilebilirlik ortadan kalktığı gibi, cebirsel yöntemin getirdiği daha fazla bir güvenlik söz konusu olmaktadır. Bu cebirsel ifadeler daha sonra kullanılarak, orijinal

basamak değerlerinin kolayca tekrardan elde edilmesi mümkündür.

Teori:

3 basamaklı bir sayının (karakterin ASCII değeri) yüzler basamağını x, onlar basamağını y ve birler basamağını z ile göstereyim. Bu durumda 3 cebirsel toplam yazılarak elde edilecek değerlerden tekrar orijinal değere ulaşmak mümkündür.

$$xy = x+y \text{ (1. Toplam)} \quad yz = y+z \text{ (2. Toplam)}$$

$$xyz = x+y+z \text{ (3. Toplam)}$$

Olmak üzere, x değeri; xyz-yz cebirsel farkından, z değeri; xyz-xy cebirsel farkından ve nihai olarak y değeri; xyz-(x+z) cebirsel farkından tekrar elde edilebilir.

Örnek:

Basit bir "ab" mesajının, çalışmada önerilen yöntemle şifreleme ve çözme algoritmalarının nasıl uygulandığı aşağıda örneklenmiştir.

(a karakteri için)

$$097 \rightarrow xy = \text{yüzler basamak değeri} + \text{onlar basamak değeri}$$

$$(0 + 9) = 09$$

$$yz = \text{onlar basamak değeri} + \text{birler basamak değeri}$$

$$(9 + 7) = 16$$

$$xyz = \text{yüzler basamak değeri} + \text{onlar basamak değeri} + \text{birler basamak değeri} (0 + 9 + 7) = 16$$

(b karakteri için)

$$098 \rightarrow xy = \text{yüzler basamak değeri} + \text{onlar basamak değeri}$$

$$(0 + 9) = 09$$

$$yz = \text{onlar basamak değeri} + \text{birler basamak değeri}$$

$$(9 + 8) = 17$$

$$xyz = \text{yüzler basamak değeri} + \text{onlar basamak değeri} + \text{birler basamak değeri} (0 + 9 + 8) = 17$$

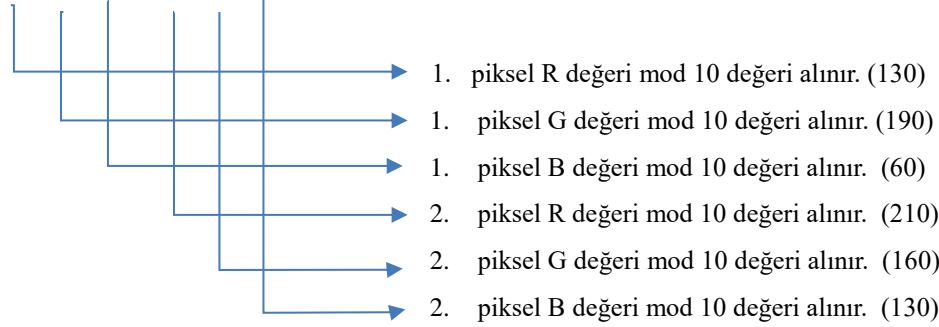
Elde edilen bu toplamlar, daha sonra ilgili resimde yer alan piksellerin RGB baytlarına aşağıdaki gibi kodlanır. Her renk değeri 0 ile 255 arası bir yoğunluk değeriyle belirlendiğinden, yöntemde her renk değerine mod 10 uygulanır ve sıfırlanan birler basamak değerine şifrelenecek mesaja ait toplam değerlerin rakamları (sıfır ile başlasa bile iki basamak olarak düşünülerek) sırasıyla yerleştirilir. İşlemin nasıl uygulandığı aşağıda örneklenmiştir.

Orijinal resime ait ilk satır ilk 4 piksel değerinin aşağıdaki gibi olduğunu varsayalım.

1. piksel			2. piksel			3. piksel			4. piksel		
R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
135	197	63	215	167	133	234	97	145	253	155	28

1.piksel 2.piksel

R G B R G B



Daha sonra, gizlenecek mesajın 'a' karakteri cebirsel toplamlarının rakamları mod işlemine tabi tutulmuş bu sayısal değerlere eklenir.

$$130 + xy \text{'nin onlar basamağı} = 130 + 0 = 130$$

$$190 + xy \text{'nin birler basamağı} = 190 + 9 = 199$$

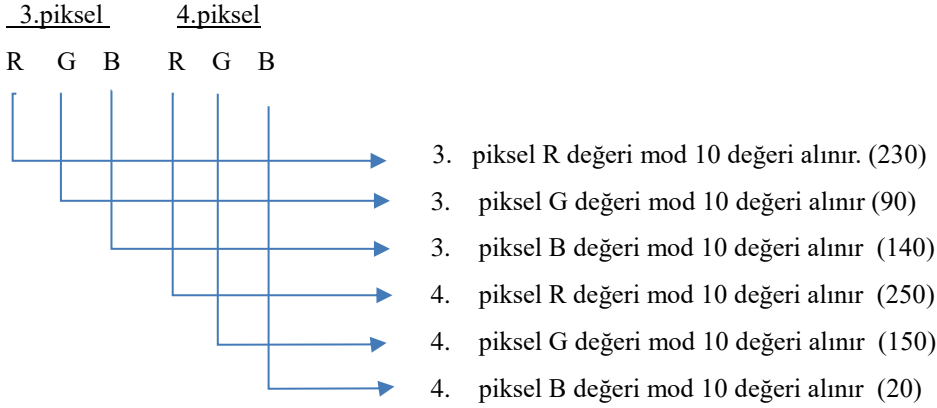
$$60 + yz \text{'nin onlar basamağı} = 60 + 1 = 61$$

$$210 + yz \text{'nin birler basamağı} = 210 + 6 = 216$$

$$160 + yz \text{'nin onlar basamağı} = 160 + 1 = 161$$

$$130 + yz \text{'nin birler basamağı} = 130 + 6 = 136$$

Benzer işlem gizlenecek mesajın 'b' karakteri için uygulanacak olursa aşağıdaki değerler elde edilecektir.



$$230 + xy' \text{nin onlar basamağı} = 230 + 0 = 230$$

$$90 + xy' \text{nin birler basamağı} = 90 + 9 = 99$$

$$140 + yz' \text{nin onlar basamağı} = 140 + 1 = 141$$

$$250 + yz' \text{nin birler basamağı} = 250 + 7 = 247 (>255, \text{ onluk basamak 1 eksiltir } \rightarrow 246 \text{ olur})$$

$$150 + yz' \text{nin onlar basamağı} = 150 + 1 = 151$$

$$20 + yz' \text{nin birler basamağı} = 20 + 7 = 27$$

Resim üzerinde 'ab' mesajı şifrelenmiş piksel değerleri artık aşağıdaki gibi olacaktır.

1. piksel			2. piksel			3. piksel			4. piksel		
R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
130	199	61	216	161	136	230	99	141	247	151	27

Yeni piksel değerlerinden görüleceği üzere, renk kodlarının sayısal değerlerinin değişimi sınırlı olduğundan, gözle görünür bir biçimde resim üzerinde bir fark yaratmayacaktır. Şifreleme işleminin çözülme algoritması ise aşağıdaki gibidir.

1.4. Cebirsel Şifreleme Çözme Yöntemi

Şifreleme yapılan piksellerin R G ve B değerlerinin mod 10 değeri alınır böylelikle piksele hangi sayının eklendiği bulunur. Bulunan bu sayılar ağırlıklandırılarak (1.piksel R*10) + (1.piksel G) işleminin sonucu x+y değeri bulunur. Daha sonra (1.piksel B *10) + (2.piksel R) işleminin sonucu ise y+z değeri bulunur ve en sonunda (2.piksel G *10) + (2.piksel B) işleminin sonucu ise x+y+z değeri elde edilir.

Teoride verilen 3 bilinmeyenli 3 farklı denklem kullanılarak, x, y ve z değerleri bulunur. Nihai olarak, (x*100)+(y*10)+(z) cebirsel işlemi bize mesajdaki orijinal karakterin ASCII değerini verecektir. Bu değer ile orijinal karakter tablodan artık bulunabilir. Bu işlem mesaj uzunluğunda metin elde edilene kadar devam uygulanır. Bu algoritmayı sadece ilk mesaj karakteri 'a' için uygularsak;

$$130\%10=0 \text{ ve } 199\%10=9 \text{ değerlerinin ağırlıklı toplamı } (0*10+9) \text{ xy'yi verir, yani 9'dur.}$$

$$61\%10=1 \text{ ve } 216\%10=6 \text{ değerlerinin ağırlıklı toplamı } (1*10+6) \text{ yz'yi verir, yani 16'dır.}$$

$$161\%10=1 \text{ ve } 136\%10=6 \text{ değerlerinin ağırlıklı toplamı } (1*10+6) \text{ xyz'yi verir, yani 16'dır.}$$

Buradan x, y ve z değişkenleri (basamak rakamları) bulunur.

$$x=xyz-yz \text{ cebirsel işleminden, } 16-16=0 \text{ olarak bulunur.}$$

$$z=xyz-xy \text{ cebirsel işleminden, } 16-9=7 \text{ olarak bulunur.}$$

$$y=xyz-(x+y) \text{ cebirsel işleminden, } 16-(0+7)=9 \text{ olarak bulunur.}$$

Karakterin ASCII değeri ise, ağırlıklar kullanılarak (x*100)+(y*10)+(z) cebirsel işleminden 97 olarak bulunur. ASCII tablosunda 97 değeri 'a' karakterine karşılık gelmektedir.

2. Görüntü Kalite Tespiti

LSB ve önerilen cebirsel şifreleme modeli tarafından şifrelenmiş resimler, orijinal resimler ile karşılaştırılmıştır. Görüntü kalitesi metrikleri olarak PSNR ve MSE kullanılmıştır. Bu yöntemler için Matlab fonksiyonları uygulanmıştır.

2.1. Ortalama Karesel Hata (Mean-Squared Error-MSE)

Bir görüntü üzerinde farklı tip işlemler yapıldıktan sonra orijinal görüntü ile işlem yapılmış görüntüyü karşılaştırmak için kullanılır. Görüntüde oluşabilecek farklılıkları karşılaştırmak için kullanılan karesel ortalama hata tahminidir [13]. Bu metriğin hesaplanması basittir ancak insanın kalite algısına uygun değildir. Ortalama karesel hata ne kadar küçükse, aslına o kadar yakındır. Matlab uygulamasında “immse” komutu ile hesaplanır. MSE performans değerini ölçer, her zaman pozitif değerlidir ve MSE değeri sıfıra yakın olan tahminleyicilerin daha iyi bir performans gösterdiğini söylenmektedir.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2 \quad (2.1)$$

2.2. Tepe Sinyali Gürültü Oranı (Peak Signal to Noise Ratio -pSNR)

Dijital görüntülerde görüntüler arasındaki benzerliği ortaya çıkarabilmek için PSNR kullanılmaktadır. Metin resme şifrelendikten sonra görüntü üzerindeki bozulmalar PSNR değeri ile anlaşılır. PSNR değerinin yüksek olması resmin kalitesini ve görüntü üzerindeki bozulmaların daha az olduğunu göstermektedir [14]. Metnin içindeki gizlenmiş görüntünün bozulmalarını hesaplayan PSNR değeri 2.2’deki formül ile bulunmaktadır. PSNR değerini dB cinsinden hesaplamaktadır. PSNR değeri Matlab uygulamasında “psnr” komutu ile hesaplanır.

$$PSNR = 10 * \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right) \text{ (dB)}$$

(2.2)

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Steganografi’ de verinin gizliliği önemlidir. LSB algoritmasında mesajın 1 karakteri resmin 8 baytına

kopyalanmaktadır. Önerilen cebirsel şifreleme yaklaşımında ise 1 karakter resmin 2 pikseline (yani toplam 6 bayta) eklenmektedir. Böylelikle veri güvenliğinin artırılmasının yanı sıra, yaklaşık %33 oranında (8 / 6 \cong %33) veri sıkıştırma da sağlanmaktadır.

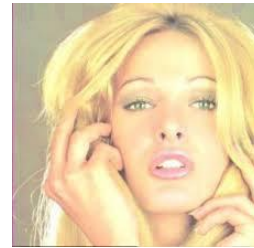
Veri gizleme işlemi resmin piksellerine satır öncelikli uygulanmıştır. Piksellerin renk değerlerine, cebirsel işlem sonucunun rakamları en ağırlıklıdan başlayarak sırasıyla yerleştirilir. Örneğin cebirsel toplam 18 ise, ilk piksele 1 sonraki piksele 8 eklenir. Doğal olarak en büyük rakam 9 olabileceğinden dolayı her renk baytının en az ağırlıklı son 4 biti değiştirilebilir. Fakat öncesinde renk değerinin son rakamı mod işlemi ile atıldığından, sonuç olarak normal şartlarda değişim olmamaktadır. Sadece eğer renk değeri >250 ise bu durumda eklenecek yeni rakam değeri ASCII kod sınırını aşmasına neden olmaktadır ki, bu durum renk değerinin onlar basamağının bir eksiltilmesi şeklinde uygulanmıştır. Renk değerinin son rakamı çıkartılarak, yerine cebirsel ifadenin yeni rakamı eklendiğinden MSE hatalarının çok olmaması beklenmektedir. Fakat bahsedildiği üzere renk değeri çok canlı olan resimlerde, modelde hata oranı büyüme eğilimindedir. Yapılan denemelerde benzer sonuçlar elde edilmiştir. Veri güvenliği ve sıkıştırmadan kaynaklı MSE hata oranının artması kabul edilebilir düzeydedir. Elde edilen şifrelenmiş resimler orijinallerinden çıplak gözle fark edilebilir değildir.

Genel olarak sınamalarda kullanılan 24 bitlik Tiffany, Peppers, Airplane, Baboon resimlerine 25, 251 ve 2070 karakter uzunluğunda hem LSB, hem de cebirsel LSB yöntemi uygulanarak veri gizleme işlemi yapılmıştır. Orijinal resimler ve cebirsel şifrelenmiş resimler Şekil 4’ de görülmektedir. Her iki yöntemle şifrelenen resimlerin kalite karşılaştırılması, MSE ve PSNR metrik değerleri, Tablo 1 ve Tablo 2 ‘de verilmiştir.

25 karakter şifrelenmiş olan resimlerde LSB yönteminin MSE metrik değeri, Cebirsel LSB yöntemi ile şifrelenmiş olanlarla hemen hemen aynı bulunmuştur. Bununla birlikte, beklendiği üzere, karakter sayısı arttıkça cebirsel yöntemin MSE değeri artmaktadır. Yapılan sınamalarda elde edilen değerlerin ortalamasına göre MSE hata oranı %29 artmış ve PSNR %2.5 azalmıştır. Her ne kadar metrik değerleri cebirsel MSB için negatif gözükse de, orijinal resimdeki bu değişimler çok ufak ve gözle algılanabilir olmaktan uzaktır.



(a)



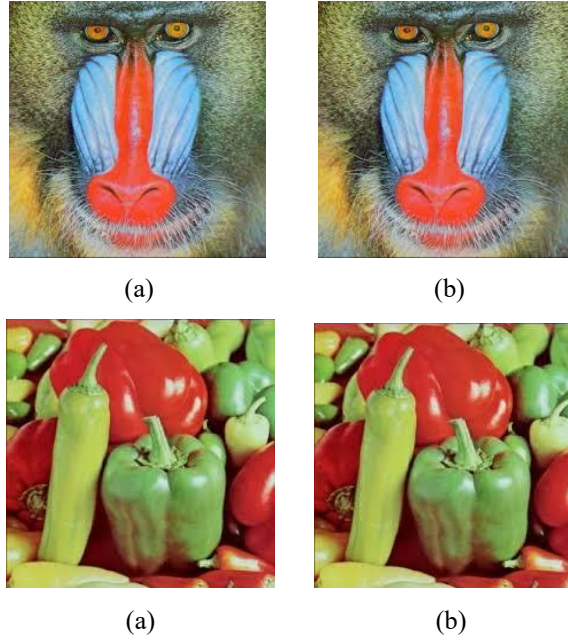
(b)



(a)



(b)



Şekil 4. Çalışmada kullanılan görüntüler (a) Orijinal Resim (b) Stego Resim

Tablo 1. LSB yönteminin uygulanmasının görüntü kalite değerlikleri

Resim Adı	Karakter Uzunluk	MSE	PSNR(db)
Airplane	25	2,13	44,88
Baboon	25	2,36	44,43
Tiffany	25	0,98	48,26
Peppers	25	1,41	46,66
Airplane	251	2,13	44,88
Baboon	251	2,36	44,43
Tiffany	251	0,98	48,24
Peppers	251	1,40	46,71
Airplane	2070	2,13	44,87
Baboon	2070	2,35	44,45
Tiffany	2070	0,98	48,26
Peppers	2070	1,41	46,67

Tablo 2. Cebirsel Şifrelenmiş LSB yönteminin uygulanmasının görüntü kalite değerlikleri

Resim Adı	Karakter Uzunluk	MSE	PSNR(db)
Airplane	25	2,14	44,85
Baboon	25	2,36	44,43
Tiffany	25	0,99	48,22
Peppers	25	1,43	46,62
Airplane	251	2,26	44,61
Baboon	251	2,47	44,24
Tiffany	251	1,66	45,95
Peppers	251	2,07	45,01
Airplane	2070	3,17	43,15
Baboon	2070	3,65	42,53
Tiffany	2070	1,95	45,25
Peppers	2070	2,44	44,29

4. Sonuç

Çalışmada C# programlama dili kullanılmıştır. Resmin piksellerine veri gizleme işlemleri yapıldıktan sonra, MSE ve PSNR metrik değerlerinin hesaplanması için Matlab programı kullanılmıştır.

