



2. KOCATEPE MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ ÖĞRENCİ SEMPOZYUMU

AFYONKARAHİSAR / 22 – 24 Mayıs 2023
Yer: Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi (Online)

TAM METİN BİLDİRİ KİTABI

EDİTÖRLER:

Arş. Gör. Enes YILDIZ

Arş. Gör. Eren Can SEYREK

Arş. Gör. Sami Serkan İŞOĞLU

Afyon Kocatepe Üniversitesi Yayınevi

E-ISBN: 978-605-4444-32-8



2. KOCATEPE MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ ÖĞRENCİ SEMPOZYUMU

AFYONKARAHİSAR / 22 – 24 Mayıs 2023
Yer: Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi (Online)

TAM METİN BİLDİRİ KİTABI

EDİTÖRLER:

Arş. Gör. Enes YILDIZ
Arş. Gör. Eren Can SEYREK
Arş. Gör. Sami Serkan İŞOĞLU

Afyon Kocatepe Üniversitesi Yayınevi
E-ISBN: 978-605-4444-32-8



SEMPOZYUM KURULLARI

Onur Kurulu

Prof. Dr. Mehmet KARAKAŞ

Afyon Kocatepe Üniversitesi Rektörü

Yürütme Kurulu

Prof. Dr. Ahmet YILDIZ

Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekanı

Doç. Dr. Gökhan GÖRHAN

Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekan Yardımcısı

Dr. Öğr. Üyesi Senem GÜNER

Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekan Yardımcısı

Düzenleme Kurulu Başkanı

Arş. Gör. Enes YILDIZ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Düzenleme Kurulu

Dr. Öğr. Üyesi Senem GÜNER

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Arş. Gör. Ali Kemal AY

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Arş. Gör. Burak Enis KORKMAZ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Arş. Gör. Demrenur ÖZÇATAL

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Arş. Gör. Eren Can SEYREK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Arş. Gör. Mustafa GÜRİSOY

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Arş. Gör. Nurgül ÖZMEN SÜZME

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Arş. Gör. Sami Serkan İŞOĞLU

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Arş. Gör. Teslime EKİZ ÜNSAL

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Bilim Kurulu

Prof. Dr. Ahmet YILDIZ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Prof. Dr. Atilla EVCİN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Prof. Dr. Bahri ERSOY	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Prof. Dr. Çağlar ÖZKAYMAK	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Prof. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Prof. Dr. Füsün BALIK ŞANLI	Yıldız Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. İbrahim TIRYAKIOĞLU	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Prof. Dr. İbrahim YILMAZ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Prof. Dr. İsmail DEMİR	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Prof. Dr. H. Özkan TOPLAN	Sakarya Üniversitesi
Prof. Dr. Levent ÖZCAN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Prof. Dr. Meltem DİLEK	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Prof. Dr. Mevlüt GÜLLÜ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Prof. Dr. Murat UYSAL	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Prof. Dr. Mustafa YILMAZ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Prof. Dr. Nil TOPLAN	Sakarya Üniversitesi
Prof. Dr. Ömer YILDIRIM	Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi
Prof. Dr. Ramazan ŞEVİK	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Prof. Dr. Tamer BAYBURA	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Prof. Dr. Taner KAVAS	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Prof. Dr. Veli UZ	Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Doç. Dr. Ali İhsan ŞEKERTEKİN	Çukurova Üniversitesi
Doç. Dr. Duygu ÇELİK ERTUĞRUL	Doğu Akdeniz Üniversitesi
Doç. Dr. Gökhan GÖRHAN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Doç. Dr. Gökhan KÜRKLÜ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Doç. Dr. Mehmet Ali DERELİ	Giresun Üniversitesi
Doç. Dr. Metin BAĞCI	Afyon Kocatepe Üniversitesi

Bilim Kurulu

Doç. Dr. Mustafa YALÇIN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Doç. Dr. Mohamed Abu AL-SAYED	Isra University, Jordan
Doç. Dr. Saygın ABDİKAN	Hacettepe Üniversitesi
Doç. Dr. Serkan ELÇİN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Doç. Dr. Uçman ERGÜN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Doç. Dr. Uğur FİDAN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Doç. Dr. Zeynal TOPALCENGİZ	Muş Alparslan Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Haşim YURTTAKAL	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Raif BOĞA	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Aslı KARABAŞOĞLU	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Burak TÜRKER	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Can BAŞARAN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Cemal KASNAK	Afyon Sağlık Bilimleri Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Deniz AKIN ŞAHBAZ	Pamukkale Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Emre AKARSLAN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Erman DUMAN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Gür Emre GÜRAKSIN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÇİFTÇİ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Naim KARASEKRETER	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Nizar POLAT	Harran Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan ALAGÖZ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Özkan ASLAN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Rasim DOĞAN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Recep PALAMUTOĞLU	Afyon Sağlık Bilimleri Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Sabire DUMAN	Afyon Sağlık Bilimleri Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Sadık KAĞA	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Senem GÜNER	Afyon Kocatepe Üniversitesi



Bilim Kurulu

Dr. Öğr. Üyesi Süleyman GÜCEK	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Tülay ALTAY	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Veli BAŞARAN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Arş. Gör. Dr. Cansu KURTULUŞ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Arş. Gör. Dr. Çiğdem AŞÇIOĞLU	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Arş. Gör. Dr. Elif FIRATLIGİL AKGÜN	Fırat Üniversitesi
Arş. Gör. Dr. Mustafa KANIK	Fırat Üniversitesi
Arş. Gör. Dr. Nazan YILMAZ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Öğr. Gör. Dr. Tuğba DEDEBAŞ	Afyon Kocatepe Üniversitesi



SEMPOZYUM PROGRAMI

22 MAYIS 2023 PAZARTESİ

AÇILIŞ TÖRENİ (10:00-12:30)
SAYGI DURUŞU VE İSTİKLAL MARŞI
AÇILIŞ KONUŞMALARI
Arş. Gör. Enes YILDIZ (II. KOGRENSEM Düzenleme Kurulu Başkanı)
Prof. Dr. Ahmet YILDIZ (Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekanı)
Prof. Dr. Yılmaz YALÇIN (Afyon Kocatepe Üniversitesi Rektör Yardımcısı)
DAVETLİ KONUŞMACILAR
Vedat ÖKSÜZ (İMİB Yönetim Kurulu Muhasip Üyesi)
Dr. Tarık ÖĞÜT (FİGES Yönetim Kurulu Başkanı)

SAAT	OTURUM 1B Harita Mühendisliği Oturumu Oturum Başkanı: Doç. Dr. Mustafa YALÇIN
13:00 – 13:15	CBS ile Çizgisellik Haritalarının Yapılması: Afyonkarahisar (2023-2024) Esra Tüci*, Mustafa Yalçın
14:15 – 14:30	CBS Yöntemleri Kullanarak Katı Atık Depolama, Transfer ve Dönüşüm Tesislerinin Yerlerinin Seçimi Senanur Sadıkoğlu*, Aycan Murat Marangoz
13:30 – 13:45	Türkiye Belediye Atık İstatistiklerinin CBS ile Analizi (2002-2022) Nazime Evşen*, Mustafa Yalçın
13:45 – 14:00	Veri Kazıma Yöntemi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Afyonkarahisar'daki Restoran Konumlarının ve Puanlarının Analizi ve Görselleştirilmesi Berk Sert*, Eren Can Seyrek, Murat Uysal
14:00 – 14:15	Salda Gölü Yüzeysel Değişiminin CBS ile Analizi (1985-2020) Gürsel Ekin Erbey*, Mustafa Yalçın
14:15 – 14:30	Açık Kaynaklı GNSS Değerlendirme Programları ile Farklı GNSS Ölçü Sürelerinden Elde Edilen Sonuçlarının Doğruluğunun Araştırılması Furkan Şahiner*, İbrahim Tiryakioğlu
14:30 – 14:45	Örtü Altı Bitki Yetiştiriciliği Sektörü İstatistiklerinin CBS ile Analizi (2005-2022) Hamdi Coşar*, Mustafa Yalçın
14:45 – 15:00	Akıllı Robotik Haritalama Konumsal Davranışlarının İncelenmesi ve Kullanım Alanlarının Araştırılması Betül Düzgün*, Mustafa Yalçın

SAAT	OTURUM 2A Jeoloji & Orman Mühendisliği Oturumu Oturum Başkanı: Dr. Öğr. Üyesi Can BAŞARAN
15:15 – 15:30	Bolvadin GB Bölümünün Derin Jeotermal Yapısının Manyetotellürik (MT) Yöntemle Araştırılması Mehmet Gazi Aynacı*, Ahmet Yıldız, Özcan Özyıldırım, Can Başaran, Metin Bağcı, Feyzullah Ekrem Çonkar
15:30 – 15:45	İlyaslı (Afyonkarahisar) ve Çevresindeki Volkanik Kayaçlardaki Hidrotermal Alterasyon Mineralojisi Ahmet Yıldız*, Alper Dülger
15:45 – 16:00	Kahramanmaraş Çevresi Deprem Riski Medine Ergüven*, Ali Osman Öncel
16:00 – 16:15	Bursa Yöresi Kestane (Castanea sativa Mill.) Ormanlarının Önemli Hastalık ve Zararlıları Murat Biçici*, Ahmet Aktuğ, Tutku Gencal
16:15 – 16:30	Uzay Madenciliği ve Potansiyel Faydaları İ. Sedat Büyüksağış, Shafwan Saputura*, Mustafa Gürsoy
16:30 – 16:45	Radyasyon Zırhlama Uygulamaları Üzerine Kısa Bir Derleme Filiz Oruç*, Muhammed Fatih Can

SEMPOZYUM PROGRAMI

23 MAYIS 2023 SALI

SAAT	OTURUM 3A Elektrik Mühendisliği Oturumu Oturum Başkanı: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet DENİZ
09:00 – 09:15	Predicting Housing Prices Using Regression Barkın Baydar*, Orçun Berkant Eker
09:15 – 09:30	Elektrik Şebekelerinde Reaktif Güç Kompanzasyonu Sıraç Tanrıverdi*
09:30 – 09:45	İnsan Merkezli Kişiselleştirilmiş Aydınlatma Sistemi Zehra Akcan Kocadağ*, Necmi Cemal Özdemir, Nuri Yunus Kocadağ
09:45 – 10:00	SWOT Analizini ve Risk Analizini kullanarak Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Değerlendirilmesi Aslıhan Gür*, Gökalp Özcan, Neşe Yeşilkaya, Onur Derse
10:00 – 10:15	Quadcopter Drone Gövde Tasarımı ve Analizi Berke Bay*, Meltem Eryıldız
10:15 – 10:30	Design and Implementation of Energy Management System for Hydrogen Powered Vehicles Yağız Çakmak*, Emre Can Demirel, Ahmet Fatih Durar, Onur Şurgun