25, 251 ve 2070 karakterlik veriler kullanılarak LSB ve Cebirsel LSB yöntemleri ile şifrelenen veriler görüntülerin içerisine satır olarak gizlenmiştir. Karakter sayısı arttıkça cebirsel LSB yöntemi ile şifrelenmiş resimlerdeki MSE metrik değeri arttığı görülmüştür. Metrik değerleri cebirsel LSB yöntemi için olumsuz görülmüş orijinal resimlerdeki bu değişimler çok ufak ve gözle algılanamamaktadır. Kazanılan sıkıştırma oranı ve ayrıca verinin gizlenme güvenliği göz önünde

bulundurulduğunda, bu yöntemin güvenliğinin önemli olduğu uygulamalara hitap ettiği düşünülmelidir.

Kaynakça

- [1] F. Özbilgin, F. Durmuş, S. Karagöl, Yazılı metni şifreleyip LSB yöntemi ile gizleme, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2018
- [2] H. K. Sevindir, N. Sayın, Dalgacık Dönüşümü Tabanlı Görsel Kriptoloji, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2018
- [3] A. Şahin, E. Buluş, M. T. Sakallı, 24-bit renkli resimler üzerinde en önemsiz bite ekleme yöntemini kullanarak bilgi gizleme, Trakya Üniversitesi, 2005
- [4] M. Aydoğan, Adli bilişimde görüntü üzerine kriptografi uygulamaları, Fırat Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, 2014

- [5] Ö. Kurtuldu, İmge kareleri kullanan yeni bir steganografi yöntemi, *Journal of Naval Science and Engineering*, 2009
- [6] M. Bilgin, Steganografi, *Akademik Bilişim 2013 – XV. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri*, 2013
- [7] C. Koçak, Kriptografi ve stenografi yöntemlerini birlikte kullanarak yüksek güvenli veri gizleme, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü dergisi*, 2015
- [8] Y. Yıldız, A. T. Özcerit, 24 bit renkli hareketli resimler (video) üzerinde geliştirilen sır örtme yöntemi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri dergisi*, 2015
- [9] C. Olcay, N. Saran, İmge içine Bilgi gizlemede kullanılan LSB Yöntemlerinin karşılaştırılması, *Çankaya University Journal of Science and Engineering*, 2013
- [10] T. Tuncer, E. Avcı, Yerel ikili örüntü tabanlı veri gizleme algoritması: LBP-LSB, *Türkiye Bilişim vakfı bilgisayar bilimleri ve mühendislik dergisi*, 2017
- [11] E. Güvenoğlu, Resim şifreleme amacıyla dinamik S kutusu tasarımı için bir yöntem, *El-Cezeri Fen ve Mühendislik dergisi*, 2016
- [12] F. Doğan, R. Daş, İ. Türkoğlu, İmgeler için farklı bir veri gizleme yaklaşımı, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 2016
- [13] T. Tuncer, E. Avcı, Göktürk alfabesi tabanlı görsel sır paylaşımı metodu ile veri gizleme uygulaması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Dergisi*, 2016
- [14] Ü. Kaş, E. Tanyıldızı, Euler Renk ve hareket büyütme yöntemlerinin performans analizi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri dergisi*, 2017.



Görüntülü Mobil İletişimde Hologram Teknolojisinin Kullanımı

Şafak Kayıkçı^{1*}, Ahmet Yürekli²

¹ Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bolu, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3325-4731)

² Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bolu, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3010-6458)

(Bu yayın 26-27 Haziran 2020 tarihinde HORA-2020 kongresinde sözlü olarak sunulmuştur.)

(DOI: 10.31590/ejosat.1115882)

ATIF/REFERENCE: Kayıkçı, Ş. & Yürekli, A. (2021). Görüntülü Mobil İletişimde Hologram Teknolojisinin Kullanımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue), 50-54.

Öz

Hologram teknolojisi günümüzde birçok değişik alanda kullanılmaktadır ve uygulamalarda kolaylıklar sağlamaktadır. Lazer ışınlarının karışımı ile oluşan hologramlar üç boyutlu bir görünüme sahiptir. Fen bilimlerinden medyaya kadar çok geniş alanlarda denenmektedirler. Çoğunlukla güvenlik amaçlı sektörlerde işlenen hologramlar, bir objenin lazerle gösterilmesidir. Günden güne yaygınlaşan bir teknolojiyle, normal hayat düzeninde ve sanayide karşımıza çokça çıkabilecek üç boyutlu modellemedir. Bu projede akıllı telefonun veya tabletin üzerine yerleştirilebilen holografik piramit şeklinde cam bir materyal kullanılmıştır. İstemci sunucu mimarisine bir iletişim modeli kurulup görüntünün eş zamanlı olarak karşıdaki kişiye yansıtılması amaçlanmıştır. Bu tür görüntüler, camın üzerindeki piramit üzerindeki kenarların kırkbeş derece konumlandırılması ile çalışmaktadır. Uygulama çeşitli ekran çözünürlükleri ve dpi ayarlarında test edilmiş, ölçeklendirme konusunda herhangi bir sorun yaşanmamıştır. Uygulama sunucu modunda yada istemci modunda çalışırken cihaz performansını olumsuz etkilememiştir. Aktarılan görüntüde kalite kaybı görülmemiştir. Ancak sıkıştırma işlemlerinde kaliteden ödün verilmediği için saniyedeki kare sayısında düşüklük yaşanmaktadır. İstemci ile sonucu arasında resimler base64 formatına çevirilerek iletilmektedir. Hernekadar görüntü geleneksel holografik piramitte piramidin merkezi etrafında yüzüyor gibi görüne de, görüntünün kendisi üç boyutlu değil iki boyutludur. Yapılan uygulama ile 3D görüntü elde edilmiştir. Böylece iyi bir gerçeklik duygusu kazanılmıştır. Önerilen sistem görüntülü iletişim, askeri eğitim, tıbbi eğitim, müze sergisi, mağaza sergisi ve temapark cazibe merkezleri gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak uygulanabilir.

Anahtar Kelimeler: Hologram, Mobil İletişim, İnovasyon

Use of Hologram Technology in Video Mobile Communication

Abstract

Hologram that we encounter in many different areas today has managed to attract the attention of few of us, opens the doors of many technological facilities. It has a three-dimensional appearance, is a kind of mixture of laser beams and is used in many areas from the printing publication to the physics world. Hologram, which is a method developed for security purposes is the expression of a product or object through laser beams. It is a technology that is expanding more and more and it is a three-dimensional painting technique that we encounter in many places in everyday life and industry branches. In this project, a glass material in the form of a holographic pyramid which can be placed on the smartphone or tablet, is used. It is aimed to establish a communication model with the client server architecture and reflect the image to the other person simultaneously. These types of images work by positioning the edges on the pyramid on the glass fortyfive degrees. The application has been tested in various screen resolutions and dpi settings, and no problem has been encountered in scaling. While the application runs in server mode or client mode, it does not negatively affect device performance. There is no loss of quality in the transferred image. However, since compression is not compromised in quality, the number of frames per second is low. The pictures are converted to base64 format between the client and the result. Although the

* Sorumlu Yazar: Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-3325-4731, safak.kayikci@ibu.edu.tr

image seems to float around the center of the pyramid in the traditional holographic pyramid, the image itself is two-dimensional. A three dimensional image is obtained with the application. Thus, a good sense of reality is gained. The advanced framework can be applied extensively in different fields like video communication, military education, medical education, museum exhibition, store exhibition and theme park attractions.

Keywords: Hologram, Mobile Communication, Innovation

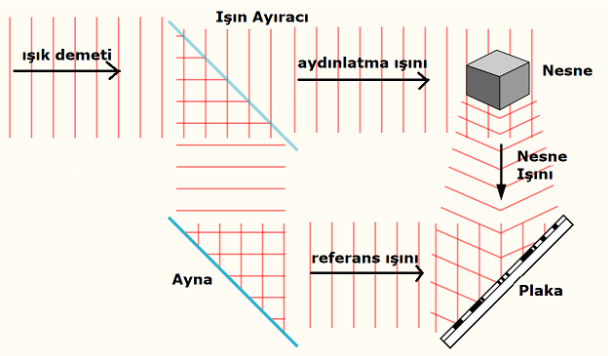
1. Giriş

Hologram terimi 1949'da, Macar doğumlu İngiliz elektrik mühendisi ve fizikçi Dennis Gabor tarafından icat edilmiştir [1]. Kendisi daha sonra bu yöntem üzerine 1971'de Nobel Fizik Ödülü'nü kazanmıştır. Hologram, Yunanca "bütün" anlamına gelen "holos" ve "mesaj" anlamına gelen "gramma" kelimelerinin birleşimidir. Bir mesajı oluşturmak için bir araya gelmek yani başka bir deyişle bütün resmi oluşturmak anlamına gelmektedir. Geleneksel fotoğrafçılığın aksine, bir hologram üç boyutlu bir görüntüdür veya öyle bir izlenim verir. Işık kullanılarak, lazerler şeklinde yaratılarak gibi farklı farklı holografik teknikler vardır.

Günümüzde hologramlar kredi kartları, pasaportlar, markalı ürünler gibi çoğunlukla bir ürünün kimlik doğrulamasını ya da orijinal olup olmadığını göstermek için kullanılmaktadır. Bu hologramlar, bir lazer ışınının açılı bir ayna kullanılarak iki ayrı ışına bölünmesiyle oluşturulur. Bu daha sonra bir nesne ışını ve bir yansıma ışını oluşturur. Farklı yönlerde ilerlerken, her ikisi de diğer açılı aynalardan yansıtılır. Nesne ışını daha sonra hologram görüntüsünü oluşturacak olan nesneden ve son olarak uç yüzeye (holografik plaka olarak da bilinir) yansıtılırken, yansıma ışını doğrudan plakaya yönlendirilir. Bu iki ışın bir araya geldikçe hologram oluşturulur. Bunların dışında en çok kullanılan hologram üretme teknikleri aşağıda incelenmiştir.

Çalışma prensibi olarak hologram teknolojisi üç boyutlu nesnelerin lazerler etkileşerek farklı ortamlara iletilmesidir. Gelen ışık yarı saydam bir aynada ikiye ayrılır. Birincisi mercecek tarafından nesneyi aydınlatır. İkincide aynadan iletilerek panele gider. Her iki ışığın panelde yansmasıyla istenilen model yaratılır. İlaveten diğer bir lazer ise direk panele gönderilir. Bu iki lazerin birleşerek keşismesiyle panel üzerinde nesnenin 3D görüntüsü oluşur [2].

Şekil 1. Hologram Çalışma Prensibi



2. Hologram Teknikleri

2.1. Pepper'in Hayaleti Etkisi

Pepper'in Hayaleti Etkisi (Pepper Ghost Effect) tiyatro, eğlence parkları, müzeler, televizyon ve konserlerde kullanılan e-ISSN: 2148-2683

bir yanılsama tekniğidir. Adı, 1862'de bir gösteride efekti popülerleştiren İngiliz bilim adamı John Henry Pepper'ın (1821-1900) adını almıştır. Yanılsamayı sahnelemek için kullanılan temel cihaz, iki görüntüyü izleyicinin bakış açısıyla birleştirmek için tersine çalışan bir optik ışın ayırıcıdır. Işın ayırıcı eleman tipik olarak büyük, düz bir sıradan cam tabakasıdır. Bir sahnenin görüntüsü cam yüzeyinden izleyicilere yansıtılır ve ikinci bir sahnenin görüntüsü camdan iletir. Sahne aydınlatması, gözlemcilere görünmeyen camın kendisini değil sahneleri seçici olarak aydınlatmak için kontrol edilir [3]. Birleştirilmiş görüntü orijinaldir ve bir yanılsama değildir, yanılsama camı algılamayan seyirciden oluşur.

Pepper'ın Hayaleti Etkisi, uzun yıllardır denenen ve test edilmiş sağlam bir tekniktir. Büyük ölçekli projeksiyonlardan küçük sunumlara kadar değişik ölçeklerde kullanılabilir. Ancak, bu etkiyi oluşturmak için, kurulumu durgun ve ağır hale getiren yeterli bir pleksiglase (holografik görüntüyü görüntülemek istediğiniz sahnede 45° açıyla yerleştirilmiş) ihtiyaç vardır. Işık faktörlerine bağlıdır, yani genel ortamın projeksiyonu görünür yapacak kadar karanlık olması sağlamamak hayati önem taşır. Gerçek hayattaki öğelerin konumlandırılması, hareketlerinin dikkatlice planlanması ve koordine edilmesi gerekir. Böylece sanatçı camla temas etmez veya görüntüyü bir şekilde gizlemez.

2.2. Holografik Duman Ekranı

Holografik duman ekranı, hologramın yansıtılacağı bir ekranda olarak yapay olarak üretilen duman veya yarı saydam bir ağ kullanarak çalışır. Bu durumda, projeksiyon altından ziyade arkadan gelir. Bu, bir hologram izlenimi veren spektral görüntü efektini yaratır. Hayalet gibi bir atmosfer ve etki yarattığı için sahne yapımları için etkili bir tekniktir [4]. Tiyatro tekniği olarak iyi kullanılmış ve kurulmuştur. Bunun yanında, ek malzemeler ve yarı saydam ağın arkasında ya da önünde bırakılacağı için gerçek dünyada iyi bütünleşmiş olmaz. Duman kullanıldığında, diğer karakterler görüntüyü kesintiye uğratarak, ışık gibi çevre faktörleri açısından efekti olumsuz yapar.

2.3. Holografik Ağlar

Holografik dünyaya giren en son teknolojilerden biri, görüntüleri çeşitli renklerde görüntüleyen neredeyse şeffaf bir LED ışık perdesi olan holografik ağlardır [5]. Bu LED'ler, 3D holografik tesir sunan görüntüler oluşturmak için programlanmıştır. Holografik ağlar, küçük ekranlardan renkli resimlerle binaları örtmeye kadar her şey için kullanılmıştır. Markalarını ışıktaki göstermek isteyen şirketler için en uygun reklam fırsatlarını sunarlar. Bir binanın büyüklüğüne kadar büyük ölçekli görüntüler oluşturma yeteneğine sahiptirler. Uygulamasında esneklik sağlar, düz veya kavisli olarak kullanılabilir. Nihai sonuç etkili olmasına rağmen, bir 3D görüntünün taklididir. İzleyici her zaman bir tür ekrana baktıklarının farkında olduğu için diğer varyantlar kadar sürükleyici değildirler.

2.4. Holografik Döner Ayna

Holografik döner ayna basit ama etkili bir çözümdür. Bir 3D görüntünün izlenimi, bir eğirme aynasının bir açığı yerleştirilmesi ve üzerine yüksek hızlı bir video yansıtılmasıyla verilir. Bu daha sonra ekranı oluşturmak üzere yansıtılır. Güney Kaliforniya Üniversitesi'nde geliştirilen çözüm, 3D holografik teknolojide yeni bir yenilik olarak tasarlanmıştır [6]. 3D hologramın etkili bir optik yansımaları yaratır. Bir videonun sürümünü belirli bir ölçekte görüntüleme konusunda etkilidir. Ancak bu teknikte cihazın boyutu sınırlıdır, bu da kullanımını kısıtlar.

2.5. Yarı Şeffaf OLED Ekranlar

Son yıllarda, elektronik üretiminde şeffaf OLED ekranlara ciddi yatırımlar yapılmıştır. Bu yeni buluşlar, bir görüntü oluşturmak için elektrik akımına tepki veren organik ışık yayan diyotlarla dolu bir ekrana sahiptir. 3D etkiler açısından sonuç, 3D gibi görünen ve ekranda bir hologram yansımaları yaratan bir 2D görüntüdür [7]. Piyasada çok yeni olan teknoloji hala

hızla gelişmektedir. İçerik görüntülemenin çağdaş bir yolunu oluşturmaktadır, daha esnek ve içerik görüntülemek için parlak bir platform sağlamaktadır. Görüntülenen görüntüler 3B görüntülerin 2B yansımalarıdır. Yaklaşık %40 şeffaflık düzeyi ile yani görüntü tamamen görünmez ve bazı arka plan görünmeye devam eder.