SAAT	OTURUM 3B Kimya & Kimya Mühendisliği Oturumu Oturum Başkanı: Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan ALAGÖZ
09:00 – 09:15	Potasyum Nitrat Üretimi için Jel ve Makroporoz Tipi İyon Değiştirici Reçinelerin Kullanımının Araştırılması Abdi Vuran*, Hasan Arslanoğlu
09:15 – 09:30	Ticari İyon Değiştirici Reçinelerin Potasyum Nitrat Üretimine Etkilerinin Araştırılması Engin Demirci*, Hasan Arslanoğlu
09:30 – 09:45	Optimization of the Preparation of Highly Porous Activated Carbon Made from Willow Tree Waste by Response Surface Methodology and Physico-Chemical Characterization Semanur Sağlam*, Feride N. Türk, Hasan Arslanoğlu
09:45 – 10:00	Sulu Çözeltilerden Tetrasiklin ve Siprofloksasinin Aktif Karbon Üzerine Adsorpsiyonu Buket Onat*, Feride N. Türk, Hasan Arslanoğlu
10:00 – 10:15	Kişisel Bakım Ürünlerinden ve İlaçlardan Elde Edilen Mikroplastiklerin Çevre ve İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkisi İbrahim Uyar*, Kutay Çağlayan, Hasan Arslanoğlu
10:15 – 10:30	Metal Organik Kafes Yapılarının (MOF) Boya Adsorpsiyonunda Kullanımının İncelenmesi Semanur Sağlam*, Feride N. Türk, Hasan Arslanoğlu

SAAT	OTURUM 4A Elektrik & Yazılım Mühendisliği Oturumu Oturum Başkanı: Arş. Gör Enes YILDIZ
10:30 – 10:45	Kablosuz Enerji Transferinin Su Ortamı Başarımı Emrah Kaplan*, Faruk Öztürk, Sait Özkaya
10:45 – 11:00	Enerji Sektöründeki Dijital Teknoloji Uygulamalarına İlişkin Bir İnceleme Yunus Emre Ateş*, K. Çağatay Bayındır
11:00 – 11:15	Erişilebilir Randevulu Asistan Uygulaması Kübra Kesici*, Büşra Fatma Haktan, Ebubekir Işık, Ertuğrul Karaca, Duygu Görmez
11:10 – 11:30	AVR İşlemci Tabanlı BLDC Motor Sürücünün Gerçekleştirilmesi Ferdî Yabansu*, Fatih Onur Hocaoğlu
11:30 – 11:45	Afyon Kocatepe Üniversitesi İçin PVsol Yazılımı ile 3MW'lık GES Fizibilitesi Fırat Çoban*, Nazmiye Ergün, Fatih Serttaş
11:45 – 12:00	Solution of Blood Drawings in Milking Machines with Sensor Yousra M. A. Alaklouk*, Emre Olca, Sama Alfares, Yousef Haroun

SAAT	OTURUM 3B Kimya & Kimya Mühendisliği Oturumu Oturum Başkanı: Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan ALAGÖZ
10:30 – 10:45	Şeker Fabrikası Atıklarından Yavaş Salımlı Gübre ve Yan Ürün Olarak Aktif Karbon Eldesi Sena Eren*, Hasan Arslanoğlu*
10:45 – 11:00	Entegre Karanlık Fermantasyon ve Anaerobik Çürütme Sistemi ile Pirinç Samanından Biyohitan Üretimi Serpil Şencan*, Abdullah Bilal Öztürk, Jale Gülen
11:00 – 11:15	1 M HCl Çözeltisinde AISI 304 SS Çeliği İçin Yeşil Korozyon İnhibitörü Olarak Helichrysum arenarium L. Moench R.S. Kurt*, R.N. Yanık, Meltem Dilek, Aysel Büyüksağış
11:10 – 11:30	Endüstriyel Çinko Üretim Tesisi Atıklarından Pigment Üretimi İrem Orhan*, Hasan Arslanoğlu, Cansu Yayla
11:30 – 11:45	Ananas Kabuklarının Prolizi ile Biyoyakıt Eldesi Hüsna Çakar*, Sevgül Yılmaz, Yahya Alasad, Nazan Yılmaz
11:45 – 12:00	Manyetit Kullanılarak Sulu Çözeltilerden Cr(VI) Giderilmesi Neval Ocak*, Hasan Arslanoğlu
12:00 – 12:15	Sera Gazı Emisyonunun Sektör Bazlı Tahminlemesi ve Risklerin Önceliklendirilmesi İkra Rumeysa Aksu*, Göker Kurudere, Ayşe Nur Altın, Onur Derse



SAAT	OTURUM 5A Elektrik Mühendisliği Oturumu Oturum Başkanı: Dr. Öğr. Üyesi Said Mahmut ÇINAR
12:30 – 12:45	Gökyüzü Görüntülerinde Bulut Segmentasyonu Gerçekleştirilmesi ve Performansının İncelenmesi Onur Tok*, Furkan Yavuz, Ardan Hüseyin Eşlik
12:45 – 13:00	Güneş Enerji Santrallerinin (GES) Kuşlar Üzerine Etkisi Furkan İmamoğlu*, Havva Gündoğdu, Mehmet Burak Güner, Mehmet Yılmaz
13:00 – 13:15	Otomatik Gökyüzü Görüntüleme ve Meteorolojik Veri Ölçme Sistemi Tasarımı ve Uygulaması Hasan Efe Demiraslan*, Anıl Önder, Ardan Hüseyin Eşlik
13:15 – 13:30	Fotovoltaik Panelin Tek Diyotlu Modellenmesi Tuğçe Nur Öztürk*, Fatih Serttaş, Volkan Durusu

SAAT	OTURUM 5B Gıda Mühendisliği Oturumu Oturum Başkanı: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KILINÇ
12:30 – 12:45	Vegan Balık Sosu Üretiminde Lactobacillus plantarum Kullanımının Ürünün Renk ve Duyusal Özelliklerine Etkisi Cengiz Çelen*, Mahmut Hisar, Yusuf Kaan Ongan, Selin Özge Dinç, İbrahim Ender Künili
12:45 – 13:00	Balık Yağı ile Güçlendirilmiş Mayonezin Duyusal Özellikleri Mahmut Hisar*, Yusuf Kaan Ongan, Cengiz Çelen, Selin Özge Dinç, İbrahim Ender Künili
13:00 – 13:15	Geleneksel Yöntem ve Lactobacillus plantarum Kullanılarak Üretilen Vegan Balık Sosunun Antioksidan Aktivitesinin Belirlenmesi Yusuf Kaan Ongan*, Cengiz Ceren, Mahmut Hisar, Selin Özge Dinç, İbrahim Ender Künili
13:15 – 13:30	Akdeniz Midyesi (Mytilus galloprovincialis)'nden Elde Edilen Midye Sosunun Renk ve Duyusal Özelliklerinin Belirlenmesi Aybüke Aynur Soykan*, Selin Özge Dinç, İbrahim Ender Künili

SAAT	OTURUM 6A Bilgisayar Mühendisliği Oturumu Oturum Başkanı: Dr. Öğr. Üyesi Özkan ASLAN
14:00 – 14:15	VR for Vocabulary Abdulaziz Alhussein*, Emre Atlıer Olca
14:15 – 14:30	Süt Sığırlarında Mastitis Tahlil Uygulaması Esra Arslan*, Derya Ayyıldız, İsmail Kırbas
14:30 – 14:45	Education with Virtual Reality Mert Yılmaz*, Fatih Karaca, Zeynep Soysüllü
14:45 – 15:00	Yerel Yönetimlerin Hizmet Kalitesinin Sosyal Medya ile Veri Madenciliği Yapılarak Artırılması Kutsal Gürlek*, İsmail Karaca, Mustafa Ali Beyazal, Emre Atlıer Olca
15:00 – 15:15	Süt Sığırlarının Takibi İçin Geliştirilen Haytek Hayvan Kimliklendirme ve Sağım Takip Mobil Uygulamasının Arayüzünün Geliştirilmesi Buğra Didin*

SAAT	OTURUM 7A Bilgisayar Mühendisliği Oturumu Oturum Başkanı: Dr. Öğr. Üyesi Özkan ASLAN
15:30 – 15:45	OpinRank Veri Kümesi Üzerinde Otel Müşteri Yorumlarının Kümelmesi ve Duygu Analizi Aslı Şemşimoğlu*, Rabia Durgut, Özkan Aslan
15:45 – 16:00	Polimer Soft Robotik Uzuvların İmalatında Farklı Mukavemet İhtiyaçları İçin Kaotik ve Adaptif-Nöro-Bulanık Çıkarım Destekli Bir Yöntem Geliştirilmesi Kader Akmaz*, Doğucan Yağmur, Mehmet Akif Koç, Mustafa Çağrı Kutlu
16:00 – 16:15	Çocuklarda İklim Değişikliği Farkındalığı Oluşturmak İçin Unity AR ile Geri Dönüşüm Temalı Oyun Geliştirme Erman Yükselgün*, Emre Atlıer Olca
16:15 – 16:30	Development of Technology and Its Effect on The Tourism Industry Aynur Arslan*, Emre Olca
16:30 – 16:45	Toplumsal Yardım Kuruluşlarının ve Derneklerin Toplumla İletişimini Artırmak İçin Bir Sosyal Medya Uygulaması Oğuz Can Kılıçkaya*, Emre Olca