3. Materyal ve Metot

Bu projede akıllı telefonun veya tabletin üzerine yerleştirilebilen holografik piramit şeklinde bir materyal kullanılmıştır. Bu hologram piramiti yansımayı "Pepper'in Hayaleti" etkisine benzer şekilde kullanır ve kendi içinde yüzen bir 3D hologram görünümü oluşturur. Bu tür görüntüler, camın üzerindeki piramit üzerindeki kenarların 45° konumlandırılması ile çalışır. Kullanılan yansıtıcı materyal cam, plastik veya mika malzemeden yapılabilir. Standart bir ebatta üretime uygundur ve maliyeti düşüktür. Materyal, cihaz ekranında yansıtılan imgeyi hologram olarak gösterir.

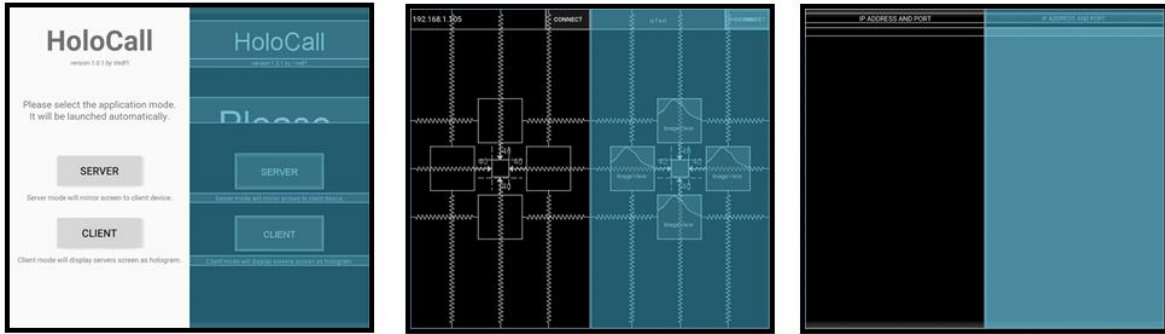
Şekil 2. Uygulamada Kullanılan Yansıtıcı Cam Piramit ve Boyutları



Çalışma için Android platformunda HoloCall isimli bir uygulama geliştirilmiştir. Uygulama üç ekrana sahiptir: Ana ekran kullanıcının seçimine göre sunucu veya istemci aktivitesini başlatan aktivitedir. Sunucu ekranı, ekran

görüntüsünün alındığı ve istemciye gönderildiği aktivitedir. İstemci ekranı ise sunucudan ekran görüntülerinin alındığı, hologram imgesi haline getirildiği aktivitedir.

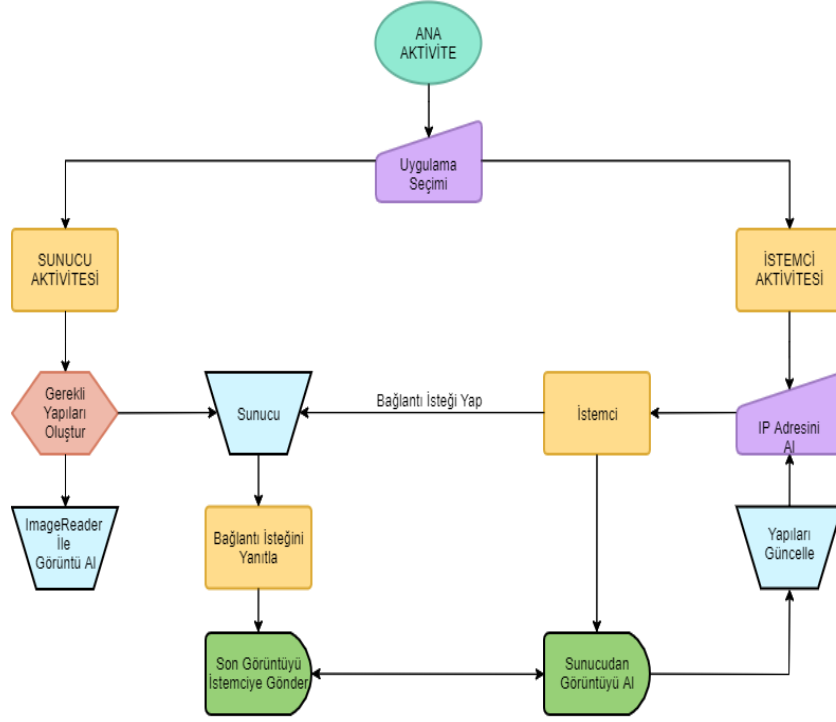
Şekil 3. Uygulamanın Ana – İstemci - Sunucu Aktifeleri Tasarımları



Şekil 3'de gösterildiği üzere, ana ekranda kullanıcının seçim yapabileceği iki adet düğme bulunmaktadır. Yapılan seçime göre istenen modda çalıştırılır. İstemci ekranında, kullanıcının sunucu adresini girebileceği bir alan, bağlantı kurmak için tıklanacak düğme ve hologram imgesinin oluşturulacağı ImageView [8]

bileşeni yapıları bulunmaktadır. Sunucu ekranında, sunucunun çalıştığı IP adresi ve port bilgisinin gösterildiği bir metin bulunmaktadır. Uygulama sunucu olarak kullanılırken arka planda çalıştırılmalıdır.

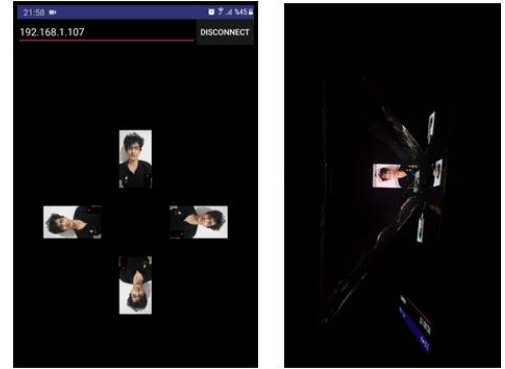
Şekil 4. Uygulamanın Akış Diyagramı



Holocall uygulaması sunucu kipinde çalışırken, ImageReader aracılığıyla bir görüntü elde edildiğinde, görüntü sıkıştırma yapılır. Sıkıştırma işlemi yapılırken ImageReader ile alınan görüntü Image objesi olarak kaydedilir. Kaydedilen obje YUV renk düzlemlerine ayrılır [9]. Ayrıştırılan düzlemdeki pikseller bir byte tampona aktarılır ve ARGB_8888 formatında bir Bitmap oluşturulur. Oluşturulan bitmap objesine byte tampondaki pikseller aktarılır ve bitmap objesine PNG formatında kayıpsız sıkıştırma yapılır. İstemciye bir görüntü gönderilmek istendiğinde, Base64 görüntü kodlama yapılır. Bu şekilde gönderilecek olan bitmap objesi metin(String) haline getirilmiştir. Holocall uygulaması istemci kipinde çalışırken; sunucudan kodlanmış bir görüntü metni alındıktan sonra, kod çözme yapılır. Alınan metin(String) bir bitmap objesine dönüştürülmüştür. Base64 ikili verilerin sadece ASCII karakterlerini kullanan ortamlarda iletilmesine ve saklanmasına olanak tanıyan bir kodlama şemasıdır [10]. Görüntülerin socket aracılığıyla gönderilebilmesi için metin haline getirilmesi gerekmektedir.

Holocall uygulaması çeşitli ekran çözünürlükleri ve dpi ayarlarında test edilmiş, ölçeklendirme konusunda herhangi bir sorun yaşanmamıştır. Ayrıca, uygulama çoklu pencere özelliğini desteklemektedir. İki cihaz ile görüntülü görüşme yapılırken, cihazlardan birinde Holocall uygulaması sunucu kipinde çalıştırılmıştır. Diğer cihazın kamerası kapatılmış ve Holocall uygulaması istemci kipinde başlatılarak sunucu cihaza bağlanmıştır. Şekil 6'te görüleceği üzere istemci cihaz üzerinde hologram imgesi başarıyla oluşturulmuştur. Uygulama her iki kipte de çalışırken cihaz performansını olumsuz etkilememiştir. Aktarılan görüntüde kalite kaybı görülmemiştir. Uygulama internet bağlantısı gerektirmeden çalışabilmektedir. Tek gereksinim sunucu ve istemci cihazların aynı ağda bulunmasıdır. Uygulamanın minimum gereksinimi API 21 olduğundan Android cihazların büyük çoğunluğunda çalışabilmektedir.

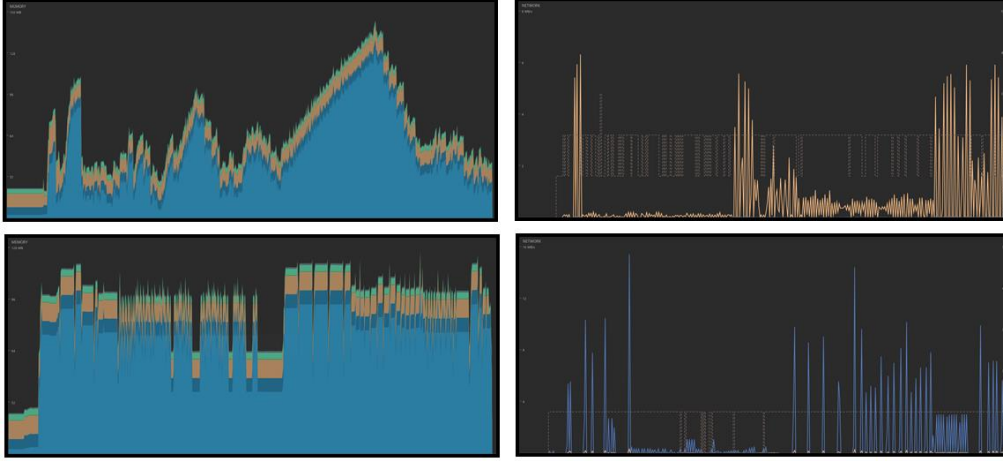
Şekil 5. Konuşma Esnasında Resim Ayarlaması ve Materyalde Hologram Görüntüsü



4. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Holocall görüntü kalitesini ve çözünürlüğü düşürmediği için görüntü alma ve aktarma işlemlerinde ele alınan veri büyüktür. Bu sebeple sıkıştırma işlemlerinde kaliteden ödün verilmediği için performans ve saniyedeki kare sayısı (FPS - frame per second) düşüklüğü yaşanmaktadır. FPS değeri cihaz donanımına, ağ performansına ve işletim sistemine bağlı olarak değişmektedir. FPS için gözlemlenen değer 7'dir. Görüntü aktarımı 3 ila 6 saniye arasında gecikmeli gerçekleşmektedir. Bu sorunları çözmek için uygulanabilecek adımlar şunlardır: ImageReader ile görüntü kaydedilirken kullanılan Bitmap objesi ARGB yerine RGB olarak ayarlanabilir. (A: pikseller için saydamlık değeri). Sunucudan istemciye bir görüntü gönderilirken Bitmap objesi görüntü kalitesi düşürülerek sıkıştırılabilir. MediaProjection ile oluşturulan sanal ekranın çözünürlüğü düşürülebilir.

Şekil 6. Uygulamanın Çalışma Anında Sunuc ve İstemci Bellek ve Ağ Kullanımları



Holocall uygulaması sunucu ve istemci olmak üzere iki farklı kipte çalışabildiğinden değerlendirmeler Tablo 1’de görüldüğü üzere her iki kip için ayrı olarak incelenmiştir.

Tablo 1. Uygulamanın Çalışma Anında Sunuc ve İstemci Bellek ve Ağ Kullanımları

Mod	İşlemci Kullanımı	Bellek Kullanımı	Ağ Kullanımı
Sunucu	%2 ~ %23 (sürekli)	24MB ~ 153MB (sürekli)	1MB/s ~ 6.2MB/s (kesikli)
İstemci	%1 ~ %15 (kesikli)	28MB ~ 116MB (kesikli)	3MB/s ~ 13.3MB/s (kesikli)

Uygulama veri aktarımı yaparken görüntü dosyalarını tek tek sunucudan istemciye göndermektedir. Bunun yerine video olarak iletim yapılması ile performans artabilirdi ancak bu durumda ekran görüntüsünü video olarak alabilmek için MediaRecorder sınıfı kullanılması gerekmektedir. Android işletim sisteminin bu sınıfla ilgili bir kısıtlaması bulunmaktadır. Eş zamanlı olarak yalnızca bir MediaRecorder objesi çalışabilmektedir ve hem ön hem de arka kamera ile aynı anda video kaydedilememektedir. Günümüzde kullanılan görüntülü görüşme uygulamalarının tamamı bu sınıfı kullandığından dolayı Holocall bu sınıfı kullanılamamakta, dolayısıyla görüntü video olarak kaydedilemiyor veya aktarılamamaktadır.

Hologram teknolojileri günümüzde en çok sahtecilik ve güvenlik uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu çalışmada iletişim için kullanımı için bir uygulama geliştirilmiştir. Ancak gelecekte birçok alanda kullanılabilme potansiyeline sahiptir. Örneğin askeri haritalamada, iyileştirilmiş keşifler için tamamen boyutlu holografik görüntülerden faydalanabilir. Holografik savaş alanları askerlerin araziye 3B görmelerinde ve eğitimlerinde kullanılabilir. Ayrıca tıbbi alanda, Manyetik Rezonans Görüntüleme (MR) ve ultrason taramaları 3D hologramlar halinde sunarak öğrencilerin ve cerrahların eğitiminde değerlendirilebilir.

Özellikle 5G teknolojisinin hayatımıza girmesiyle birlikte hologram teknolojisinin hayatımızda yer alması öngörülmektedir. Mobil ağların sıkıştırılmasındaki iyileşme ve artan hızlarla, statik görüntülerle başlayan ve daha sonra dinamiğe ilerleyen holografik iletişimi görmeye başlayacağız. Hologramlar, kurumsal uygulamalar için ölçülemez derecede yararlı olacaktır. Bu sayede günümüzün akıllı telefon

uygulamalarından ve yarının artırılmış gerçekliğe kadar çoğu gelişmiş teknolojilerle tamamen birlikte kullanılacaktır.

Kaynakça

- Gabor, D. (1972). Holography, 1948-1971. Science, 177(4046), 299-313.
- Collier, R. (2013). *Optical holography*. Elsevier.
- Greenslade Jr, T. B. (2011). Pepper's Ghost. The Physics Teacher, 49(6), 338-339.
- Nakashima, F., Kawazoe, N., Emmei, S., Mizutani, Y., Hattori, H., Kadowaki, S., & Suzuki, K. (2000). U.S. Patent No. 6,141,123. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Yao, A., Cai, D., Hu, P., Wang, S., Sha, L., & Chen, Y. (2016, October). *HoloNet: towards robust emotion recognition in the wild*. In Proceedings of the 18th ACM International Conference on Multimodal Interaction (pp. 472-478).
- Jones, A., McDowall, I., Yamada, H., Bolas, M., & Debevec, P. (2007). *Rendering for an interactive 360 light field display*. In ACM SIGGRAPH 2007 papers (pp. 40-es).
- Ishikawa, T., & Gitzinger, T. (2011). U.S. Patent No. 8,054,391. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- DiMarzio, J. F. (2008). Android. Tata McGraw-Hill Education.
- Raffy, P., & Yassa, F. (2006). U.S. Patent No. 7,002,627. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Josefsson, S. (2006). *The base16, base32, and base64 data encodings* (pp. 1-18). RFC 4648, October.



Neural Network Based Inverse Modelling for Pneumatic Artificial Muscles

Cabbar Veysel Baysal¹

Cukurova University, Faculty of Engineering, Dept. of Biomedical Eng., Adana, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1490-8725)

(Bu yayın 26-27 Haziran 2020 tarihinde HORA-2020 kongresinde sözlü olarak sunulmuştur.)

(DOI:10.31590/ejosat.1115888)

ATIF/REFERENCE: Baysal, C.V. (2021). Neural Network Based Inverse Modelling for Pneumatic Artificial Muscles. *European Journal of Science and Technology*, (Special Issue), 55-62.

Abstract

Pneumatic Artificial Muscles (PAM) are soft actuators with advantages such as high force to weight ratio, flexible structure and low cost. Pneumatic Artificial Muscles have inherent compliance that makes them feasible for exoskeletons and rehabilitation robots. However, their inherent nonlinear characteristics yield difficulties in modelling and control actions, which is an important factor restricting use of PAM. The compliance of PAM is associated with nonlinearity, hysteresis, and time varying characteristics, which makes it more difficult to model the dynamics and operation with model based high-performance controllers. Although there are many studies to overcome the modelling issue such as virtual work, empirical and phenomenological models, they are either much complicated or very approximate ones as a variable stiffness spring for model with nonlinear input-output relationship. Based on the analysis of well known previous modeling works in our PAM test bed, it has been observed that efficacy of the those methods are limited for representing the physical behaviour of PAM and thus there is still requirement for simple and effective models. In this work, apart from previous modeling approaches, the behaviour of PAM is foreseen as an integrated response to pressure input, which results in simultaneous force and muscle length change. Therefore, standard direct input-output identification methods are not suitable for modelling that behaviour. An inverse modeling approach is proposed in order to utilize it in control applications. The black box model is implemented by an Artificial Neural Network (ANN) structure using the experimental data collected from the PAM test bed. According to implementation results, an ANN based inverse model has yielded satisfactory performance deducing that it could be a simple and effective solution for PAM modelling and control.