SEMPOZYUM PROGRAMI

24 MAYIS 2023 ÇARŞAMBA

SAAT	OTURUM 8A İnşaat & Orman Endüstri Mühendisliği Oturumu Oturum Başkanı: Doç. Dr. Cahit GÜRER
09:00 – 09:15	PCI İndeksi ve ANS'de Bir Uygulama Örneği Suha Al-Samakıya*, Şeyma İğdır, Kadir Kurt, Arif Nazım Özçetin, Cahit Gürer, Burak Enis Korkmaz, Ayfer Elmacı
09:15 – 09:30	Farklı Katlı Yapıların Altında Yapılan Tünel Kazılarının Meydana Getirdiği Yüzey Oturmaları Berre Köse*, Hilal Gezmiş, Yusuf Kaya
09:30 – 09:45	Plastik Atıkların Çevresel Etkileri ve Asfalt Kaplamalarda Kullanılarak Geri Dönüştürülmesi Tuğçe Nur Çakır*, Gülben Kardeşahin, Sena Baycan, Ayşegül Karaköse
09:45 – 10:00	Kimyasal Olarak Modifiye Edilmiş Yongalardan Levha Üretimi Mert Tuğberk Kavut*, Mahmut Ali Ermeidan
10:00 – 10:15	Ahşap Panel Levha Üretiminde Kullanılan Farklı Tutkal Tiplerinin Levhanın Yüzey Pürüzlülük Değeri Üzerine Etkisi Özkan Cırrık*, Oktay Gönültaş
10:15 – 10:30	Tanen Biyotutkalının Yapışma Özelliklerine Parafin Kullanımının Etkisi Hasan Işık*, Oktay Gönültaş
10:30 – 10:45	Polimer Modifiyeli Bitümün Asfalt Kaplamalar Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması Cahit Gürer*, Burak Enis Korkmaz, Ayfer Elmacı

SAAT	OTURUM 9B Biyomedikal Mühendisliği Oturumu Oturum Başkanı: Doç. Dr. Uçman ERGÜN
10:45 – 11:00	Derin Beyin Stimülasyonu ve İyileştirme Önerileri Özlem Acar*, Burakhan Yılmaz, Ahmet Koluman
11:00 – 11:15	Kapsül Endoskopi: Yenilikçi Bir Görüntüleme Tekniği ve Geleceği Hakkında İnceleme Bedia Bayraktar*, Nesrin Hakmi, Huejda Tharator
11:10 – 11:30	Filament Geri Dönüşüm Cihazı ve Yöresel Atık Maddelerden Filament Üretimi Tuğçe Çoban*, Sedanur Orcin, O. Berk Kahraman, Furkan Baloğlu, Uçman Ergün
11:30 – 11:45	Tekstil Atıklarının Kompozit Üretiminde Değerlendirilmesi Özge Doğan*
11:45 – 12:00	Grafen Oksit Katkılı Aljinat Temelli Antibakteriyel Özellikli Yara Örtüsü Tasarımı Büşra Çamur, Gizem Fatma Ergüner, Derya Eyüboğlu*, Simay Uysal, Şevval Temel, Sadık Kağa
12:00 – 12:15	Investigating the Correlation of Brain Signals Between Two People During Different Modes of Pair Communication Using EEG Sevgi Şengül*



SAAT	OTURUM 10A Makine & Mekatronik Mühendisliği Oturumu Oturum Başkanı: Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk GÜLER
13:00 – 13:15	Ağır Vasıtalarda Kullanılan Hidrolik Planetli Otomatik Şanzımanların Verimliliğinin Artırılması Burhan Küçükbağ*
14:15 – 14:30	Şekil Biriktirme İmalatı ile Parça Üretimi Nazlı Aşkın Arıkan*
13:30 – 13:45	Hidrojen-Hava Ön Karışımli Sistemlerde Laminer Alevlerin Geri Tepme Oluşumu Cem Eren Özçelik*
13:45 – 14:00	Tabakalı Kompozit Malzemeler için Doğal Frekans Aralığı Analizinde Tam Faktöriyel Deney Tasarımı, Yapay Sinir Ağları Tabanlı Regresyon ve Stokastik Optimizasyon Kullanılarak Alternatif Formülasyon Geliştirilmesi Melih Savran*, Hande Parlak, Levent Aydın
14:00 – 14:15	Cam Sektöründe Müşteri Şikayetlerindeki Hammaddesel Hata Oranlarına Pareto ve FMEA Uygulaması Tuğçe Özdemir*, İrem Düzdar Argun
SAAT: 14:30	Değerlendirme ve Kapanış Töreni



TAM METİN BİLDİRİLER

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<i>Fotovoltaik Modelin Tek Diyotlu Modellenmesi</i>	<i>1</i>
<i>Uzay Madenciliği ve Potansiyel Faydaları.....</i>	<i>8</i>
<i>Gökyüzü Görüntülerinde Bulut Segmentasyonu Gerçekleştirilmesi ve Performansının İncelenmesi</i>	<i>17</i>
<i>CBS Yöntemleri Kullanarak Katı Atık Depolama, Transfer ve Dönüşüm Tesislerinin Yerlerinin Seçimi ..</i>	<i>22</i>
<i>Afyon Kocatepe Üniversitesi İçin PVsol Yazılımı ile 3MW'lık GES Fizibilitesi.....</i>	<i>28</i>
<i>Enerji Sektöründeki Dijital Teknoloji Uygulamalarına İlişkin Bir İnceleme</i>	<i>35</i>
<i>Farklı Katlı Yapıların Altında Yapılan Tünel Kazılarının Meydana Getirdiği Yüzey Oturmaları</i>	<i>40</i>
<i>Cam Sektöründe Müşteri Şikayetlerindeki Hammaddesel Hata Oranlarına Pareto ve FMEA Uygulaması</i>	<i>47</i>
<i>Çocuklarda İklim Değişikliği Farkındalığı Oluşturmak İçin Unity AR ile Geri Dönüşüm Temalı Oyun Geliştirme</i>	<i>53</i>
<i>Süt Sığırlarının Takibi İçin Geliştirilen Haytek Hayvan Kimliklendirme ve Sağım Takip Mobil Uygulamasının Arayüzünün Geliştirilmesi</i>	<i>58</i>
<i>Otomatik Gökyüzü Görüntüleme ve Meteorolojik Veri Ölçme Sistemi Tasarımı ve Uygulaması</i>	<i>68</i>
<i>Şekil Biriktirme İmalatı ile Parça Üretimi.....</i>	<i>75</i>
<i>Kapsül Endoskopi: Yenilikçi Bir Görüntüleme Tekniği ve Geleceği Hakkında İnceleme</i>	<i>79</i>

Fotovoltaik Modelin Tek Diyotlu Modellenmesi

Tuğçe Nur Öztürk^{1*}, Fatih Serttaş², Volkan Durusu³

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, tugcenurozturk06@gmail.com

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, fserttas@aku.edu.tr

³Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, durusuvolkan@gmail.com

Özet

Günümüzde artan karbon emisyonları ve küresel iklim değişikliği endişesi, enerji üretiminde yenilenebilir ve sürdürülebilir kaynaklara olan ilgiyi artırmıştır. Bu bağlamda, güneş enerjisi sistemleri, çevre dostu ve etkili bir enerji üretme yöntemi olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışma, güneş enerjisi panellerinin performansını anlamak ve optimize etmek amacıyla fotovoltaik panellerin hücresel yapısını incelemeye yöneliktir. Araştırmada, fotovoltaik panellerin hücresel bileşenleri için tek diyotlu model kullanılmıştır. Bu model, panellerin elektrik üretimini temsil eder ve farklı sıcaklık ve ışınım koşullarında nasıl davranacaklarına dair önemli bilgiler sunar. Matlab/Simulink ortamında oluşturulan panel dizisi modeli, birden fazla panelin bir araya getirilmiş hali olarak tasarlanmıştır. Çalışma, farklı sıcaklık ve ışınım değerlerinde fotovoltaik panellerin performansını test etmek üzere tasarlanmış deneyler içermektedir. Elde edilen sonuçlar, Matlab/Simulink modelinin gerçek dünya verileri ile ne kadar uyumlu olduğunu değerlendirmek için kullanılacaktır. Bu, güneş enerjisi sistemlerinin verimliliğini artırmak ve gerçek dünya uygulamaları için daha iyi tasarım stratejileri geliştirmek amacıyla önemlidir. Sonuç olarak, bu çalışma güneş enerjisi sistemlerinin fotovoltaik panellerini daha iyi anlamamızı ve gelecekte enerji üretiminde daha sürdürülebilir ve çevre dostu çözümler sunmamızı sağlayabilir. Elde edilen sonuçlar, yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımına yönelik stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

Anahtar kelimeler: Yenilenebilir Enerji Sistemleri; Güneş Enerjisi, Matlab/ Simulink.

Single Diode Model of Photovoltaic Panel

Abstract

The increasing carbon emissions and concerns about global climate change have heightened the interest in renewable and sustainable energy sources for power generation. In this context, solar energy systems have emerged as an environmentally friendly and effective method of energy production. This study aims to examine the cellular structure of photovoltaic panels to comprehend and optimize their performance within the realm of solar energy. In this research, a single diode model is utilized for the cellular components of photovoltaic panels. This model represents the electrical output of the panels and provides crucial insights into how they will behave under varying temperature and irradiance conditions. The panel array model, constructed within the Matlab/Simulink environment, is designed to represent an arrangement of multiple panels. The study incorporates experiments designed to test the performance of

photovoltaic panels under different temperature and irradiance values. The obtained results will be employed to assess the degree of alignment between the Matlab/Simulink model and real-world data. This evaluation is pivotal for enhancing the efficiency of solar energy systems and developing improved design strategies for practical applications. In conclusion, this study can contribute to a deeper understanding of photovoltaic panels in solar energy systems, enabling us to provide more sustainable and environmentally friendly solutions for future energy production. The results obtained can contribute to the development of strategies for effective utilization of renewable energy sources, thereby fostering advancements in the field of renewable energy.

Keywords: Renewable Energy System; Solar Energy; Simulink; Matlab

1. Giriş

Endüstride ve günlük hayatta enerji ihtiyaçlarının neredeyse tamamı petrol, kömür ve doğalgaz kaynakları ile karşılanmaktadır. Bu kaynaklar teknolojinin gelişmesinde ve hayatı kolaylaştırmada itici bir güç olsalar da doğaya ve çevreye verdikleri zarar göz önüne alındığında yarar kadar zararları da bulunmaktadır. Fosil yakıtların kullanımından ötürü son 20 yılda atmosferik karbon gazı salınımı oranında çok yüksek artış olduğu kanıtlanmıştır. Bu veriler göz önünde bulundurulduğunda artan nüfus ve küreselleşen ekonominin genişlemesi daha fazla enerji ihtiyacı dolayısıyla da daha fazla kaynak ihtiyacı oluşturmaktadır.