Keywords: Soft Actuators, Pneumatic Artificial Muscles, Inverse Modeling, Artificial Neural Network Based Modelling.

Pnömatik Yapay Kaslar için Yapay Sinir Ağı Esaslı Ters Modelleme

Öz

Pnömatik Yapay Kaslar (PAM), yüksek kuvvet / ağırlık oranı, esnek yapı ve düşük maliyet gibi avantajlara sahip yumuşak aktüatörlerdir. Pnömatik Yapay Kaslar, dış iskelet ve rehabilitasyon robotlarında kullanımını mümkün kılan doğal bir uyumluluğa sahiptir. Bununla birlikte, doğrusal olmayan karakteristik özellikleri, modelleme ve kontrol eylemlerinde zorluklar sağlayan ve kullanımını kısıtlayan önemli bir faktördür. PAM doğal uyumluluğu, doğrusal olmayan, histerezis ve zamanla değişen özellikleri ile ilişkilidir, bu durum da PAM dinamik davranışını ve modele dayalı yüksek performanslı kontrolörlerle çalışmasını modellenmesini zorlaştırır. Literatürde modelleme sorununun üstesinden gelmek için, sanal iş, ampirik ve fenomenolojik modeller gibi birçok çalışma olmasına rağmen, bu çalışmalar çok karmaşık veya doğrusal olmayan değişken bir sertlikli yay için giriş-çıkış ilişkisi olan model gibi çok yaklaşıktır. PAM test düzeneğimizde gerçekleştirdiğimiz iyi bilinen önceki modelleme çalışmalarının deneysel analizine dayanarak, bu yöntemlerin etkinliğinin PAM'ın fiziksel davranışını temsil etmek için sınırlı olduğu ve hala basit, etkili modellere ihtiyaç duyulduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, önceki modelleme yaklaşımlarından farklı olarak, PAM'ın davranışı, giriş işareti olarak basınç uygulandığında, eşzamanlı kuvvet ve kas uzunluğu değişikliğine yol açan entegre bir sistem tepkisi olarak

¹Corresponding Author: Cukurova University, Faculty of Engineering, Dept. of Biomedical Eng., Adana, Türkiye, ORCID: 0000-0003-1490-8725, cvbaysal@cu.edu.tr

öngörülmüştür. Bu nedenle, standart doğrudan giriş-çıkış tanımlama yöntemleri bu davranışı modellemek için uygun değildir. Bu çalışmada, kontrol uygulamalarında etkin kullanmak için bir tersine modelleme yaklaşımı önerilmektedir. Önerilen kapalı kutu model ve PAM test yatağından toplanan deneysel veriler kullanılarak Yapay Sinir Ağı (YSA) yapısı tarafından uygulanmaktadır. Uygulama sonuçlarına göre, YSA tabanlı bir tersine model, PAM modelleme ve kontrol sorunu için basit ve etkili bir çözüm olabileceğini düşündüren tatmin edici bir performans sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Yumuşak Eyleyiciler, Pnömatik Yapay Kaslar, Tersine Modelleme, Yapay Sinir Ağı Tabanlı Modelleme.

1. Introduction

The pneumatic artificial muscle (PAM) is a fiber braided and coated rubber tube actuator that changes its actuating length when pressurized. PAM was invented firstly by J. L. McKibben. It was redesigned by Bridgestone Company and used for some applications to assist disabled individuals. As compared to other conventional actuators (e.g., motors, hydraulic actuators, and pneumatic cylinders), PAM could be foreseen more similar to the human muscle in behaviour. Pneumatic Artificial Muscles (PAM) are type of actuators that mimic behavior of skeletal muscle by contracting and generating force in a nonlinear manner when pressurized. PAM has a radially inflation and axially contraction behavior which produces high pulling (tensile) forces along the longitudinal axis. It has low weight, and high power/weight output. Moreover, the PAM has inherent compliance that makes it feasible for exoskeletons and rehabilitation robots. (Daerden & Lefeber 2002).

However, the compliance of the PAM is associated with nonlinearity, hysteresis, and time varying characteristics, which makes it more difficult to model the dynamics and design high-performance controllers. A detailed survey of McKibben PAM modelling approaches is given by Tondou. (Tondou 2012). Furthermore, the dynamic models of the PAM may be grouped into two classes, a theoretical model and a phenomenological model, respectively (Kelasidi et al 2012). The theoretical model describes the relationship between the PAM's characteristics and the parameters directly related to the PAM's geometric structure and material properties, that has a complex structure with many parameters. For example, Chou and Hannaford derived the model from the law of energy conservation, and described the relationship among the pressure, the length, and the contractile force of the PAM (Chou and Hannaford 1996). The phenomenological model, on the other hand, is constructed according to the relationship between the input and output of the PAM, and is suitable for very complex dynamics that are hard to describe by the theoretical model. Among the phenomenological models of the PAM, the most used one is the three-element model proposed by Reynolds, in which the PAM is considered as a parallel arrangement of three elements (Reynolds et al 2003). However, both the theoretical and the phenomenological models contain time varying parameters and non-modeled uncertainties that need to be compensated by control techniques. Due to the nonlinearity, hysteresis, and time-varying characteristics of the PAM, it is difficult to precisely describe its dynamics in the entire range of pressure using only one model with constant parameters. (Zhang et al. 2016). The model-based schemes usually cannot obtain high-precision control due to the errors between the actual PAM dynamics. In addition, an empirical modelling approach is given by Wickramtunge and Leephakpreda which relates force and muscle length as a nonlinear elastic relation. (Wickramtunge and Leephakpreda 2013). Martens et al., in their work, performed a comparative analysis of the existing static models developed for Festo PAM. (Martens and Boblan 2017). Moreover, Ishikawa et al. also

performed model parameter extraction of structurally different PAMs using SVM. (Ishikawa et al. 2018).

There are many studies to overcome the modelling issue in literature, such as virtual work, empirical and phenomenological models, AI based models. NNARX based modelling approaches is given by Ahn et al. (Ahn et al 2008). A hybrid ANN approach is developed by Song et al. (Song et al. 2015). A recurrent Neuro-Fuzzy based model is introduced by Chavoshian et al. (Chavoshian and Taghizadeh 2020). However, they are either much complicated or very approximate ones as a variable stiffness spring for model with nonlinear input-output relationship. Majority of the existing methods are standard direct pressure input and force output models.

In this work, initially an experimental analysis for characteristics of PAM has been performed using a test bed. Based on the analysis of some well known previous models using our PAM test bed, it has been observed that efficacy of the those methods are limited for representing the physical behaviour of PAM due to fact that models mostly concentrate direct input-output relation in terms of pressure and force estimation. In many existing models, the integrated response behaviour of PAM is not combined effectively in terms of simultaneous resultant force and muscle contraction. Hence, we deduce that there is still requirement for simple, effective models. By this foresight, apart from previous modeling approaches, the dynamic behaviour of PAM is modelled as an integrated response to pressure input, which results in simultaneous force and muscle length change. In this case, standard direct input-output identification methods, such as NNARX, are not suitable for modelling that behaviour. Furthermore, an inverse modeling approach is proposed in order to utilize the model in control applications. The black box model is implemented by an Artificial Neural Network (ANN) structure using the experimental data collected from the PAM test bed.

The rest of the paper as follows: In section II, the implementation method is given, where experimental setup and data acquisition, modelling approach are explained. In section III, experimental results and discussions are presented. In section IV conclusions are drawn.

2. Material and Method

Nowadays, PAM is produced commercially by Festo Company and it is also called Festo fluidic muscle. The Festo muscle is structurally different from the general McKibben muscles. The fiber of the fluidic muscle is knit into the rubber tube, offering easy assembly and improved hysteric behavior and nonlinearity compared to conventional design (Festo 2018). Due to difference in construction, Festo PAM have different properties as compared to other existing PAM models. In figure1, a DMPS20 series Festo fluidic muscle and its dynamic characteristics is illustrated. In figure 1, F indicates the generated force by PAM in N and h indicates percentage muscle length change in terms of contraction [3] or extension [4], against different applied pressure curves.

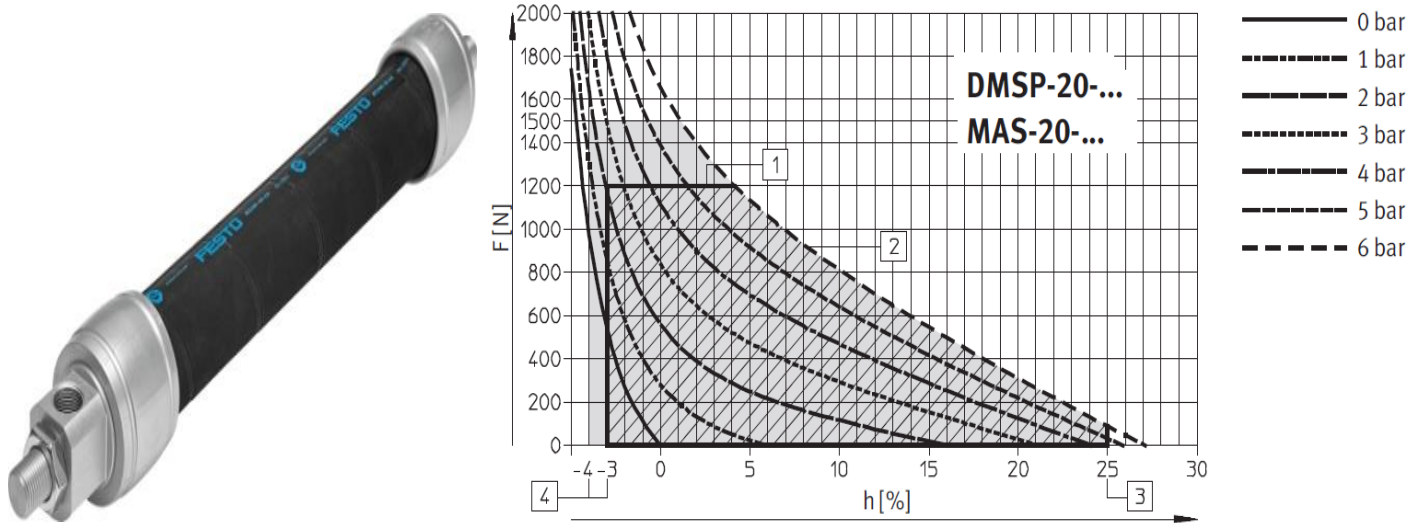


Figure 1. Festo Fluidic Muscle and Dynamic Characteristics (Festo 2018)

An experimental analysis has been performed for physical characteristics of Festo PAM, using a hardware test bed. When the dynamic characteristics analyzed, it has been observed that PAM had different operating curves for different applied pressure values which is also a confirmation of manufacturer's curves. Those different operating curves is the main cause for nonlinear behaviour of PAM. During the analysis, it has been observed that although applied pressure was the only input, but there was an integrated response of generated force and muscle length change as the output. In the test bed experiments, data has been obtained for different input pressure values and with different external loads. During the experiments, data from test bed has been obtained and compared to Matlab simulation results of some well known models. It has been concluded that majority of existing modelling approaches includes muscle length but considers solely force as the output. However, in our case, when PAM used as actuator, both force and muscle length have become equally important. Hence, in this work integrated response approach has been implemented as inverse modelling approach.

2.1. Overview of Main Modelling Approaches

In this section, as a starting point, main PAM modelling approaches in literature has been briefly introduced in order to illustrate the differences. In the modeling works, the main purpose is to establish a relationship between pressure, extension of the muscle along the entire axis (displacement) and force. Pulling force, air pressure, diameter and length of the muscle, material properties play an important role in modeling approaches. PAM's mathematical models relate these factors (Kelasidi et al.,2011). In general, modeling approaches depend on the static and dynamic behavior of PAM.

When developing a static model of the muscle, the basic approach is based on energy modelling. That approach provides a relationship between "actuator force, pressure and length", showing the length or degree of contraction and the diameter of the muscle formed by the forces, the actuator performance, taking into account virtual work and energy savings. The Chou

and Hannaford model is the simplest geometric model for the static performance of a PAM (Chou and Hannaford,1996). In their approach, PAM actuator is modeled as a cylinder and the equation showing the expression between pressure, position and pressure according to this model is as follows. In the equation 1,b is the thread length. n indicates the number of turns of a thread. θ angle is defined as the angle between longitudinal axis and thread.

$$F = P' \frac{b^2}{4\pi n^2} (3\cos^2\theta - 1) \quad (1)$$

The aim of the dynamic model, also known as the phenomenological model of PAM, is a simple approach to evaluate the dynamic behavior of the pneumatic muscle. In dynamic modeling, as seen in Figure 2, the parallel configuration of the muscle, spring, damper and contractile element is used. the coefficients corresponding to these three elements depend on the input pressure of the PMA (Reynolds et al., 2003).

$$M\ddot{x} + B(P)\dot{x} + K(P)x = F(P) - Mg \quad (2)$$

In equation 2, M is the load mass, g denotes the acceleration of gravity. $K(P)$ indicates the spring coefficient. $B(P)$ is damping coefficient and it depends on whether the PAM being inflated or deflated. $F(P)$ is the effective force provided by the contractile element. The details for coefficients could be found in the work by Xing (Xing et al 2010).

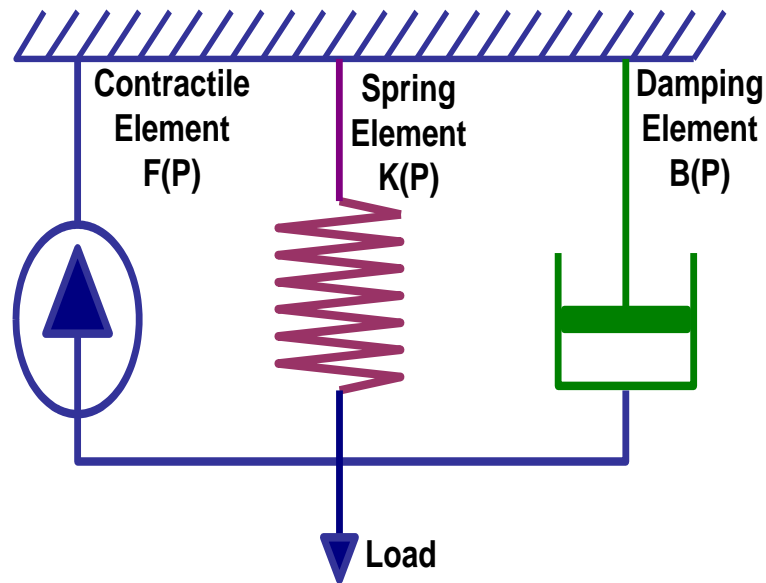


Figure 2. Three Element Phenomenological Model of PAM

2.2. PAM Test Bed Hardware Implementation and Data Collection.

Pneumatic Artificial Muscle Test Bed that has been used to perform experiments is shown in figure 3. The corresponding labels for the components of hardware are given as follows: Electronic Interface and Data Acquisition Module is indicated with label I. Bourne AMS22 type encoder labeled with II is

used for the muscle active length measurement. The pneumatic artificial muscle (PAM) indicated with III is the DMSP 20 series of Festo and that could work in the range of 0-7 bars, with a length of 250 mm. Label IV marks Honeywell 24PCF series pressure sensor operating in the range of 0-8 bar. Label V shows Matrix MX890 series very fast on/off valves of used with PWM drives. For the force measurement, Zemic H3-P3 S type load cell with 0-100 kg range is used.

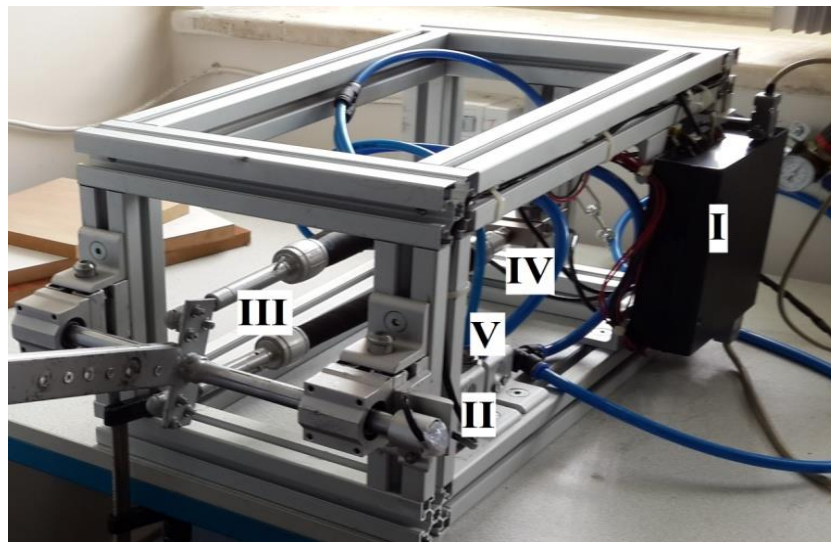


Figure 3 Pneumatic Artificial Muscle Test Bed

During the experiments, MATLAB /Simulink blocks are used to implement data acquisition software for sensors and actuator configurations and closed loop controllers. The Simulink blocks are compiled and sent to a microprocessor running in "Data Acquisition" unit. In the test bed, ATMEL Arm Cortex M3 microprocessor card is used to control the system. Initially, the accuracy of our PAM test bed is checked by the empirical modelling experiment and hence we obtained very similar results to that non-linear elastic relation expressed by Wickramtunge et al. After that, we have concluded that the performance of our test is satisfactory. (Wickramtunge and Leephakpreda 2013). The experiments has been performed using 0.05 Hz sinusoidal reference curves with PID pressure control in order to obtain data to be used in modelling. The slow pressure reference has been chosen to understand quasi-static characteristics of PAM. The collected data used in Matlab for ANN toolbox.