Fosil yakıtların doğaya ve insan sağlığına etkilerini azaltmak amacıyla karbon emisyonu olmayan, atık olarak yine doğadaki maddelerin kendisini çıkaran yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanılması fikri ve uygulamaları son 10 yılda katlanarak artmaktadır. Bu uygulamaların en önemli örneklerinden birisi elektrik otomobillerdir. Dünya üzerinde yaklaşık 1,25 milyar fosil yakıt kullanan araç olduğu tahmin edilmektedir. Otomobillerin karbon emisyonu çok fazla olduğundan yakıt olarak elektrik motorları ve bataryalar kullanılmaya başlanmıştır. Bazı ülkeler 2035 yılına kadar fosil yakıt kullanan araçların üretimini durdurmayı ve kullanımını azaltmayı taahhüt etmiş hatta onaylamışlardır.

Doğadan elektrik elde etmenin, güneş, rüzgar vb. yöntemleri bulunur. Günümüzde güneş panelleri elektrik üretiminde çok kullanılmaktadır. Güneş panelleri, içerisinde bulunan fotovoltaiik hücreler yardımı ile elektriği üretir ve akü gibi elektrik enerjisinin depolanabileceği birimlere aktarılır veya gerekli ayarlamalar yapıldıktan sonra şebekeye gönderilebilir.

Xiao ve ark. [7] yayınladıkları çalışmada hücrenin çıkış özelliklerini ortamdaki ışınım ve sıcaklıktaki değişikliklere bağlı olarak gösteren bir simülasyon modeli tasarlamışlardır. Yapılan model basitleştirilmiş tek diyot modeline dayanmaktadır.

Salmi ve ark. [6] yaptıkları çalışmada PV hücre davranışının tahmini için matematiksel modele dayanan bir simulink modeli oluşturmuştur. Çalışmada farklı fiziksel ve çevresel parametreler altında PV hücresinin çıkış değerlerini incelemişlerdir.

Kumari ve Babu [3] yaptıkları çalışmada güneş ışınımının ve sıcaklık değişimlerinin etkilerini içeren fotovoltaiik güneş pillerinin temel devre denklemlerini kullanarak Simulink ortamında bir model oluşturmuştur. Değişken değerlerde modeli test etmiş ve sonuçlarını paylaşmıştır.

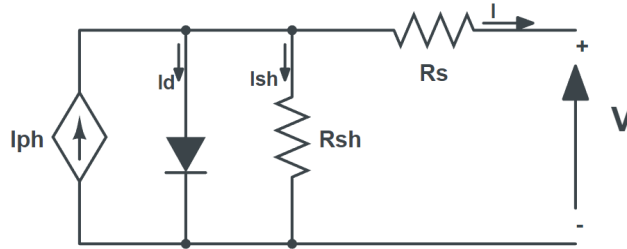
Rani ve arkadaşları yayınladıkları çalışmada Matlab kullanarak tek diyot ve çift diyot fotovoltaiik modelleri gerçekleştirmiştir. Modeller matematiksel denklemlere dayanarak oluşturulmuş ve analiz edilmiştir. Rashel ve ark. [4] yayınladıkları çalışmada gölgelemenin fotovoltaiik hücre üzerine etkisini ortaya koymuştur. Fotovoltaiik hücre üzerine etkileyen farklı türde gölge etkilerinin sonucunda hücre çıkışındaki değerleri gözlemlemiştir.

İsen ve Koçhan [2] yaptıkları çalışmada 6 adet panelin bulunduğu bir dizi modellemesi gerçekleştirmiştir. Modelde üçerli seri bağlı olarak paralel iki kol kullanmıştır. Farklı sıcaklık ve ışınım değerlerinde test ederek elektriksel çalışma eğrilerini ortaya koymuştur.

2. Materyal ve Metot

2.1. Fotovoltaiik Hücre

Fotovoltaiik hücre, ışığa maruz kaldığından elektrik üretebilen bir malzemedir. Fotovoltaiik hücre akım kaynağı gibi davranır. Üretebileceği akım alacağı ışınım ile doğru orantılıdır. Şekil 1’de gösterildiği gibi, bir hücrenin eşdeğer devresi ideal koşullar altında tanımlandığında;



Şekil 1. Fotovoltaiik Hücrenin Eşdeğer Devresi

Hücrenin eşdeğer devresi, bir diyot ve ona paralel olarak bağlanmış bir akım kaynağı şeklinde ideal şartlarda gösterilebilir. Gerçek dünya koşullarını dikkate alarak, devreye seri ve paralel dirençler eklenir. Bu, hücrenin eşdeğer devresinin daha gerçekçi bir modelini oluşturur. Rs direnci materyallerin saf olmamasından kaynaklanan direnç değerini temsil ederken Rp direnci ise sızıntı akımından kaynaklanan direnci temsil etmektedir.

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

I_{ph} akımı, ışık akımını temsil eder ve hücrenin ışıktan elektrik üretme kapasitesi ile ilgilidir. Eşitlik 1, bu akımın matematiksel olarak ifade edildiği bir denklemdir. I_{ph} akımı, hücreye düşen ışık miktarına bağlıdır ve bu akım Eşitlik 2’de gösterilen formülle hesaplanır.

$$I_{ph} = \frac{G}{G_{nom}} I_{ph(G_{nom})} \quad (2)$$

Eşitlik 2’de belirtilen G_{nom} değeri, test koşullarına özgü bir ışınım değeridir ve genellikle 1000 W/m^2 olarak kabul edilir. Diğer yandan G değeri, anlık ışınım değerini ifade eder. I_{ph} değeri, standart test koşullarında ölçülen ışık akımını ifade eder ve G_{nom} olarak adlandırılır.

$$I_{ph} = \frac{G}{G_{nom}} (I_{sc} + K_i \Delta T) \quad (3)$$

Eşitlik 3'te olduğu gibi, standart test koşullarında ışık akımı, kısa devre akımı (I_{sc}), sıcaklık katsayısı (K_i) ve sıcaklık farkı (ΔT) gibi faktörlere bağlı olarak elde edilir. K_i katdayısı, sıcaklık değişimlerinin ışık akımı üzerindeki etkisini ifade eden bir katsayıdır. Bu katsayı deneyler sonucu elde edilir ve her model için farklı değerler alabilir. Eşitlik 1'deki I_d akımı diyot akımı olarak ifade edilir ve Eşitlik 4'teki gibi elde edilir.

$$I_D = I_0 e^{\frac{qV_d}{akT_c N_s}} - 1 \quad (4)$$

Eşitlik 4'teki I_0 akımı, sızıntı akımı veya karanlık akımını ifade eder. Bu akımın değeri Eşitlik 5'teki formül ile hesaplanır.

$$I_0 = \frac{I_{sc} + K_i \Delta T}{e^{\frac{q(V_{oc} + K_v \Delta T)}{akT_c N_s}} - 1} \quad (5)$$

Paralel diyot üzerindeki gerilim düşümünü ifade eden V_d değeri, sıcaklık değeri T_c , elektron yükü q ve Boltzmann sabiti k tarafından belirlenir. a idealite faktörünü temsil eder ve malzeme seçimi ile ilişkilidir. İdeal durumlarda $a=1$ alınır.

Kirchoff'un Gerilim Kanunu'na göre çıkıştaki gerilimi içeren denklem yazıldığında Eşitlik 6 elde edilir.

$$V_D = V + IR_s \quad (6)$$

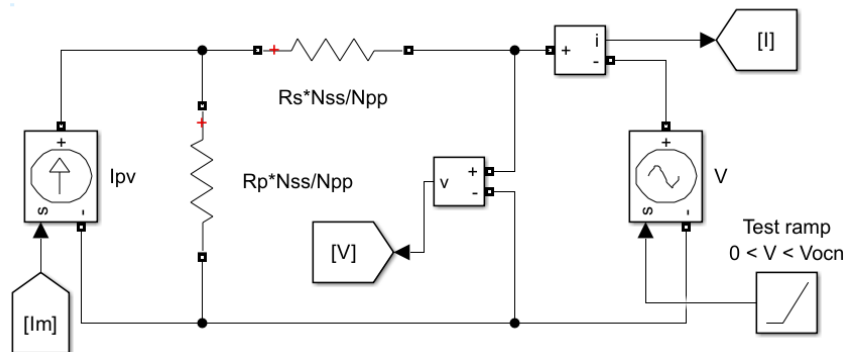
Eşitlik 7, Eşitlik1'de yerine Eşitlik 2,4,5,6 değerleri yazılarak elde edilir.

$$I = \frac{G}{G_{nom}} I_{ph}(G_{nom}) - (I_0 e^{\frac{qV_d}{akT_c}} - 1) - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (7)$$

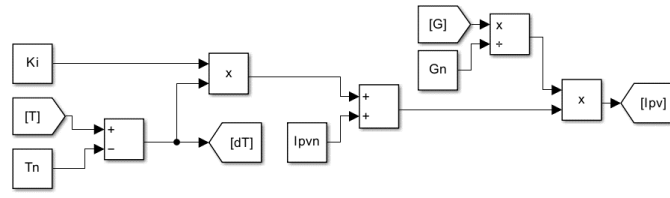
Eşitlik 7'dan yararlanarak Matlab/Simulink ortamında panel modellemesi gerçekleştirilebilir.

2.2 Simulink Modeli

Eşitlik 6'da elde edilen denklem ışığında oluşturulan Simulink modeli Şekil 2'de verilmiştir.

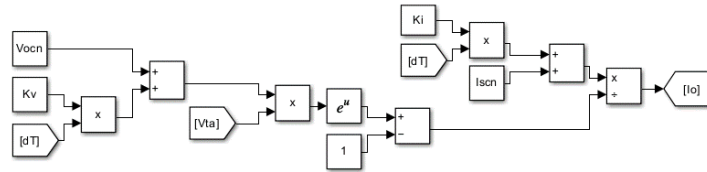


Şekil 2. Simulink Modeli



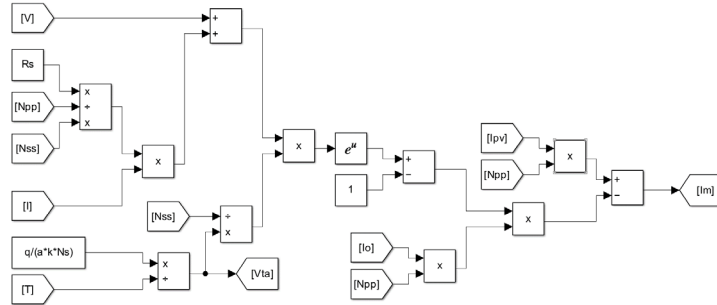
Şekil 3. Iph Akımı için Simulink Modeli

MATLAB Simulink modeli, Iph akımını hesaplamak için oluşturulmuş olup Şekil 3'te gösterilmiştir.