2.3. Neural Network Implementation.

In this work, in order to model the dynamic behaviour of PAM as an integrated response to pressure input, an Artificial Neural Network was chosen and implemented by using Matlab ANN Toolbox. ANN is a basic MLP with 1 hidden layer composed of 20 neurons. ANN was trained with Levenberg-Marquardt algorithm. Structure of ANN is formed by empirical manner. Overall block diagrams of ANN is given in figure 4 and 5. The experimental data in terms of force, muscle length and pressure was collected from the PAM test bed and has been used for training and testing ANN. As an inverse relation, the force data and muscle length data were used as inputs to ANN and pressure value was used as desired output for training and for performance analysis. Training and testing performance of ANN is given in figures 6 and 7. Regression results indicate that ANN is successfully trained and tested.

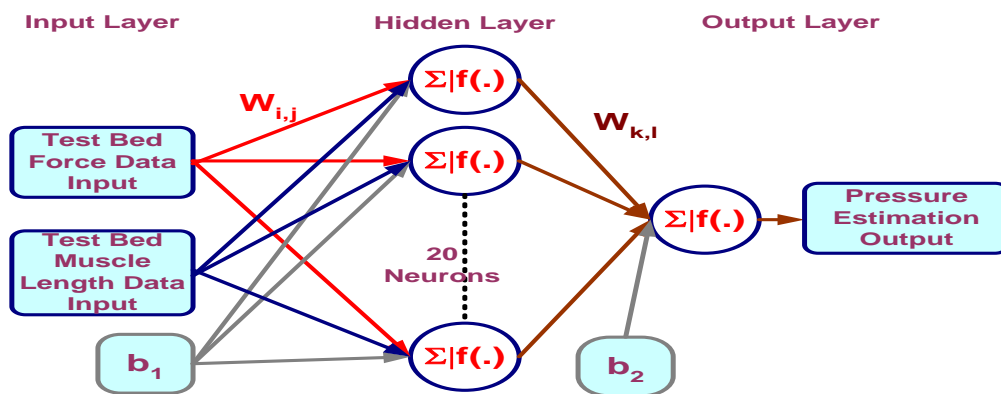


Figure 4 Block Diagram of Implemented ANN

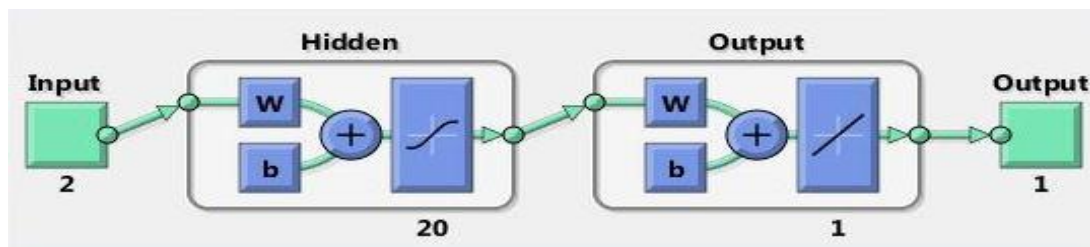


Figure 5 Matlab Block Diagram of ANN

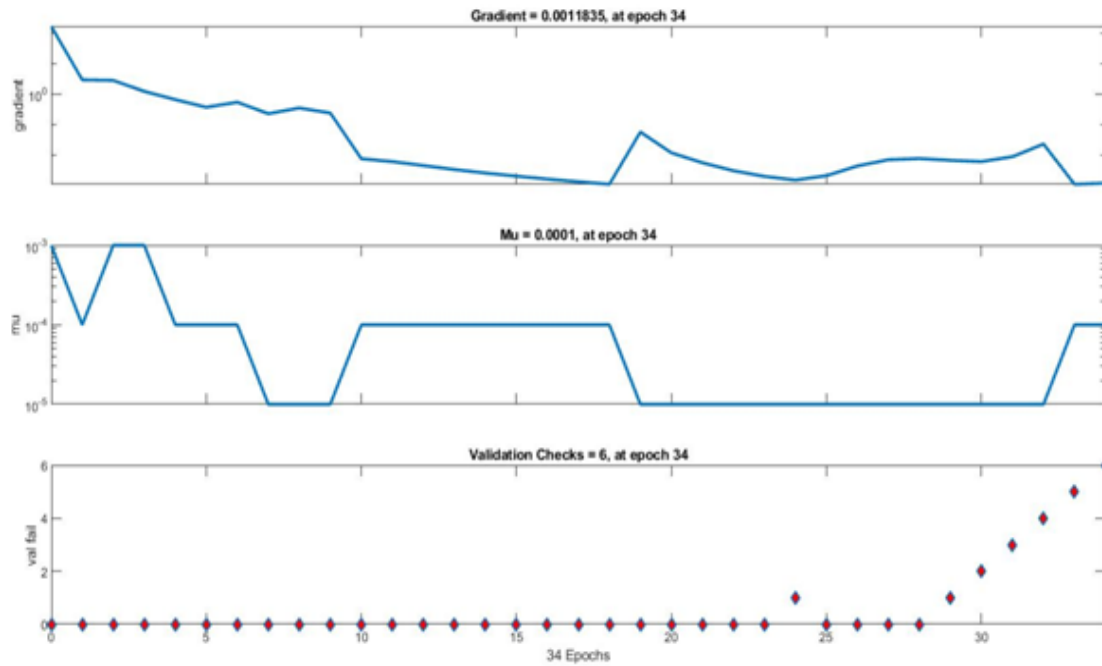


Figure 6 Training Performance of ANN

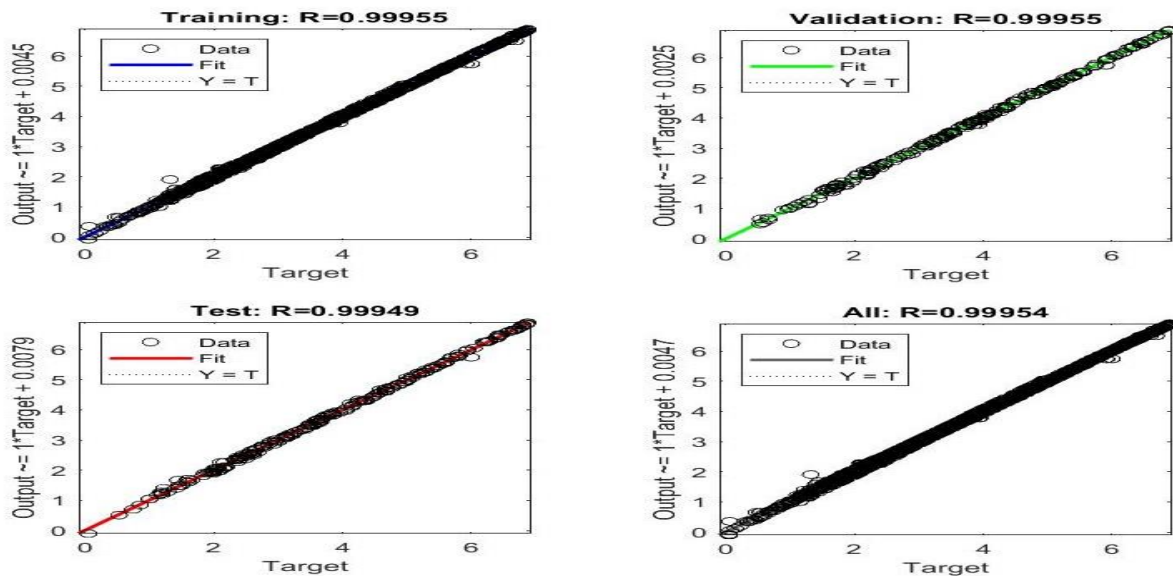


Figure 7 Testing Performance of ANN

3. Results and Discussion

After having the ANN successfully implemented and trained, three other data set has been used for performance analysis. The ANN has been transformed into a Simulink model as shown in figure 8. Different data sets are generated from PAM test and has been fed to ANN model test in Simulink. Data generation was performed by applying a closed loop PID pressure control on PAM test bed with a 0.05Hz sinusoidal reference signal varying in 0-7 bar, with the test bed under different loads in range of 15-100 kg. During the data generation, a full range of muscle contraction (25 %) and extension (5 %) has been reached for the muscle length variation. A random mixture of data is formed as Input-Output vectors by a common sequence index in Matlab. The force and

muscle length data vector is applied as inputs to ANN where as pressure values are used for performance comparison. For performance analysis, the output pressure estimation of ANN has been compared to experimental pressure values from new data set. In figure 9, the first data set composed of 85 item vectors is applied to ANN model and the resultant performance occurred as quite satisfactory with an error of maximum 5-8 %. In figure 10 a similar performance has been observed with another test data set. Moreover, another data set generated by using a faster reference signal which is 0.5 Hz is also applied for longer run. Figure 11 indicates the performance of ANN for this long run data set. However, percentage error for the fast reference performance has increased due to effect of fast switching on-off valves during data generation. To conclude, those performances indicated that a simple ANN could be used as a transforming and

mapping control block between high level and low level. A high level desired actuator position in terms of muscle length and a simultaneous force generation demand has been mapped into a

low level pressure set value to be used in PID pressure control loop for PAM.

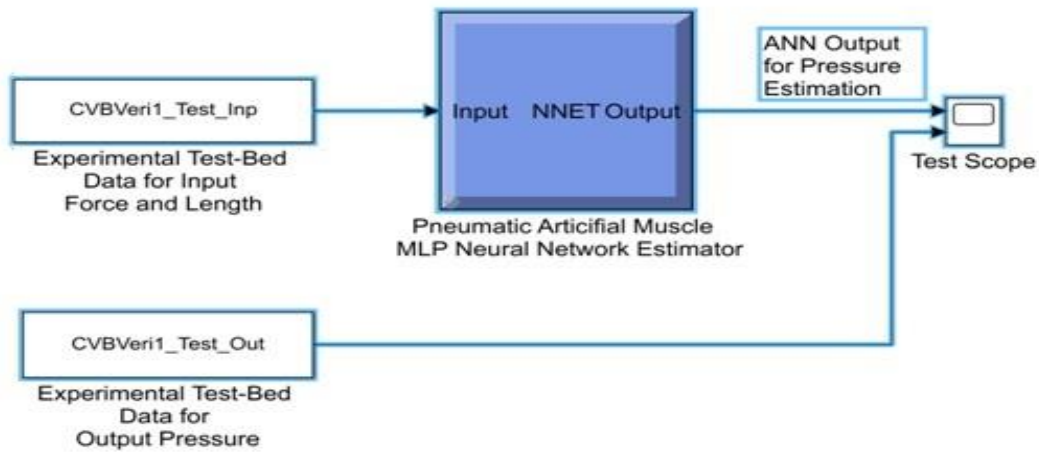


Figure 8 Simulink Performance Test Application

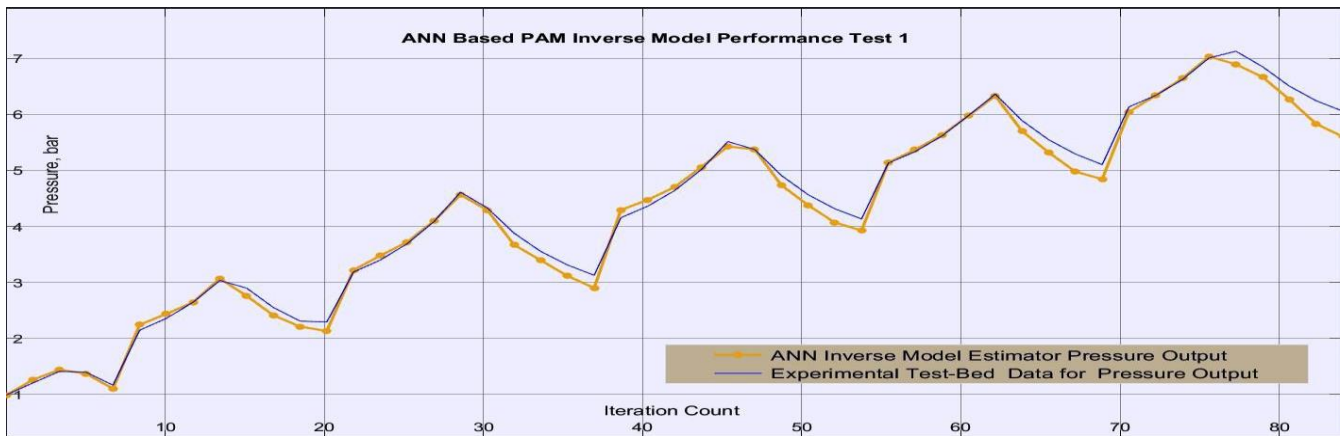


Figure 9 ANN Performance Test Result #1

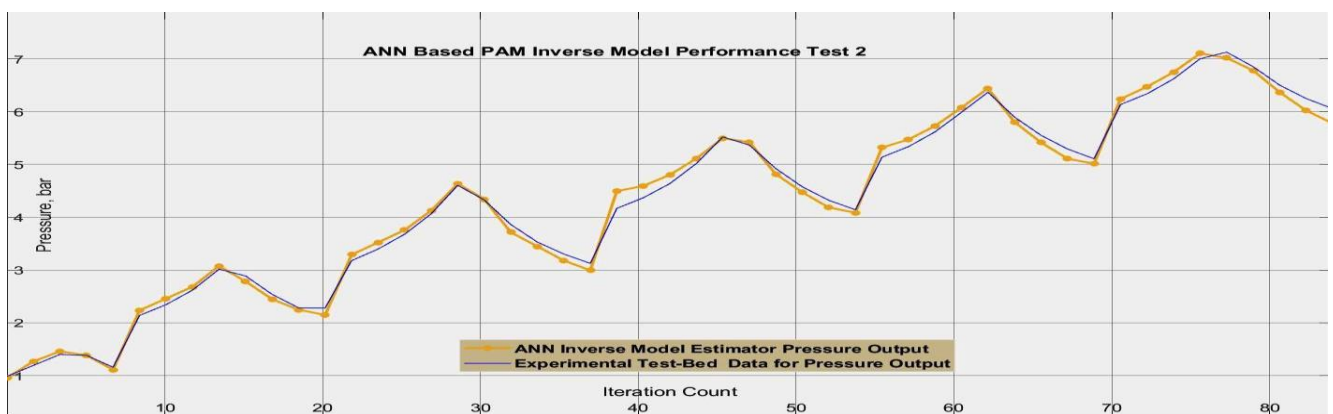


Figure 10 ANN Performance Test Result #2

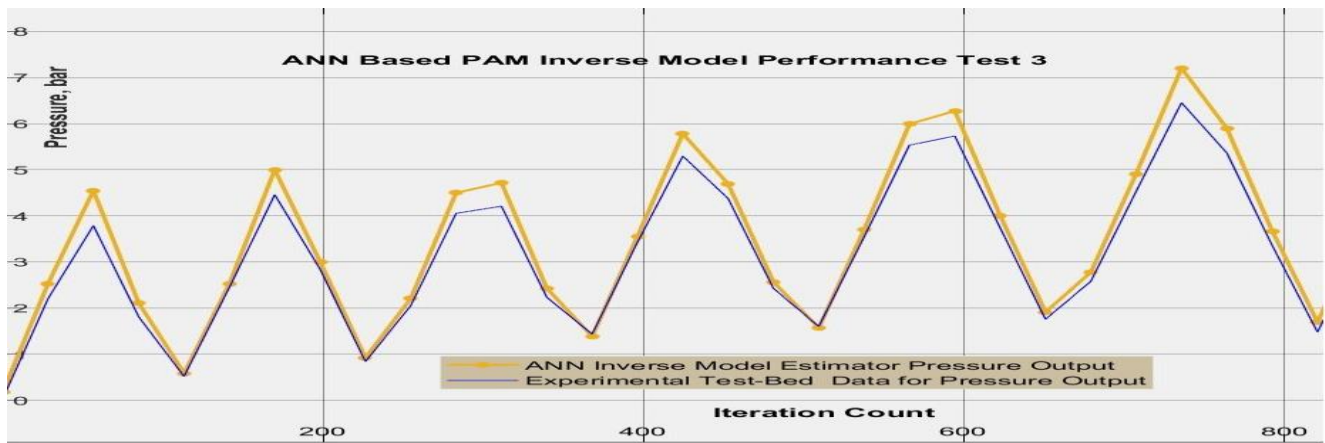


Figure 11 ANN Performance Test Result #3

4. Conclusion

In this work, apart from previous modeling approaches, the behaviour of PAM is foreseen as an integrated response to pressure input, which results in simultaneous force and muscle length change. Therefore, standard direct input-output identification methods are not suitable for modelling that behaviour. An inverse modeling approach is proposed in order to utilize it in control applications. The black box model is implemented by an Artificial Neural Network (ANN) structure using the experimental data collected from the PAM test bed. According to implementation results, an ANN based inverse model has yielded satisfactory performance deducing that it could be a simple and effective solution for the PAM control in terms of high level to low level mapping.