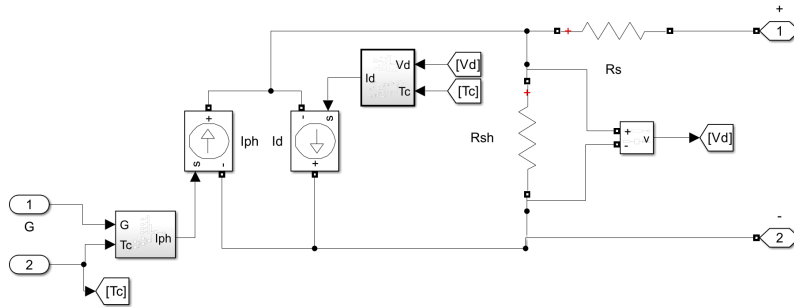
Şekil 4. Io Akımı için Simulink Modeli

Simulink modeli, Io akımını bulmak için oluşturulmuş olup Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Id Akımı için Simulink Modeli

Simulink modeli, Id akımını bulmak için oluşturulmuş olup Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 6. Fotovoltaik Dizi için Simulink Modeli

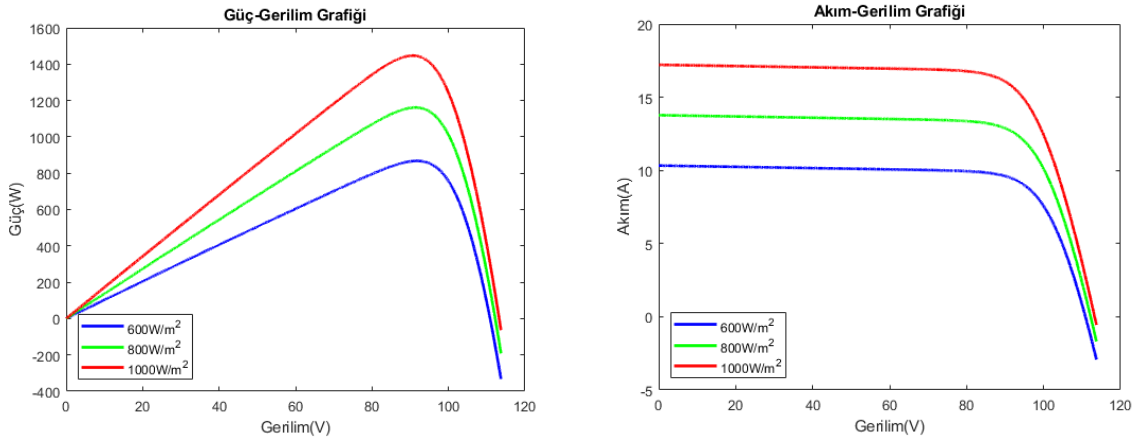
Fotovoltaik panelin modellemesi Matlab/Simulink programında Şekil 1 referans alınarak hazırlanmış ve parametreler için Eşitlik (1-7)'de açıklanan denklemler kullanılmıştır. Oluşturulan bu modelin test aşamasında Solarturk Enerji firmasının STR 60 M 265 modül tipinin parametreleri kullanılmıştır. Model için kullanılan parametreler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Simülasyonda kullanılan modül parametreleri

R_s	R_p	K_t	K_v	V_{oc}	I_{sc}	a	N_s
0.38572	153.5644	0.0024	0.08	37.91	9.31	0.9784	60

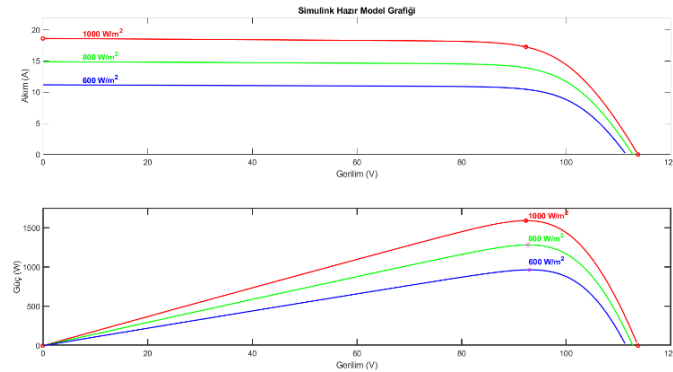
3. Bulgular

Simülasyon sonucu elde edilen bulgular Şekil 7 ve Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 7. Güç-Gerilim Grafiği, Akım-Gerilim Grafiği

Şekil 7’de 1000, 800 ve 600 W/m^2 ışınım değerleri altında elde edilen grafikler görülmektedir. 1000 W/m^2 değerinde elde edilen maksimum güç 1447W, 800 W/m^2 ışınım değeri altında 1161.5W, 600 W/m^2 ışınım değeri altında 867.5W olarak bulunmuştur. 1000 W/m^2 değerinde elde edilen maksimum akım 17.21A, 800 W/m^2 ışınım değeri altında 13.77A, 600 W/m^2 ışınım değeri altında 10.33A olarak bulunmuştur.



Şekil 8. Simulink’te bulunan hazır modelin Akım-Gerilim ve Güç-Gerilim Grafikleri

4. Tartışma ve Sonuç

Bu makalede, farklı ışınım seviyeleri ve 25°C sıcaklık değeri altında elektriksel karakteristik eğriler elde etmek amacıyla altı adet panelin modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Modellenen fotovoltaik hücreler, bir fotovoltaik dizisi oluşturularak incelenmiştir. Fotovoltaik panellerin elektriksel özelliklerini elde etmek için Solarturk STR60 M265 modül tipi kullanılarak bir model oluşturulmuş ve bu model üzerinden akım, gerilim ve güç değerleri grafiksel olarak incelenmiştir. Elde edilen grafikler, Matlab/Simulink yazılımındaki fotovoltaik panel bloğu tarafından üretilen grafiklerle karşılaştırılmıştır. Kullanımı planlanan fotovoltaik panelin simülasyon sonuçları, modelleme çalışmasının doğru bir şekilde yapıldığını ve sistemin kurulması için uygun olduğunu ortaya koymaktadır.

5. Kaynaklar

- [1] Hussaian Basha, C., Rani, C., Brisilla, R.M., Odofin, S. 2020. Mathematical Design and Analysis of Photovoltaic Cell Using MATLAB/Simulink. In: Das, K., Bansal, J., Deep, K., Nagar, A., Pathipooranam, P., Naidu, R. (eds) Soft Computing for Problem Solving. Advances in Intelligent Systems and Computing, 1048. Springer, Singapore.
- [2] Isen E. & Koçhan Ö., 2020. FOTOVOLTAİK PANELİN TEK DİYOTLU MODELLENMESİ, Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi, 2. 1-10.
- [3] Kumari J. S., Babu C.S., 2012. Mathematical Modeling and Simulation of Photovoltaic Cell using Matlab-Simulink Environment, International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), February 2012, 2, 1, 26-34.
- [4] M. R. Rashel, A. Albino, M. Tlemcani, T. C. F. Gonçalves and J. Rifath, 2016. MATLAB Simulink modeling of photovoltaic cells for understanding shadow effect, 2016 IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), 747-750.
- [5] Motahhir S, El Ghzizal A., Sebti S., Derouich A. 2015. Une ressource pedagogique pour l'enseignement par simulation: cas des panneaux photovoltaïques. Workshop International sur les Approches Pedagogiques & E-Learning. Hal-01351308.
- [6] Salmi, T., Bouzguenda, M., Gastli, A. & Masmoudi, A. 2012. MATLAB/Simulink Based Modeling of Photovoltaic Cell. International Journal of Renewable Energy Research, 2, 2, 213-218.
- [7] Weidong Xiao, W. G. Dunford and A. Capel, A novel modeling method for photovoltaic cells, 2004. 2004 IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference (IEEE Cat. No.04CH37551), 3, 1950-1956.

Uzay Madenciliği ve Potansiyel Faydaları

İ. Sedat Büyüksağış^{1*}, Shaftwan Saputra², Mustafa Gürsoy³

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, sbsağış@aku.edu.tr

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, sshaftwan70@gmail.com

³Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, mgursoy@aku.edu.tr

Özet

Dünya kaynaklarının tükenmesi, insanlar ve ekosistemler üzerinde ciddi etkileri olan bir konudur. Kaynaklarımızın tükenmesi ekonomik, sosyal ve çevresel sonuçları da beraberinde getirir. İnsan nüfusu arttıkça ve teknolojik gelişmeler ilerledikçe, doğal kaynakların tükenmesi daha da hızlanmıştır. Örneğin, fosil yakıtların tükenmesi küresel enerji güvenliğini tehdit ederken, tarımsal üretim için kullanılan su kaynaklarının tükenmesi gıda üretimini olumsuz etkilemektedir. Uzay madenciliği yapmanın dünyada tükenmiş veya sınırlı olan kaynakların yerine kullanılması için potansiyel bir kaynak olacağı düşünülmektedir. Uzayda bulunan mineraller, metaller ve diğer doğal kaynakları kullanarak insanlık için faydalı ürünlerin üretilmesi günümüz tüketim dünyasına bakıldığında oldukça gereklidir. Teknoloji ilerledikçe ve kullanılacak ekipmanlardaki gelişmelerle birlikte maliyetler düştükçe bu alanda madencilik yapan ülkeler ve şirketler artacaktır. Bu çalışmada uzay madenciliğinin nasıl yapılacağı, dünya ekonomisine yapacağı katkıları ve uzaydaki yasal durumlar hakkında genel bakış açısıyla bilgiler derlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Uzay madenciliği; asteroit; teknoloji; ekonomi

Asteroid Mining and its Potential Benefits

Abstract

The depletion of world resources is an issue that has serious effects on humans and ecosystems. The depletion of our resources brings with it economic, social and environmental consequences. As the human population increases and technological developments advance, the depletion of natural resources has accelerated as well. For example, while the depletion of fossil fuels threatens global energy security, the depletion of water resources used for agricultural production negatively affects food production. Space mining is thought to be a potential resource for replacing depleted or limited resources in the world. The production of useful products for humanity by using minerals, metals and other natural resources in space is quite necessary when we look at today's consumption world. As the technology advances and the costs decrease with the developments in the equipment to be used, the countries and companies engaged in mining in this field will increase. In this study, information about how to do space mining, its contributions to the world economy and the legal situations in space has been compiled.