References

Ahn K.K., Anh H.P.H. (2008). Comparative study of modeling and identification of the pneumatic artificial muscle (PAM) manipulator using recurrent neural networks, *Journal of Mechanical Science and Technology* 22 ,1287-1298.

Chavoshian M., Taghizadeh, M. (2020) Recurrent neuro-fuzzy model of pneumatic artificial muscle position. *J Mech. Sci. Technology* 34, 499–508.

Chou C.P. , Hannaford B. (1996). Measurement and modeling of McKibben pneumatic artificial muscles, *IEEE Trans. Robot. Automation*, 12(1), 90–102.

Daerden F., Lefeber D. (2002). Pneumatic artificial muscles: actuators for robotics and automation, *European Journal of Mechanical and Environmental Engineering*, 47, 10-21.

E. Kelasidi, G. Andrikopoulos, G. Nikolakopoulos and S. Manesis (2011). A survey on pneumatic muscle actuators modeling, in *Proc. IEEE ISIE-2011*, 1263-1269.

Festo (2018) Fluidic Muscle DMSP/MAS Info 501, https://www.festo.com/rep/en_corp/assets/pdf/info_501_en.pdf

Ishikawa T., Nishiyama Y., Kogiso K. (2018). Characteristic Extraction for Model Parameters of McKibben Pneumatic Artificial Muscles, *SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration*, 11(4), 357-364.

Martens M., Boblan I. (2017). Modeling the Static Force of a Festo Pneumatic Muscle Actuator: A New Approach and a Comparison to Existing Models. *Actuators* 2017, 6, 33.

Reynolds D.B., Repperger D.W., Phillips C.A., Bandry G. (2003). Modeling the dynamic characteristics of pneumatic muscle, *Ann. Biomed. Eng.*, 31(3), 310–317.

Song C., Xie S, Zhou Z., Hu Y. (2015), Modeling of pneumatic artificial muscle using a hybrid artificial neural network approach, *Mechatronics*, 31, 124-131.

Tondu, B. (2012). Modelling of the McKibben artificial muscle: A review. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 23(3), 225–253.

Wickramatunge K.C, Leephakpreeda T. (2013). Empirical modeling of dynamic behaviors of pneumatic artificial muscle actuators, *ISA Transactions*, 52(6).

Xing K., Huang J., Wang Y., Wu J, Xu Q, He J. (2010). Tracking control of pneumatic artificial muscle actuators based on sliding mode and non-linear disturbance observer, *IET Control Theory & Applications*,4(10) 2058-2070.

Zhang D., X. Zhao, and J. Han (2016). Active modeling for pneumatic artificial muscle, in *Proc. IEEE 14th Int. Workshop Adv. Motion Control*, 44–50.



Dinamik Tüketici Talep Yönetimi Yapabilen Blokzincir/Kripto Para Tabanlı Elektrik Piyasası İşletme Modeli

Alper Özpinar¹

¹ İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1250-5949)

(Bu yayın 26-27 Haziran 2020 tarihinde HORA-2020 kongresinde sözlü olarak sunulmuştur.)

(DOI: 10.31590/ejosat.1115892)

ATIF/REFERENCE: Özpinar, A. (2021). Dinamik Tüketici Talep Yönetimi Yapabilen Blokzincir/Kripto Para Tabanlı Elektrik Piyasası İşletme Modeli. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue), 63-69.

Öz

Günümüzde elektrik enerjisi piyasası, en genel ve ideal tanımlaması ile tüketiciler ve üreticiler arasındaki arz-talep dengesinin oluşturulması, en uygun fiyatlandırmanın yapılarak piyasaya sunulması ve tüketilmesi ve enerji kaynaklarının hem üretimde hem de tüketimde farklı kontrol ve denetim araçları ile kontrol edilmesiyle oluşmaktadır. Bu piyasalara ülkelere göre serbest piyasa koşullarının oluşması için gerekli hukuki düzenlemeler yapılmaktadır. Bu düzenlemlerde temel amaç, elektrik enerjisi gibi insan yaşamındaki toplumsal yaşam zamanlarına bağlı tüketim ve sanayii elektrik kullanımı ile ilgili genel bir denge kurulmasının sağlanarak enerjinin en verimli şekilde tüketilmesini sağlamaktır. Özellikle fosil yakıtlara dayalı enerji üretimi yerine yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı temiz enerji üretimi için tüketici tarafındaki enerji talebini kontrol edebilmek ve bu talebe yönelik olarak en uygun üretim senaryolarını ve fiyatlandırma optimizasyonunu yapmak çok önemli bir konu haline gelmiştir. Özellikle 2020 yılı içerisinde tüm dünyayı etkileyen pandemi süreci ile birlikte geleneksel tüketici davranışları ev tipi ve sanayii tipi tüketimin trendlerinin değişmesine neden olmuştur. Bu makalede tüketicilerin taleplerini bireysel ve tüketim senaryolarına göre segmente ederek dinamik fiyatlandırma yapan ama bunu toplu olarak merkezi sistemde düzenleyerek talep tarafındaki dalgalanmaları en aza indirerek Gün İçi, Gün Öncesi ve Dengeleme Güç Piyasalarına yönelik yeni nesil piyasa işletme modeli ve bu modelin işletilmesinde kullanılacak olan blokzincir tabanlı teklif güvenliği ve tüketicilerin çif taraflı enerji kullanımlarına yönelik önerilen kripto para kWhCoin anlatılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Talep Tarafı Yönetimi, Talep Katılımı, Blokzincir, Elektrik Piyasası, Grup Tarifesi, kWhCoin.

Blockchain / Crypto Money Based Electricity Market Business Model with Dynamic Consumer Demand Side Management

Abstract

The electricity market is formed by establishing the supply-demand balance between consumers and producers, by making the most appropriate pricing and controlling the energy sources with different control and supervision tools in both production and consumption. Nowadays, necessary legal arrangements are made in different countries to create free market conditions. In these arrangements, the main purpose is to provide a general balance regarding consumption and industrial electricity usage related to community life time zones in order to consume energy in the most efficient way. It has become a very important issue to control the energy demand on the consumer side and to optimize the most suitable production scenarios and pricing for this demand, especially for clean energy production based on renewable energy sources in order to replace energy production based on fossil fuels. Especially with the pandemic process affecting the whole world in 2020, traditional consumer behavior caused changes in domestic and industrial consumption trends. In this article, a new generation market operating model for the Intraday, Day-Ahead and Balancing Power Markets and blockchain-based to be used in the operation of this model by making dynamic pricing by segmenting the demands of the consumers according to individual and consumption scenarios, but by organizing this collectively in the central

¹ Sorumlu Yazar: İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0003-1250-5949, aozpinar@ticaret.edu.tr

system, minimizing the fluctuations on the demand side. The recommended cryptocurrency kWhCoin for bid security and consumer two-way energy usage is described.

Keywords: Demand Side Management, Demand Response, Blockchain, Cryptomoney, Electricity Market, Group Tariff, kWhCoin.

1. Giriş

Enerji günümüzde insanoğlunun ulaştığı teknoloji ve refah seviyesinin en önemli girdilerinden biridir. Bu nedenle enerjiye olan talebin her geçen gün artmasına rağmen, talep tarafında ise olabildiğince temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretimin yapılması hedeflenmekte ve bu amaçla talebin kontrol edilmesi ve dengelenebilmesi için çeşitli tarife ve fiyatlandırma modelleri kullanılmaktadır.

Literatürde enerji tüketimi modellenmesine yönelik bir çok çalışma bulunmaktadır, bu çalışmaların bir kısmı istatistikî yöntemlerle çalışırken (Sanquist, Orr, Shui, & Bittner, 2012; Weron, 2007; Zeifman & Roth, 2012), bir kısım çalışmada zaman serileri, regresyon gibi yaklaşımlar kullanılmıştır. (Bianco, Manca, & Nardini, 2009; Kumar & Jain, 2010; McLoughlin, Duffy, & Conlon, 2013; Wolde-Rufael, 2006) Son yıllarda ise verilerin artması ve hesaplama güçlerinin bulut bilişim, GPU'lu özel hesaplama makinaları, yüksek performanslı hesaplama sistemlerinin sağladığı hesaplama gücü ile makine öğrenmesi ve derin öğrenme gibi yapay sinir ağları kullanarak yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. (Berges, Goldman, Matthews, & Soibelman, 2009; Dong, Li, Rahman, & Vega, 2016; Hamzaçebi, 2007; Kaytez, Taplamacioglu, Cam, & Hardalac, 2015; Rahman, Srikumar, & Smith, 2018; Toros & Aydın, 2018)

Ancak bu yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu mevcut ve geçmiş verileri kullanarak tahmin yapma ve model oluşturma üzerine kurgulanmıştır. Fiyatlandırma politikaları ve farklı tarife modelleri ile ilgili olarak da yine benzer şekilde yapılmış birçok araştırma ve çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar hem gelişmekte olan Afrika ülkelerinde, belli bir refah seviyesindeki ve toplumsal öncelikleri temiz enerji verimli enerji olan AB ülkeleri hem de Çin gibi dünyadaki enerji üretimi ve tüketiminin zirvesinde olan ülkeler için o ülkelerdeki tüketim modellerine ve verilerine göre yapılmıştır. (del Río González, 2008; Lin & Liu, 2013; MacPherson & Lange, 2013; Nguyen, 2008)

Türkiye'de ise 2001 yılında bu alanda faaliyet gösteren kurumların faaliyetlerini, hak ve yükümlülüklerinin tanımlanması ve lisansların verilmesi amacıyla kurulmuştur. Yıllar içerisinde elektrik enerjisi, doğal gaz, petrol ve sıvılaştırılmış petrol gazları gibi temel enerji kalemleri ile ilgili düzenlemeleri yapmaktadır.

Türkiye'de tarife ve ev tipi tüketimle ilgili olarak yapılan çalışmalarda anlatıldığı gibi piyasanın serbestleşme süreci 2008 yılında Elektrik Piyasası Kanununun 2008 yılında revize edilmesini takiben hızlanmıştır. (Çetinkaya, Başaran, & Bağdadıoğlu, 2015) . Avrupa Birliğine uyum süreçleri kapsamında yapılan çalışmalar, aynı zamanda üreticilerin Nisan 2014 itibariyle Türkiye Ulusal Elektrik şebekesini Avrupa kıtasına tamamen ve kalıcı olarak entegre edilmesi ile özelleşme süreçleri de başlamıştır. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının elektrik enerjisi için kullanımına yönelik yapılan kanuni düzenlemeler, teşvik ve satın alma konusunda verilen destek ve garantiler ile iyi bir yatırımcı potansiyeline ulaşan sistem 2005 senesinden sonra çok ciddi bir büyüme ivmesi yakalamıştır. Bu ivme öncelikle Rüzgar Enerjisi Santrallerinde gözlenmiş sonrasında Küçük HES'ler ve son yıllarda üretim maliyetlerinin

azalması ve teknolojik gelişmeleri PV panellerindeki verimliliklerindeki yatırım geri dönüş zamanını kısaltması ile büyük bir ilerleme kaydetmiştir. (Acar, Selcuk, & Dastan, 2019; Köksal & Ardiyok, 2018)

Enerji fiyatlarının uluslararası kurlar bazında fiyatlandırılması, fosil yakıtları açısından yeterince doğal kaynakları bulunmayan Türkiye gibi ülkeler için tüketiciler doğal gaz, benzin ve elektrik enerjisi fiyatlarının yükselmesi ile karşı karşıya kalmışlardır. Bu konuda yapılan güncel bir çalışmada tüketici davranışlarına yönelik eğilimler ve bu konuda dünyada yapılan çalışmalar değerlendirilmiş, tüketicilerin hem yükselen fiyatlar hem de küresel ısınma iklim değişikliği konulara olan düşünceleri aktarılmıştır. (Ediger, Kirkil, Çelebi, Ucal, & Kentmen-Çin, 2018) Yine hem AB ülkeleri, hem Türkiye hem de Kanada'da geleceğin tüketicileri olan üniversite öğrencilerinde bu konuda yapılan bir çalışmada gençlerin tüketim konusundaki bilinç düzeyleri aktarılmıştır. (Ozil, Ugursal, Akbulut, & Ozpınar, 2008)

19 Haziran 2020 tarihli 31160 sayılı Resmî Gazete'de Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından Elektrik Piyasası Tarifeler Yönetmeliği yayınlanmıştır. ("Elektrik Piyasası Tarifeler Yönetmeliği," 2020) Bu yönetmelik ile iletim ve dağıtım tarife planlamalarına ve tarife önerileri hazırlanmasına yönelik gerekli hukuki düzenlemeler yapılmış ve farklı sistemlerin kurgulanabilmesi için hukuki altyapı da sağlanmıştır.

Bu yönetmelik ile tüketicilere yapılacak tarife önerileri kapsamında farklı fiyat uygulamasına tabi tutulacak yeni kullanıcı grupları, bunların nasıl tanımlanmaları gerektiği, şebeke kullanımına ve genişletilmesine ilişkin maliyet miktarlarının belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca iletimi ve/veya dağıtım yapılan ve yapılması planlanan elektrik enerjisi miktarı ve sunulan hizmetin standardının mevcut ve gelecekteki maliyetlere etkisinin incelenmiş olması da gerekmektedir.

Bu makalede önce talep yönetimi, talep katılımı, mevcut tarife ve piyasa modelleri anlatılmış sonrasında önerilen piyasa modelinin serbest piyasa koşullarının ve hem güvenli hem de değiştirilemez teklif verme ve alma teknik altyapısı için kullanılacak olan blokzincir mimarisi anlatılmış, sonrasında tüketicilerin uygun tarife modeline göre davranabilmeleri için kullanabilecekleri hızlı kredi ve ödeme modeli için kullanılacak olan kWhCoin kripto parası anlatılmıştır. Sonraki bölümlerde sistemin teknik ve işlevsel mimarisi ve nasıl çalışacağına ilişkin gereksinimler ve altyapı modelleri anlatılmıştır.

2. Elektrik Enerjisi Piyasaları, Tüketicilere Yönelik Modeller ve Tarife Modelleri

Bu bölümde makalenin ilerleyen bölümlerinde anlatılacak olan modelde kullanılacak olan kavramların tanımlamaları ve modele ilişkin etkileşimleri anlatılacaktır.

2.1. Piyasalar

Türkiye'de Enerji Piyasaları kontrolü; Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi (EPIAŞ), 14.03.2013 tarihli ve 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile 6102 sayılı Türk Ticaret

Kanunu ile, 18 Mart 2015 tarihinde tescillenmiş ve 01 Eylül 2015 tarihinde, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'ndan (EPDK) piyasa işletim lisansını alarak faaliyete geçmiştir. ("EPIAS Web Sitesi," 2020)

2.1.1. Gün Öncesi Piyasası (GÖP)

Elektrik piyasalarının üretici sayısındaki artış ve Avrupa Birliği uyum süreçlerine uygun olarak üreticilerin fiyatlarını bir gün öncesinden tanımlayabildikleri ve bunun üzerinden işlem yapabildikleri yerli gün öncesi projesi geliştirilmiş ve bu proje kapsamında yazılımları ve sağlanan ortam ile elektrik referans fiyatının yani Piyasa Takas Fiyatını (PTF) belirlenmektedir. Arz ve talebin kesiştiği ve saatlik bazda oluşan bir fiyattır. ("EPIAS Web Sitesi," 2020)

2.1.1. Dengeleme Güç Piyasası (DGPYS)

Gerçek zamanlı dengeleme; yan hizmetler ve dengeleme güç piyasalarından oluşmaktadır. Dengeleme güç piyasası, Sistem İşletmecisine (MYTM) gerçek zamanlı dengeleme için en fazla 15 dakika içinde devreye girebilecek yedek kapasiteyi sağlanmasını hedeflemektedir. Tüm operasyonel teknolojiler olarak adlandırılan OT ağında scada ve PLC sistemleri ile frekans kontrolü ve talep kontrolü hizmetleri sağlanır. Gün içerisinde yaşanan beklenmedik olaylar, büyük bir talebin oluşması, anlık tüketimlerin üretime yada endüstriyel proseslere bağlı olarak devreye girmesi yada üretimde olan bir planlı üretim yapan enerji santralının devre dışı kalması sonucunda bozulan dengeyi korumak için MYTM dengeyi sağlamak için Dengeleme Güç Piyasası'na sunulmuş teklifleri SMF (Sistem Marjinal Fiyatı) kullanarak, sistem dengesini sağlamaya çalışmaktadır. Bu proje kapsamında önerilen model ile DGPYS piyasasının daha düzenli ve kontrollü olabilmesi hedeflenmektedir. Özellikle tüketici tarafında oluşabilecek anlık artışların oluşturulacak mikro tüketim grupları içerisinde dengelenecek şekilde Mikro bir Dengeleme Güç Talebi yapısı oluşturulacaktır. ("EPIAS Web Sitesi," 2020)

2.1.1. Gün İçi Piyasası (GİP)

Yukarıda aktarılmış olan Gün Öncesi, Yan Hizmetler ve Dengeleme Güç Piyasalarına ek olarak devreye alınan Gün İçi Piyasası ile gerçek zamana yakın anlık ve dinamik serbest piyasa koşullarında üreticilerin ticaret yapabilmeleri sağlayabilmektedir. Üreticilerin kısa vadede planladıkları portföylerinde yaşanacak dalgalanmaları dengelemeyebilmelerine imkân sağlayacaktır. Yine önerilen model ile desteklenecek olan Gün İçi Piyasası, Gün Öncesi Piyasası ile Dengeleme Güç piyasası arasında köprü görevi görecek, bu özelliği ile de Elektrik Piyasasının dengelenmesine ve sorunsuz bir şekilde hizmetin verilmesini sağlayacaktır.

Böylelikle beklenmeyen ve anlık oluşabilecek santral arzaları devre dışı kalmalar, hava ve iklim koşullarına bağlı yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimlerindeki değişimler ve talep tarafında müşterilerin yaratabileceği tüketim miktarındaki öngörülemezlikler gibi dengesizliğe yol açacak unsurlar gerçek zamana daha yakın bir zamanda ortadan kaldırılabilecek, katılımcılara gün içinde yaşayabilecekleri pozitif veya negatif dengesizliklerin optimize edilmesi sağlanacaktır. ("EPIAS Web Sitesi," 2020)

2.2. Talep Tarafı Yönetimi ve Talep Katılımı

Tüketicilerin ihtiyaç duyduklarını enerjiyi kullanımlarına yönelik yapılan çalışmalar Talep Tarafı Yönetimi başlığı altında

toplanmaktadır. Bu konuda çok uzun süredir enerji verimliliği konusunda tüketici tarafında yapılan tarife planları, ekipman ve cihaz değişimi, ev tipi kullanımda enerji verimli cihazlar, ampuller gibi konuları kapsamaktadır. Sanayii elektrikliğine yönelik çalışmalarda ise yüksek enerji tüketimi yapan ısıtıcılar, soğutucular ve motorların yenilenmesi enerji verimliliklerini artıracak önlemler, şebeke modernizasyonu ve proses iyileştirmeleri kapsayan faaliyetler olarak yapılmaktadır.(Atzeni, Ordóñez, Scutari, Palomar, & Fonollosa, 2012; Palensky & Dietrich, 2011)

Talep katılımı konusu ise talep yönetimindeki yapılan anlık tüketim faaliyetlerinin fiyat veya farklı tetikleyiciler ile değişimini sağlayan sistemleri kapsamaktadır.(Albadi & El-Saadany, 2007, 2008; Palensky & Dietrich, 2011) Farklı fiyatlandırma tarifleri kullanımı genel olarak yüksek talep olan yoğun saatlerde elektrik fiyatlarının artırılması diğer saatlerde ise daha uygun fiyatlandırma yapılması olarak örneklendirilebilir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı olan üretim santrallerinde anca kısa zamanlı ve kapasiteli saklamalar yapılabilmektedir, rüzgar enerjisi günün saatlerine göre belli bir ortalama trend izlerken, güneş enerjisi mevsimlere ve günün saatlerine göre değişmektedir, nehir tipi olan HES'lerde ise genelde yenilenebilir olarak tanımlanabilmeleri için kapasitelerinin küçük olması ve büyük barajlar gibi doğayı değiştirmeden küçük havzalar ile üretim yapabildiklerinden özellikle yaz aylarında suyu biriktirir kullan mantığı ile çalışmaktadırlar. Bu tip bir modelde gün boyu suyu biriktirmek ve yüksek satış fiyatlarının olduğu saatlerde üretim yapmak ekonomik olarak daha yüksek gelir sağlamaktadır. Ancak tüm bu sistemlerde yine de dinamik bir şekilde talep katılımının yapılabilecek olması hava durumu, rüzgâr, güneşlenme ve akış tahmin modelleri ile birleştirildiğinde daha iyi bir planlama yapılabilmektedir.

Genel olarak talep tarafı yönetimi yatırım ve mevcut sistemlerin değişimini de kapsadığından daha uzun vadeli planlamalar olarak düşünülürken, talep katılımı aktif sistemin yeteneklerine göre yapılacak değişimler ve planlar ile kısa dönem planlamalar ve faaliyetler olarak düşünülebilir. (Aghajani, Shayanfar, & Shayeghi, 2017; Siano, 2014)

Bu makalede önerilen model çalışma ve teklif alma verme ve kabul yapısı ile talep katılımı olarak tanımlanmaktadır. Ancak iki yönlü sayaçların kullanımı, uzaktan kontrol edilebilen akıllı ev aletleri gibi sistemlerin eklenebilmesi gibi konular açısından da talep tarafı yönetimi alanına da girmektedir.

3. Blokzincir ve Kripto Para Kullanımı

Çok kullanıcı ve katılımcısı olan sistemlerin güvenliği ve şeffaflığı konusunda günümüzde globalleşen ve sınırları kaldırarak merkezi kontrol ve takip sistemlerinden uzaklaşarak dağıtık kontrollü sistemlerin kullanılmasına olan talebi artırmıştır. Özellikle dünya ekonomisindeki dalgalanmalar, ülkeler ve toplumlar arası yaşanan politik ve ekonomik krizler genel bir güven problemini de beraberinde getirmiştir. Açık kaynak kodlu yazılımlar, sosyal medyanın kullanımı, anonim paylaşımlar, takip edilemeyen para ve dosya transferleri gibi ihtiyaçları ve bunlara yönelik çözümleri de oluşturmaktadır.

Blokszincir aslında dağıtık bir kayıt veritabanı yada yetkisi olan tüm katılımcılarına açık bir kayıt defteri olarak düşünülebilir. Defterdeki yada veri tabanındaki her bir işlem kaydı tüm katılımcılar tarafından kayıt altına alınır. Bu kayıt işlemi sırasında arkasına ekleneceği bloğun bilgileri de alarak bir zincir oluşturur. Dolayısı ile bu zincir içerisinde herhangi bir kaydın değiştirilebilmesi için o kayda kadar olan tüm kayıtların da değiştirilmesi gerekecektir. Dağıtık bir mimari olan bu sistemde, blokszincir sunucuları tüm kayıtları anonim olarak saklarken herhangi bir anlaşmazlık ve kayıt uyumsuzluğu durumunda doğru olan kayıt sistemdeki tüm blokszincir sunucularından kontrol edilerek oybirliği ile doğrulanarak validasyon ve kontrolü yapılmış olur. Tüm bu aşamalarda kullanılan blokszincir algoritmasına göre kayıtlar ve işlemler kriptolu olarak saklanabilmektedir. (Crosby, Pattanayak, Verma, & Kalyanaraman, 2016; Pilkington, 2016; Swan, 2015; Zheng, Xie, Dai, Chen, & Wang, 2018) Bu sayede kayıtların değiştirilmesine yönelik yapılabilecek olan bir siber saldırıdan tek bir sunucunun ele geçirilmesini bir güvenlik riski yaratmayacaktır. Ayrıca sunucuların anonim olması toplu ve planlı bir saldırı yapılmasının da önüne geçmektedir.

Blokszincir kullanarak yapılabilecek olan çözümler ve bu çözümlerin klasik ya da alışılmış olan çözümlere karşı avantaj ve dezavantajları son yıllarda bir çok çalışmada yer almaktadır. (Aydar & Çetin, 2020; Mustaoğlu, 2018; Ünsal & Kocaoğlu, 2018) Ayrıca ulusal araştırmalarda öncelikli desteklenecek konular arasında da blokszincir ile dağıtık sistemlerin kullanılması, finans teknolojileri (fintek), sağlık ve eğitim alanında olası kullanımları da teşvik edilmektedir.

Önerilen blokszincir mimari sürecindeki enerji üretimi yapan ve piyasada bulunan firmalar ve gereken durumlarda resmi kurumlarda bu sistemin bir parçası olarak dağıtık denetim yapabileceklerdir. Kayıtların bu şekilde dağıtık olarak tutulması serbest piyasa koşullarında tüm tarafların şeffaf bir şekilde süreçleri takip edebilmesini sağlamaktadır.

Blokszincir mimarisi ve bu mimariye dayanarak ortaya çıkarılan sana para Bitcoin 2008 yılında Satoshi Nakamoto adındaki kişi yada grup tarafından yayınlanan bir teknik yazı ile dünya gündemine girmiştir. (Nakamoto, 2019) Sistemin ilk temel yapıtaşı olarak adlandırılan Genesis Bloğu oluşturulmuş ve 50 Bitcoin üretilmiştir. Sonrasında üretilecek olan kripto paraların yani blokszincirlerinin nasıl oluşturulacağına yönelik bir matematiksel madencilik modeli oluşturulmuştur. Daha sonraki yıllar içerisinde daha güncel ve hızlı algoritmalar üretilmiş olsa da sanal bir para olan Bitcoin dünya üzerinde kabul gören bir dijital kavram haline gelmiştir.

İlerleyen yıllar içerisinde çok farklı kripto para mimarileri ve modelleri ortaya çıkmış büyük bir kısmı açık kaynak kodlu olarak kullanıma açılmıştır. Kripto bir para birimi yaratmak için gerekli olan açık kaynak kodlu olan blokszincir algoritmalarından bir tanesini seçerek onun üzerine Genesis Blok oluşturarak kuralları belirlemektedir.

3.1. Blokszincir Çerçeve Modelleri

Bu makalede öngörülen modelde iki tip blokszincir kullanılacaktır, bunlar teklif ve piyasa işlemlerinin saklandığı Kayıt Blokszinciri ile piyasa içindeki aktörler olan üreticiler ve tüketiciler tarafından kullanılacak olan kWhCoin mimarisinin saklanacağı Kripto Para Blokszinciridir. Bu blokszincirler için literatürde yaygın olarak kullanılmakta olan iki çerçeve model bulunmaktadır. (Badr, Horrocks, & Wu, 2018; Sajana, Sindhu, & Sethumadhavan, 2018; Valenta & Sandner, 2017)

Blokszincir tiplerine bakıldığında verilerin yazılması ve okunması sonrasında da bir anlaşmazlık olduğunda nasıl ortak bir karar verileceği yani mutabakat yapısına göre ayrılmaktadırlar. Eğer blokszincir ağında yapılacak işlemlerin yetki seviyelerine göre uygulamalar ve çerçeve sistemleri değişebilmektedir. Bu sistemi kullanacak olan kullanıcıların blokszincire bağlanarak okuma, yazma ve mutabakat yapabilmeleri “İzin Gerektirmeyen Ağlar” olarak tanımlanırken ;sisteme girerek dağıtık olan kayıt defterlerinden daha önce kaydedilmiş olan verileri okumak için izin alınması gerekiyorsa ancak yeni bloklar eklemek ve sonrasında mutabakat sürecine katılabilmek için ek izin gerekmiyorsa, bu tarz ağlara “Kısmen İzin Gerektiren Ağlar” ;benzer bir tanımlama ile verileri okumak, yeni bloklar eklemek ve mutabakat sürecine katılabilmek için izin gerekiyorsa, bu tarz ağlara “Bütünüyle İzin Gerektiren Ağlar” adı verilmektedir.

3.1.1. Ethereum

Ethereum'un B2C uygulamaları geliştirmek için daha uygun olan genel veya izinsiz bir blokszinciridir. (Wood, 2014) Kısmi izinli, açık yada özel olarak kurgulanabilir. Solidty gibi bir yazılım mimarisi ile kodlanabilmektedir. Sisteme Tüketici tarafındaki işlemler ve kayıt için Ethereum mimarisi kullanılacaktır.

3.1.2. Hyperledger Fabric

Hyperledger Fabric, B2B iş uygulamaları için tasarlanmış özel veya izin verilen bir blokszincir protokolüdür (Androulaki et al., 2018; Cachin, 2016) Özel ve izin gerektiren bir mimarisi vardır. Genel kullanıma açık değildir. Java ile uygulama geliştirilebilmektedir. Verilecek teklifler ve kurumlar arası piyasa koşullarının yürütülmesi için kullanılacaktır.

3.2. Kripto Para - kWhCoin

Piyasa modelinde kullanıcıların yapmış oldukları tercihler ve kullandıkları elektrik enerjisine karşılık dinamik olarak cihazlar arasında haberleşme yapabilecek bir kripto para gerekmektedir. Bunun en önemli amacı kullanıcılar, üreticiler ve dağıtıcılar arasındaki anlık dengelemeler için gerekli piyasa modelinin oluşturulabilmesidir. Bu işlemlerde anlık ve çok hızlı olabileceği gibi miktar olarak çok cüzi miktarlarda olabilecektir. Bu tip bir finansman hareketliliği için Hyperleder Fabric gibi birçok işlemi saklayabilecek yüksek kapasiteli ve güvenilir bir çerçeve model olması gerekecektir. Geleneksel bankacılık sistemi üzerinde bu tip bir akışın sağlanabilmesi çok mümkün olmadığı gibi yaratacağı iş yükü ve komisyonlar sistemin gerçekçi olarak kullanılabilmesinin önünde bir engeldir.

4. Önerilen Sistem Bileşenleri ve Piyasa İşletme Modeli

4.1. Sistem Donanımsal Bileşenleri

Önerilen sistemin çalışabilmesi için tüketicilerin otomatik ya da uzaktan talep katılımı yapabilecekleri akıllı ev sistemlerin sahip olmaları gerekmektedir. Bu amaçlar internet bağlantısı olan ev tipi bir haberleşme hub cihazının bulunması gerekmektedir. Bu cihazda işletim sisteminden bağımsız olarak hem haberleşme, hem mutabakat hem de planlama yapılabilmesi için esnek olan Konteyner mimarisi ile Docker sisteminin kullanılması planlanmıştır. Bu şekilde sistemin dağıtılması ve güncellenmesi rahatlıkla yapılabilecektir. Ayrıca mevcut internet altyapısı üzerinden kullanıcılar evlerindeki bu güvenli ve şifrelenmiş hub sayesinde evlerindeki cihazları kontrol edebilecek ve planlı işlemler yapabileceklerdir. Bu sistem genel ev otomasyonundaki standart protokolleri, WiFi ve BLE altyapılarını destekleyecek endüstriyel uygulamalarda ise IIoT cihazları olarak çalışabilecektir. Dengeleme Güç Piyasası ve Gün İçi Piyasası için mikro düzeyde kontrol ve planlamaların yapılabilmesine imkan sağlayacak cihazlardan oluşmalıdır.

4.1.1. Programlanabilir Akıllı Prizler ve Kontaklar

Sistemin planlı görevler için otomatik olarak devreye girebilmesi aynı zamanda planlanmış görevlerin ilgili cihazlar ile uygun protokoller üzerinden haberleşebilmelerini sağlayacak olan akıllı prizler, röleler ve yazılım tabanlı kontrol kartlarından oluşmaktadır. Bu altyapılar yeni nesil IIoT cihazlar ve standart olan ev içi cihaz haberleşmeleri ve akıllı ev haberleşme ağını kullanacaklardır. Yeni nesil sistemlerde ZigBee, BLE ve WiFi gibi haberleşme altyapıları ile cihazların kontrolü takip edilmesi ve bağlantıları açık sistemler ile yapılabilmektedir.

4.1.2. Yenilenebilir Enerji Entegrasyonu ve İki Yönlü İşlemler

Önerilen sistem içerisinde elektrik enerjisinin yakın bir fiziksel alan içerisinde aynı trafo merkezinde paylaşılabilmesi, saklanabilmesi için gerekli olan güneş panelleri, ev tipi bataryalar, küçük rüzgâr türbinleri gibi sistemlerden oluşan modüllerdir. Bu sayede tüketiciler istedikleri taktirde kendi evlerine bağlı mikro üretici durumunda çalışabilmekte ama tüm büyük sisteme ticari olarak bağlanmaya ihtiyaç duymadan sistemde gün içi mikro dengeleme yapabileceklerdir.