Keywords: Space mining; asteroid; technology; economy

1. Giriş

Nüfusun artışı ve teknolojinin de gelişmesi dünyamızdaki madenlerin azalmasına neden olmakta, hatta bu da önümüzdeki 40-50 yıla kadar çok nadir ve değerli olan bazı elementler bulunmaz hale gelecektir. Geri dönüşüm de bu durumu bir yere kadar kurtarabiliyor ancak mutlak çözüm olacak bir seviyede değildir. Bu yüzden uzay ve asteroid madenciliği bir alternatif çözüm olarak görülmektedir. Gelişmiş ve özellikle uzay çalışmaları konusunda tecrübeli olan ülkeler gözlerini gökyüzüne dikmiş durumdadırlar. Uzay ve asteroid madenciliği fikri sandığımız kadar yeni bir şey olmayıp, 19. yüzyılda başlamıştır. 1945 yılında insan yapımı ilk uzay aracı atmosferi geçtiğinden beri uzay ve asteroid madenciliği ciddi anlamda gündemimizi işgal etmektedir. 21. yüz yıla geldiğinde ise artık uzay ve asteroid madenciliği mümkün hale gelmiş durumda olup, gelecekte uygulanabilir olarak kabul edilmektedir.

Uzay ve asteroid madenciliği, dünyaya yakın yörüngede hareket eden asteroidlerden ve gezegenlerden hammadde ve su çıkarılması işleminin genel adıdır. Asteroid madenciliği, asteroidlerden mineral ve gaz, uzayda inşa edilecek yapılarda kullanmak üzere demir, nikel ve titanyum, astronotların bu yapılarda çalışmalarını devam ettirebilmeleri için gerekli su ve oksijen, roket yakıtında kullanmak için hidrojen ve oksijen temin etmek gibi görevler üstlenir [1].

Uzay ve Asteroid Madenciliğinin temel amaçlarından birisi Uzay'daki değerli madenlerden elde edilecek cevherlerin Dünya'ya getirilip Dünya ekonomisine kazanç sağlamaktır. Dünyamızdaki kaynakların sonsuz olmadığı gerçeği bilim çevrelerince kanıtlarıyla birlikte ortaya konulmuş bir olgu olarak karşımızda durmaktadır. Diğer taraftan ise, asteroidlerde çok miktarda çeşitli metaller ve mineraller bulunurken, bazılarında donmuş halde su (buz) da bulunmaktadır. Onlardan elde edilecek suyun ayrıştırılması ile kazanılan hidrojen uzay gemilerinde yakıt olarak kullanılırken, oksijen ise insanların uzay seyahatlerinde gerekli solunumda kullanılacak, böylece uzayda bir gök cisminde diğerine atlanarak ilerleme de sağlanabilecektir.

Eğer insanlığın ihtiyacı olan malzemelerin ham maddelerini asteroidlerden çıkarmanın çok fazla maliyeti olmayacak bir yolunu bulunursa hem dünya kaynaklarının korunması sağlanmış hem de ekosistemler korunmuş olacaktır. Uzay ve asteroid madenciliğini daha iyi anlayabilmek için öncelikle evrenin ve Dünyanın oluşumuna bakmak gerekmektedir, sonraki bölümlerde bu konu detaylıca anlatılmaktadır.

2. Uzay ve Asteroid Madenciliğinin Nedenleri

Son yıllarda teknolojinin de gelişmesiyle, özellikle yüksek teknoloji araçlarda kullanılan bazı metalik (bakır, krom, alüminyum, platinyum vb.) madenlerin ömrünün yarım yüzyıldan az kaldığı tahmin edilmektedir. Dünya üzerinde tükenen madenleri çıkarmak için dünyanın her yerinde aramalar yapılmakta olup, bu durum maden çıkarma işlemini gittikçe daha zor ve maliyetli bir duruma getirmektedir. Alternatif kaynak arayışına yanıtlardan bir tanesi uzay-asteroid madenciliği görülmektedir.

Modern endüstrinin ana elementleri olan antimon, bakır, kalay, çinko, gümüş, kurşun ve altın gibi rezervlerin gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin artan tüketimine paralel olarak 50 ila 60 yıl içerisinde

dünyada tükeneyeceği tahmin edilmektedir. Buna karşılık, platinyum, nikel, kobalt gibi değerli elementlerin de asteroidlerden çıkarılarak dünyaya gönderilebileceği düşünülmektedir.

Dünyaya yakın yörüngede hareket eden asteroidlerden elde edilebilecek faydalı elementler de bulunmaktadır. Örnek olarak asteroid içinde bulunan su ile roket için yakıt, yaşam için oksijen elde edilebilir. Bugün akıllı telefon, tablet, bilgisayar gibi teknolojik ürünlerin üretiminde kullanılan değerli metaller yeryüzünde gittikçe azalmaktadır. Platin zengini asteroidler bulunarak buradan elde edilecek platin ve değerli metallerle teknolojik ürünler üretilebilir [2].

Dünya üzerinde maden aramak için tonlarca malzemenin işlemden geçirilmesi sonrasında sadece gram seviyesinde değerli maden elde edilebilmektedir. Fakat asteroidlerde durum böyle değildir, değerli madenler asteroidin yüzeyine yoğun şekilde ve eşit dağılmıştır. Ayrıca, dünya da değerli madenleri çıkarmak için derin çukurlar kazmak zorundadır. Bunun yanında ihtiyaçların artması ile kaynakların azalması ve birim fiyatlarının artması, uzay madenciliğini cazip hale getirmiştir. Uzay madenciliği sadece dünyaya değerli madenler getirmenin yanında uzayda yaşamın ve çalışmaların devam etmesi açısından kritik öneme sahiptir [3].

Uzay Madenciliği düşüncesinin ortaya çıkmasına sebep olan kıt kaynaklarımızı sayılarla ifade etmek gerekirse:

- 2016 yılı itibarıyla dünyada 1,65 trilyon varil kanıtlanmış petrol rezervleri bulunmaktadır, bu yıllık tüketim seviyesinin 46,6 katına eşittir, 47 yıllık petrolün kaldığı anlamına gelir (mevcut tüketim seviyesi ile ve kanıtlanmamış rezervler hariç) [4].
- 2017 yılı itibarıyla dünyada 6,923 fit küp kanıtlanmış gaz rezervi bulunmaktadır. Bu yıllık tüketimin 52,3 katıdır ve yaklaşık 52 yıllık gazın kaldığı anlamına gelir (mevcut tüketim seviyesi ile ve kanıtlanmamış rezervler hariç) [5].
- Yeryüzündeki sularının ancak %0,5'i elde edilebilir tatlı sulardır. Bu miktar da gitgide azalmaktadır [6].

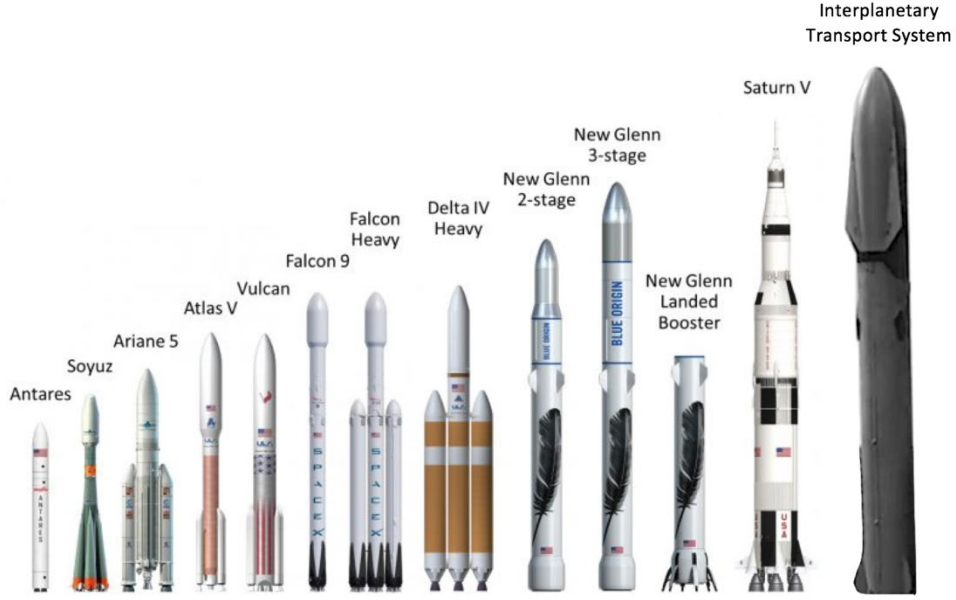
3. Asteroid Madenciliği Teknolojilerinin Tanıtılması

Uzay madenciliği her ne kadar yeni kavram olarak görünse de düşüncenin ilk fikirleri 19. asra kadar dayanmaktadır [7]. Dolayısıyla madenciliği mümkün kılan uzay madenciliği teknolojileri de çoktandır üzerinde çalışılan bir alandır. 3D baskı, asteroid yakalama teknolojisi, asteroid yönlendirmesi, sevkiyat asansörü, robotik cihazlar vs. uzay madenciliği teknolojilerine örnektir.

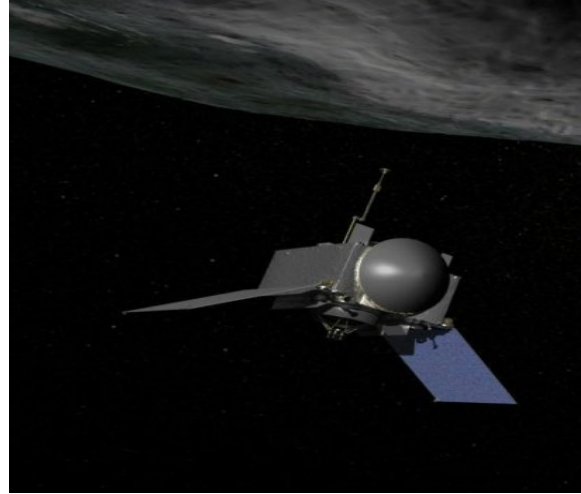
Uzay madenciliğinde yapılan ilk çalışmaların büyük çoğunluğu küçük uydular ile planlanmış ve başlatılmıştır. Özellikle uzay madenciliği konusunda alanında lider ulaşım teknoloji devi olan iki uluslararası firma Deep Space Industries (DSI) ve Planetary Resources'ın (PR) tasarladığı ilk uydular küçük uydulardır. Uzay madenciliği yapabilmek için öncelikle bahsedilmesi gereken konu, uzaya nasıl gidilir ve uzay cihazları nelerdir, bunların anlaşılması gerekmektedir. Şekil 1'de uzaya gitmek için en çok kullanılan uzay araçlarıdır.