4.2. Sistem Yazılım Mimarisi

Sistemde çok fazla sayıda yazılım bileşeni ve buna destek verecek sunucular, mikro servisler, konteyner sanallaştırmaları ve bunları yönetebilecek orkestrasyon ve senkronizasyon sistemleri bulunmaktadır. Bu sistemler günümüzdeki bilgi teknolojileri altyapıları ile standart hale gelmiş güncel uygulamalardır. Bunlar kavramsal olarak Şekil 1'den görülebilir.

4.2.1. Merkez Piyasa Sunucusu

Bulut bilişim altyapısı üzerinde sanallaştırılmış olarak çalışacak olan bu sunucu tüm piyasanın verilerin toplandığı sunucu olacaktır. Mikro Servisler ve web servisler ile güvenli olarak haberleşebilecektir. Bulut bilişim üzerinde yerleştirilmiş olması sistemin ilk gün çalışması için gerekli minimum maliyetle devreye alınmasını yine aynı şekilde sistem içerisinde Piyasa Servislerini hizmet olarak sunabilme yapısı ile de ilerleyen zamanlarda büyük tüketici kitlelerine ölçeklenebilir

hizmet vermesini sağlayacaktır. Kullandıkça öde hizmetleri yapısı sayesinde tüm taraflar için en uygun dağıtılmış maliyetler oluşacaktır.

4.2.2. Blokzincir ve Kripto Para kWhCoin Sunucuları

Sisteme dahil olan piyasa oyuncuları ve sistemin bütünü için gerekli olan dağıtık kayıt sisteminin sunucuları farklı lokasyonlar da olacak ve sistemin dağıtık mimarisinin destekleyecektir. Bu sistem için Ethereum ve Hyperledger Fabric sunucuları ayrı ayrı konumlandırılacak ve her biri için sıfırcı Genesis blokları sistem tarafından oluşturulacaktır. Gereken mutabakat ve kontrol işlemleri yine tanımlı mimari koşullar üzerinden yönetmelikler çerçevesinde olacaktır.

4.2.3 İlişkisel Veritabanı Sunucuları

Sisteme dahil olan tüm tüketici ve üreticilerin bilgilerini, fatura ve fiyat tekliflerinin KKP sistemlerine entegre edilebilmesi için aynı zamanda web ve mobil uygulamaların ihtiyacı olan anlık verilerin tutulması için kullanılacak olan sunuculardır. Bu sistemlerin sistemin geleneksel KKP yazılımları, e-devlet sistemleri ve faturalandırma yazılımları ile entegrasyonunda kolaylıkla senkronize olmasını ve kullanımını sağlayacaktır. İlişkisel veritabanı sunucusu olarak açık kaynak kodlu olan ve aynı zamanda zaman damgalamasını da kullanabilen PostgreSQL kullanılacaktır.

4.2.4. Hava Durumu ve Genel Bilgi Servisleri

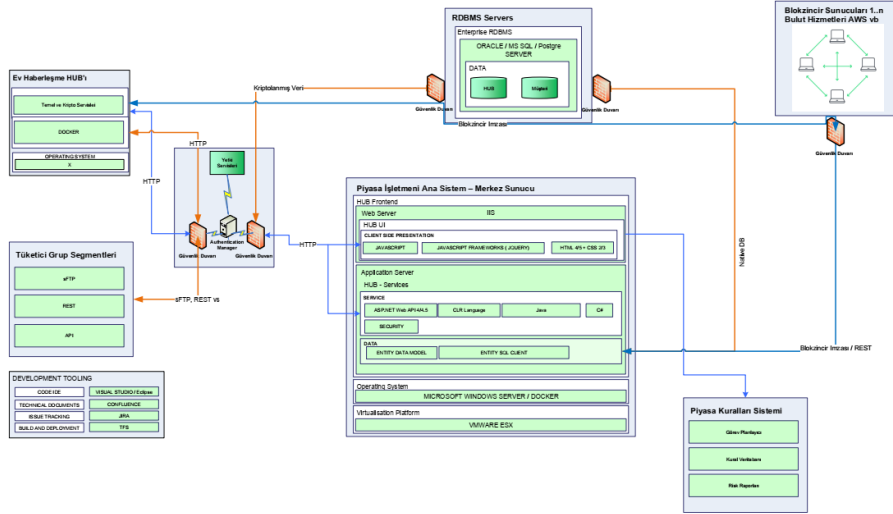
Tüketici tarafında kullanılacak olan iki yönlü sayaçlar ve yerel enerji depolama altyapıları Sisteme dahil olan piyasa oyuncuları ve sistemin bütünü için gerekli olan dağıtık kayıt sisteminin sunucuları farklı lokasyonlar da olacak ve sistemin dağıtık mimarisinin destekleyecektir. Ayrıca tüketicilerin planlarını oluşturabilmeleri için gerekli olabilecek ek faydalı bilgiler bu servisler üzerinden mobil uygulama ve kullanıcı ekranlarına aktarılabilir. Yine aynı mikro tüketici grup segmenti içerisinde oluşabilecek işlemlere yönelik bilgiler de bu genel bilgi servisleri üzerinden alınabilecektir.

4.2.5. Tüketici Davranışları ve Pandemi Servisleri

Özellikle Pandemi süreci ile birlikte ortaya çıkan insanların evden çalışma, işe gitmeme ya da gidememe, sokağa çıkma yasakları sonrasında evdeki fırın, buzdolabı, klima gibi sistemlerin normal sürecin dışında kullanılmasını takip edebilecek ya da bilgilerin girilmesini sağlayabilecek olan ara yüz servisleridir. Bu servisler anormal ya da geleneksel alışkanlıklar dışındaki çalışmalarını sisteme entegre edebilecek yapılardır.

4.2.6. Planlı Hedefler Servisleri

Bir grup tüketicinin bir araya gelerek tüketim alışkanlıklarına bağlı olarak dengeli ve planlı bir enerji tüketimini ve belli bir oranda kendi içlerinde mikro düzeyde enerji üretip dağıtabilmelerini sağlayabilecek planlı hedeflerini girebilecekleri ve bu şekilde üreticiler ile toplu ve indirimli fiyat alabilecekleri servislerdir. Bu servislerin tüm işlemleri blokzincir kayıtları olarak aynı zamanda ilişkisel veri tabanlarına da kaydedilecektir.



Şekil 1. Sistem Bileşenleri ve Yazılım Mimarisi

4.3. Dinamik Tüketici Talep Yönetimi Modeli

Yukarıda verilen yazılım ve donanım sistemleri sayesinde tüketiciler bir araya gelerek bir ortak tüketim profili ve taahhütlü oluşturabileceklerdir. Bu oluşturdukları tüketim profiline göre üretici firmalardan teklif alabileceklerdir. Sistem iki yönlü çalışabileceği için verilen taahhütlere göre en uygun fiyatı veren üretici ile çalışabileceklerdir. Sistemin verimli çalışabilmesi için tüketim tarafının olabildiğince dengeli ve mümkün olabilecek esneklikte olması gerekmektedir. Tüketim profillerinin anlık olarak kaydırılabilmesine yönelik planlama da sistem içerisinde yapılacaktır. Böylelikle bir tüketici grubu için toplam yük, ortalama yük ve anlık yük planlaması yapılabilecektir. Tüketiciler planlı olan elektrik tüketimleri için esnek tüketim saatleri girebilecekler aynı zamanda alternatif planlara ne kadar katkıda bulunabileceklerini, evlerindeki ev tipi bataryalar ve yenilenebilir enerji üretimin segment içinde nasıl kullanılabileceklerini tanımlayabileceklerdir. Tüm bu işlemler sırasında ev tipi hublar segment içerisindeki diğer cihazlar ile kripto para ile kapalı bir market oluşturacaklar, isteyen tüketiciler daha avantajlı tarife kullanımlarını yapabileceklerdir. Ancak bu sistem bir apartman, site ya da aynı trafoya bağlı olan tüketiciler arasında olacağı için iletim ve dağıtım tarafında köklü değişiklikler yapılmasına gerek olmayacaktır.

4. Sonuç

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından Elektrik Piyasası Tarifeler Yönetmeliği ile makalede anlatılan modelin uygulanabilmesi için gerekli olan tanımlar da yapılarak önerilen modelin hayata geçebilmesi ve uygulanabilmesi teoriden pratiğe aktarılabilir. Ayrıca tedarik faaliyetindeki tarife önerilerinin her bir tüketici grubu ve maliyet unsuru için etkilerinin incelenmesi, mevcut ve gelecekteki maliyetlerin tüketici grupları bazında dağıtılarak fiyatlandırmanın yapılması gerekecektir. Önerilen model ile tüketiciler tüketim hedeflerini sisteme aktarabileceklerinden bu bilgilerin elde edilmesi çok daha etkin ve gerçekçi olarak yapılabilecektir.

Bu makalede Talep Tarafı Yönetimi ve Talep Katılımı modellerine uygun dinamik bir piyasa modeli önerisinde

bulunulmuştur. Bu model yeni yönetmelik ve teknolojilere uygun olarak geliştirilmiş ve anlatılmıştır.

Kaynakça

- Acar, B., Selcuk, O., & Dastan, S. A. (2019). The merit order effect of wind and river type hydroelectricity generation on Turkish electricity prices. *Energy Policy*, 132, 1298–1319. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.07.006>
- Aghajani, G. R., Shayanfar, H. A., & Shayeghi, H. (2017). Demand side management in a smart micro-grid in the presence of renewable generation and demand response. *Energy*, 126, 622–637.
- Albadi, M. H., & El-Saadany, E. F. (2007). Demand response in electricity markets: An overview. *2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 1–5. IEEE.
- Albadi, M. H., & El-Saadany, E. F. (2008). A summary of demand response in electricity markets. *Electric Power Systems Research*, 78(11), 1989–1996.
- Androulaki, E., Barger, A., Bortnikov, V., Cachin, C., Christidis, K., De Caro, A., ... Manevich, Y. (2018). Hyperledger fabric: a distributed operating system for permissioned blockchains. *Proceedings of the Thirteenth EuroSys Conference*, 1–15.
- Atzeni, I., Ordóñez, L. G., Scutari, G., Palomar, D. P., & Fonollosa, J. R. (2012). Demand-side management via distributed energy generation and storage optimization. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 4(2), 866–876.
- Aydar, M., & Çetin, S. (2020). Blokzincir Teknolojisinin Sağlık Bilgi Sistemlerinde Kullanımı. *European Journal of Science and Technology*, (19), 533–538. <https://doi.org/10.31590/ejosat.735052>
- Badr, B., Horrocks, R., & Wu, X. B. (2018). *Blockchain By Example: A developer's guide to creating decentralized applications using Bitcoin, Ethereum, and Hyperledger*. Packt Publishing Ltd.
- Berges, M., Goldman, E., Matthews, H. S., & Soibelman, L. (2009). Learning systems for electric consumption of buildings. In *Computing in Civil Engineering (2009)* (pp. 1–10).
- Bianco, V., Manca, O., & Nardini, S. (2009). Electricity

- consumption forecasting in Italy using linear regression models. *Energy*, 34(9), 1413–1421.
- Cachin, C. (2016). Architecture of the hyperledger blockchain fabric. *Workshop on Distributed Cryptocurrencies and Consensus Ledgers*, 310(4).
- Çetinkaya, M., Başaran, A. A., & Bağdadioğlu, N. (2015). Electricity reform, tariff and household elasticity in Turkey. *Utilities Policy*, 37, 79–85. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jup.2015.06.003>
- Crosby, M., Pattanayak, P., Verma, S., & Kalyanaraman, V. (2016). Blockchain technology: Beyond bitcoin. *Applied Innovation*, 2(6–10), 71.
- del Río González, P. (2008). Ten years of renewable electricity policies in Spain: An analysis of successive feed-in tariff reforms. *Energy Policy*, 36(8), 2917–2929.
- Dong, B., Li, Z., Rahman, S. M. M., & Vega, R. (2016). A hybrid model approach for forecasting future residential electricity consumption. *Energy and Buildings*, 117, 341–351.
- Ediger, V. Ş., Kirkil, G., Çelebi, E., Ucal, M., & Kentmen-Çin, Ç. (2018). Turkish public preferences for energy. *Energy Policy*, 120, 492–502. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.05.043>
- Elektrik Piyasası Tarifeler Yönetmeliği. (2020). *Resmi Gazete*, 31160, 28. Retrieved from <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2020/06/20200619-4.htm>
- EPIAS Web Sitesi. (2020). Retrieved June 6, 2020, from <https://www.epias.com.tr/>
- Hamzaçebi, C. (2007). Forecasting of Turkey's net electricity energy consumption on sectoral bases. *Energy Policy*, 35(3), 2009–2016.
- Kaytez, F., Taplamacioglu, M. C., Cam, E., & Hardalac, F. (2015). Forecasting electricity consumption: A comparison of regression analysis, neural networks and least squares support vector machines. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 67, 431–438.
- Köksal, E., & Ardiyok, Ş. (2018). Regulatory and market disharmony in the Turkish electricity industry. *Utilities Policy*, 55, 90–98. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jup.2018.10.001>
- Kumar, U., & Jain, V. K. (2010). Time series models (Grey-Markov, Grey Model with rolling mechanism and singular spectrum analysis) to forecast energy consumption in India. *Energy*, 35(4), 1709–1716.
- Lin, B., & Liu, X. (2013). Electricity tariff reform and rebound effect of residential electricity consumption in China. *Energy*, 59, 240–247.
- MacPherson, R., & Lange, I. (2013). Determinants of green electricity tariff uptake in the UK. *Energy Policy*, 62, 920–933.
- McLoughlin, F., Duffy, A., & Conlon, M. (2013). Evaluation of time series techniques to characterise domestic electricity demand. *Energy*, 50, 120–130.
- Mustaçoğlu, A. F. (2018). Blockchain-Based Data Sharing and Decentralizing Privacy. *European Journal of Science and Technology*, (14), 235–240. <https://doi.org/10.31590/ejosat.440049>
- Nakamoto, S. (2019). *Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system*. Manubot.
- Nguyen, K. Q. (2008). Impacts of a rise in electricity tariff on prices of other products in Vietnam. *Energy Policy*, 36(8), 3145–3149.
- Ozil, E., Ugursal, V. I., Akbulut, U., & Ozpinar, A. (2008). Renewable Energy and Environmental Awareness and Opinions: A Survey of University Students in Canada, Romania, and Turkey. *International Journal of Green Energy*, 5(3), 174–188. <https://doi.org/10.1080/15435070802107025>
- Palensky, P., & Dietrich, D. (2011). Demand side management: Demand response, intelligent energy systems, and smart loads. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 7(3), 381–388.
- Pilkington, M. (2016). Blockchain technology: principles and applications. In *Research handbook on digital transformations*. Edward Elgar Publishing.
- Rahman, A., Srikumar, V., & Smith, A. D. (2018). Predicting electricity consumption for commercial and residential buildings using deep recurrent neural networks. *Applied Energy*, 212, 372–385.
- Sajana, P., Sindhu, M., & Sethumadhavan, M. (2018). On blockchain applications: hyperledger fabric and ethereum. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 118(18), 2965–2970.
- Sanquist, T. F., Orr, H., Shui, B., & Bittner, A. C. (2012). Lifestyle factors in US residential electricity consumption. *Energy Policy*, 42, 354–364.
- Siano, P. (2014). Demand response and smart grids—A survey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 461–478.
- Swan, M. (2015). *Blockchain: Blueprint for a new economy*. “O'Reilly Media, Inc.”
- Toros, H., & Aydın, D. (2018). Kısa Vadeli Elektrik Tüketiminin Sıcaklığa Bağlı Yapay Sınır Ağları ile Tahmini. *European Journal of Science and Technology*, (14), 393–398. <https://doi.org/10.31590/ejosat.407229>
- Ünsal, E., & Kocaoğlu, Ö. (2018). Blokzinciri Teknolojisi: Kullanım Alanları, Açık Noktaları ve Gelecek Beklentileri. *European Journal of Science and Technology*, (13), 54–64. <https://doi.org/10.31590/ejosat.423676>
- Valenta, M., & Sandner, P. (2017). Comparison of ethereum, hyperledger fabric and corda. *No. June*, 1–8.
- Weron, R. (2007). *Modeling and forecasting electricity loads and prices: A statistical approach* (Vol. 403). John Wiley & Sons.
- Wolde-Rufael, Y. (2006). Electricity consumption and economic growth: a time series experience for 17 African countries. *Energy Policy*, 34(10), 1106–1114.
- Wood, G. (2014). Ethereum: A secure decentralised generalised transaction ledger. *Ethereum Project Yellow Paper*, 151(2014), 1–32.
- Zeifman, M., & Roth, K. (2012). Disaggregation of home energy display data using probabilistic approach. *2012 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, 630–631. IEEE.
- Zheng, Z., Xie, S., Dai, H.-N., Chen, X., & Wang, H. (2018). Blockchain challenges and opportunities: A survey. *International Journal of Web and Grid Services*, 14(4), 352–375.