NASA tarafından üretilen OSIRIS-Rex (Şekil 2), bir asteroitten (Bennu) örnek toplayarak çalışma yapmak için Dünya'ya geri getirecek olan ABD'nin ilk uydusudur. Örneği analiz etmek, bilim insanlarının güneş sistemini oluş sürecini anlamalarına yardımcı olmasının yanında, yakın dünya yörüngesindeki olası

riskleri ve kaynaklarını da anlamalarını sağlayacaktır. Asteroitler, gezegenleri oluşturan ve yaşamı sağlayan yapı taşlarının kalıntılarıdır. Benu asteroidi gibi olanlar su, organik ve metal gibi doğal kaynakları içerir. Gelecekteki uzay araştırmaları ve ekonomik büyüme, bu malzemelerin temini için asteroidlere uzanabilir.



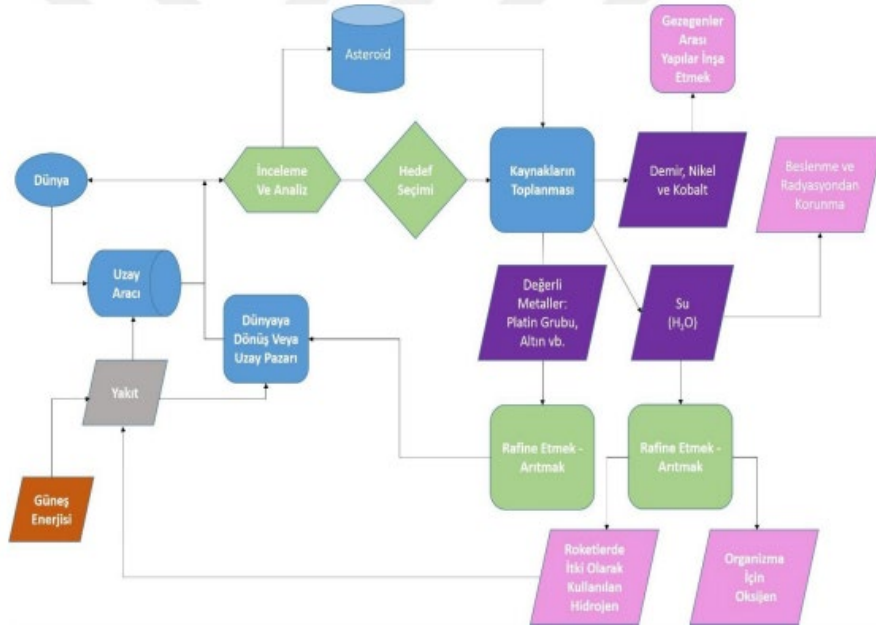
Şekil 1. Uzaya gitmek için en yaygın olarak kullanılan roketler [8]



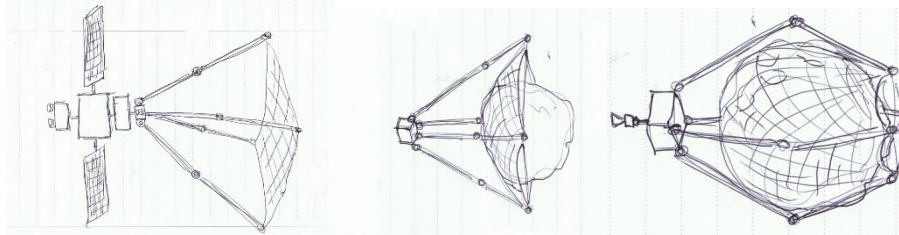
Şekil 2. OSIRIS-Rex [9]

Madenlerin çıkarma işlemleri gerçekleştirmek için gereken teknoloji hala geliştirilmektedir. Kaynaklar ana hedef olduğu için, bunların nasıl alınacağına dair araçlar çok önemlidir. Ürünlerin nasıl değerlendirileceği, toplanacağı, işleneceği ve teslim edileceği konusunda işleyen bir plan olması gerekir. Hem PR hem de DSI için planlama kaynaklarını oluşturan bir görev mimarisi Şekil 3'te olduğu gibi varsayılabilir [10].

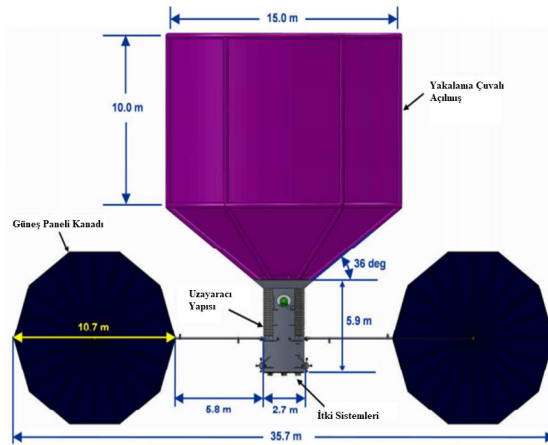
Bu asteroitlerin yakalanması için geliştirilen bazı teknikler Şekil 4'te gösterilmiştir. Dünya ve çevresinde istikrarlı bir yörüngeye getirmek için yerçekimi yardımı kullanılır, Geçici olarak yakalanmış nesnelerin sabit yörüngeler haline getirilmesi için yörüngeleri değiştirilir.



Şekil 3. Görev mimarisi [10].



Şekil 4. Asteroit yakalanma illüstrasyonu [10].



Şekil 5. Asteroitleri yakalayacak cihazın illüstrasyonu [10].

Yakalanan asteroitlerden suyu kazanımı için izlenecek yol aşağıda verilmektedir;

Sarma: Küçük veya büyük bir göktaşının çevresini kavrayan soğuk bir plaka yerleştirme işlemi.

Isıtma: Güneş'ten gelen ısı ile asteroit üzerinde bulunan buzlaşmış suyu plaka içinde serbest halde toplama işlemi

Salınım: İstenilen miktarlar yakalandıktan sonra, ihtiyaca göre, Dünya yörüngesinde veya Güneş Sistemindeki herhangi bir yerde yakıt dağıtmak için asteroidi serbest bırakma veya taşıma işlemi.

4. Madenlerin Çıkarılması ve Zenginleştirilmesi Teknolojileri

Tüm madencilik çalışmaları için şu genel adımlar takip etmelidir: araştırma, kazma/madencilik, işleme (ör. öğütme, konsantrasyon), ekstraksiyon ve depolama. Çizelge 1'de bu adımlar ve asteroitlerdeki uygulamaları verilmektedir.

Tablo 1. Madencilik için genel adımlar

ADIM	TANIM	ASTROİTE UYGULANMASI
Araştırma	Cevher kütlelerinin boyutunu, yerini ve değerini bulmak ve tanımlamak	Bazı minerallerin regolitin (çamur, kum vb.) ince veya kaba fraksiyonunda bulunmadığı sürece, mineral konsantrasyonunun asteroitler üzerinde nispeten muntazam olduğu varsayılabilir.
Kazma	Cevher madenciliği; -Pnömatik yöntemler -Manyetik yöntemler (demir-nikel toz, nano fazlı demir) -Burgulu madencilik, kepçe vb.	Seçenekler arasında, kazma ve çıkarma işlemleri, bir ekstraksiyon tesisine teslim edilmek üzere kazı cevheri veya bir ekstraksiyon tesisine teslim edilmek üzere tüm asteroidin yakalanması yer alır.
İşleme	Parçalanma, malzemelerin parçacık boyutunda azaltılmasıdır. Son derece enerji açısından verimsiz bir süreçtir ve bu nedenle tamamen ortadan kaldırılmalı ya da sınırlandırılmalıdır. Konsantrasyon, istenen minerallerin yoğunluğunu artırma işlemidir. Bu manyetik ve elektrostatik ayırmayı içerir.	Manyetik materyaller manyetik konsantrasyon işlemi kullanılarak çıkarılabilir. Sadece bir manyetik tırmık kullanılarak sadece ince taneler ele geçirilmelidir. Elektrostatik ayırma sadece ince taneleri yakalayabilecek ve daha büyük kayalar çıkarabilecek.
Ekstraksiyon	Mineraller: Değerli metallerin kendi cevherlerinden kimyasal veya mekanik yollarla çıkarılması. Aşamalı Metaller: Eğer aşım formunda metaller mevcutsa (örneğin, Nikel-Demir) bunlar serbestleştirilmelidir.	Karbonlu kondrit ise, su artı mineral çıkarma (Ilmenit, nano fazlı demirden titanyum) Metalikse - deforme olması zor olan, bu nedenle 3D baskı için demir-nikel tozu kullanılır (yapılar 1 g ve başlatma yüklerinden daha fazla alanda daha zayıf olabilir).
Depolama	Rafine kaynaklar korunur ve koruyucu muhafaza içinde saklanır.	Uçucu maddeler basınçlandırılabilir. Su büyük olasılıkla basınç silindirlerinde depolanacaktır (kolayca ısıtılıp eritilebilir/ süblimleştirilebilir). İşlenmiş cevher kayıpları önlemek için mühürlü kaplarda saklanabilir.

5. Uzay ve Asteroit Madenciliği Ekonomisi

Asteroitler dış uzayda değerli bir su (buz halinde) kaynağıdır. Hâlihazırda astronotlar için bir su şişesini uzaya göndermenin maliyeti yaklaşık 2,500 ABD dolardır. Asteroitlerden suyun kazanılması bu maliyeti düşürebilir ve Ay ya da Mars'taki yerleşimlerin sürmesine yardımcı olabilir. Su, ayrıca roket ve uzay aracını yakıt olarak hidrojen ve oksijene ayrılabilir [11].

Bir asteroid yakalama probunun 2,6 milyar ABD Doları karşılığında yapılabileceğini tahmin edilirken, asteroidin futbol sahası büyüklüğünün 50 milyar ABD doları olabileceğini tahmin ediyor. Bir NASA görevi, en büyük asteroitlerden olan 16-Psyche'i araştırmak üzere düzenlenmiştir ki, bu da 10.000 katrilyon dolar değerinde olduğu tahmin edilmektedir [12].

Asterank, 600.000'den fazla asteroidin bilimsel ve ekonomik bir veri tabanıdır. Çok sayıda bilimsel kaynaktan asteroid kütlesi ve bileşimi gibi önemli verileri toplayarak, hesaplama yapılır. Bu bilgi ile madencilik asteroitlerinin maliyetlerini ve karşılıklarını tahmin etmektedir. Buna göre en maliyet etkin 10 asteroid tablo 2'de gösterilmiştir [13].

Tablo 2. Asteroitlerinin maliyetlerini ve karşılıklarını tahmini [13]

Asteroit	Tahmini Değer (\$)	Tahmini Kazanç (\$)	Δv (km/s)	Kaynaklar
Ryugu	82,76 milyar	30,07 milyar	4,664	Nikel, Demir, Kobalt, Su, Azot, Hidrojen ve Amonyak
1989 ML	13,94 milyar	4,38 milyar	4,889	Nikel, Demir, Kobalt
Nereus	4,71 milyar	1,39 milyar	4,985	Nikel, Demir, Kobalt
Bennu	669,96 milyon	185,00 milyon	5,096	Demir, Hidrojen, Amonyak, Azot
Didymos	62,25 milyar	16,41 milyar	5,162	Nikel, Demir, Kobalt
2011 UW158	6,69 milyar	1,74 milyar	5,189	Platin, Nikel, Demir, Kobalt
Anteros	5,57 trilyon	1,25 trilyon	5,439	Magnezyum Silikat, Alüminyum, Demir Silikat
2001 CC21	147,04 milyar	29,77 milyar	5,636	Magnezyum Silikat, Alüminyum, Demir Silikat
1992 TC	84,01 milyar	16,78 milyar	5,648	Nikel, Demir, Kobalt
2001 SG10	3,05 milyar	544,60 milyon	5,880	Nikel, Demir, Kobalt

SpaceX firması hali hazırda ULA'dan 61,2 milyon ABD Dolar daha ucuz uzay taşımacılığı sunmaktadır. İş modelini düzene sokarak bu başlangıç maliyetinde en az %30'luk bir indirim yapmayı ummaktadır. Bu, şirketin tüm tasarrufları roketi tekrar müşterilere aktarması durumunda 42,8 milyon ABD Doları veya muhtemelen 37 milyon ABD doları seviyesine indirecektir. SpaceX'in sahibi Elon MUSK ayrıca, dönüş süresini sadece 24 saate indirerek maliyetleri daha da düşürmek istemektedir [8]. Jet Propulsion Laboratory (JPL) 'e göre, asteroit 101955-Bennu, karbonlu asteroit, 5,087 km/s'lik bir Delta-V'ye sahiptir. NASA, 8 Eylül 2016 tarihinde, OSIRIS-REx asteroid çalışması ve örnek dönüş misyonu, asteroid 101955-Bennu'yu araştırarak ve 24 Eylül 2023'te Dünya'ya detaylı analiz için bir örnek gönderecektir [11].

6. Uzay Madenciliğinin Yasal Konumu

Genel anlamda Uzay Madenciliği girişiminin daha yeni yeni gerçekleşmekte olduğundan, uzay faaliyetleri ile ilgili siyasi ve hukuki anlamda işlemlerin, yasal çerçevelerin ve düzenleyici mekanizmaların yetersizliği söz konusudur. Bu bağlamda Dış Uzay Antlaşması (OST), Ay Anlaşması ve Uzay Protokolü gibi şeffaflığı sağlayan, adaleti ve iş birliğini teşvik eden küresel çerçeveler vardır. Ancak yetersiz işlevlerinden, uzay topluluğunu tatmin edecek disiplin ve güven barındırmadığından yeterince kabul görmemiştir. Zira bunlar, uzay kaynakları ve onların çıkarıldığı asteroitler kime ait olacak, herhangi bir taraf bayrak dikerek

uzay cismine el koyabilir mi, uzay cisimleri uzay madenciliği için silahlanabilir mi vs. gibi sorulara herkesin beklentide olduğu farklı menfaatleri eşit bir şekilde dikkate alarak cevap sağlamaktadır. Daha açık bir şekilde ifade edilmesi gerekirse şu senaryoları varsaymakta fayda vardır:

Bir madencilik şirketi bir asteroidi yakalayıp, yörüngesini Dünya'ya yaklaştırıp, böylece malzemelerin çıkarılmasını ve getirilmesini kolaylaştırırsa bu asteroid madencilik şirketine ait olabilir mi? [14] ya da ekonomik olarak madencilğe uygun bir asteroidi keşfeden bir ülkenin bilgisiyle başka bir ülke asteroitten faydalanabilir mi?. Böyle bir durumda, ülke söz konusu OST'un IX. maddesi uyarınca "gerekli saygı" ilkelerini ihlal etmiş olacaktır. Uzay bilgileri hemen hemen her zaman uzay alanında gelişmiş ülkeler tarafından keşfedilmekte ve sağlanmaktadır, "gerekli saygı" ilkelerinin ihlalinin gerçekleşmemesi için ülkelerin bilgilerini gizli tutması gerekmektedir [15]. Bu ise işbirliğine aykırı bir harekettir. İşbirliği ilkelerini zayıflatabilecek bir diğer olası senaryo, gelişmiş ülkelerin yakın Dünya asteroitlerinin madenciliğini işletmesi ve geliştirmekte olan ülkelere gelecekte işletmesi için daha uzak asteroitleri bırakmaları ne kadar doğru olacaktır? [16]. Ayrıca, süper güçler asteroid madenciliğinin faydalarını eşit veya tarafsız olarak dağıtmak yerine kâr elde etmek için uluslararası uzay kaynak fonunu manipüle edebilirler [17].

Özel aktörler fırsatların yanı sıra potansiyel zorlukları da doğurabilirler. Mart 2018'de, bir Kaliforniya şirketi hükümet onayı olmadan uydu fırlatmakla suçlanmıştır. Yetkililer, bu uyduların "diğer uzay araçları için çarpışma riski oluşturduğundan" endişe etmektedir [18]. Yeni girişimcilerin çoğalmasıyla zorlukların artması kaçınılmaz görülmektedir. Bunlara bilgisayar korsanları ve terör örgütleri gibi kötü niyetli aktörler de dâhildir. Bu gibi durumların kontrolünün sağlanması için uzay topluluğunun hem uzay hukukuna hem de teknik bilgilerle donanımlı uzay hukukçularına ihtiyacı vardır [15].

Bu bağlamda mevcut Uzay Hukuku, hem uluslararası hem de ulusal anlaşmaları, kuralları ve ilkeleri kapsayan, uzay faaliyetlerini yöneten kanunlar bütünüdür. Uzay hukuku parametreleri arasında uzay araştırmaları, hasar sorumluluğu, silah kullanımı, kurtarma çalışmaları, çevre koruması, bilgi paylaşımı, yeni teknolojiler ve etik bulunmaktadır. Dolayısıyla, İdari hukuku, Fikri mülkiyet hukuku, Silahların kontrolü hukuku, Sigorta hukuku, Çevre hukuku, Ceza hukuku ve Ticaret hukuku vs. Uzay Hukukunda bütünleştirilmiştir [15].

7. Sonuç

Yerküredeki karasal kaynaklı bazı metalik madenlerin, gelişen teknoloji ve artan nüfus artışına bağlı tüketim miktarlarındaki artışla birlikte, önümüzdeki 50 yıl içerisinde tükeneceği tahmin edilmektedir. Bu süreç içerisinde ise, gerekli madenlerin en ucuz ve sürdürülebilir şekilde sağlanabilmesi için öncelikle okyanuslardaki daha sonra ise uzaydaki maden kaynaklarının kullanımı planlanmaktadır. Uzay madenciliği yapmak günümüzde çok zor ve pahalı görünse de teknolojik olarak yapılması mümkündür. Özellikle günümüzdeki mevcut teknolojilerle uzaya ulaşmak çok maliyetli olsa da, gelecekteki uzaya çıkış maliyetlerindeki azalma ile daha da ucuz ve kolay hale gelecektir. 2030 yılına kadar karasal kaynaklı madenlerin birim maliyetlerinin uzay kaynaklı madenlerin maliyetlerini geçeceği öngörülmektedir.

Diğer taraftan, uzay ve asteroid madenciliği ile ilgili hala çözülmemiş birçok teknolojik ve yasal sorunlar da mevcuttur. Ulusların uzay yolculuğuna ve ticarileştirilmesine yönelik farklı yaklaşımları olduğundan, uzay hukuku tam olarak standartlaştırılmış ve geleneksel değildir. Bu ise, gelecekte gezegen dışı

çatışmalara neden olabileceği gibi, Dünya üzerinde de olumsuz bazı ekonomik ve siyasi etkileri olma olasılığı taşımaktadır.

Hedef sadece uzaydan maden kaynaklarının getirilmesi değil, insanlığın güneş sistemi içerisinde ve ötesine seyahat edebilmesi için de mevcut kaynaklardan yararlanılması da olmalıdır. Özellikle Ay'daki suyun varlığı uzay roketleri için bir yakıt ve yaşam kaynağı olarak görülmekte, ikmal merkezi olarak diğer gezegen ve asteroitlere ulaşmada atlama taşı olarak kullanılması hedeflenmektedir.

Günümüzde her ne kadar bir cismin yeryüzünden yer çekimine karşı uzaya çıkartılması oldukça pahalı iken, şu an geliştirilmekte olan yeniden kullanılabilir roketlerin daha da geliştirilerek, aktif kullanımları bu maliyetleri çok büyük oranlarda düşüreceği anlaşılmaktadır. Bu yolla uzaya erişim ve uzaydan madenlerin kazanılarak yeryüzüne getirilmesindeki maliyetlerin de önemli düzeyde ucuzlayacağı ve karasal madenlerin maliyetlerine yakın veya daha düşük seviyelere ulaşabileceği öngörülmektedir.

7. Kaynaklar

- [1] Anonim-1. https://tr.wikipedia.org/wiki/Asteroit_madencili%C4%9Fi
- [2] R. Lee, , Law and Regulation of Commercial Mining of Minerals in Outer Space. New York: Springer, (2012) 124-130.
- [3] Anonim-2. <https://www.oecd.org/innovation/the-space-economy-in-figures-c5996201-en.htm>
- [4] Anonim-3. <https://www.worldometers.info/oil/>
- [5] Anonim-4. <https://www.worldometers.info/gas/>
- [6] Anonim-5. <https://www.usbr.gov/mp/arwec/water-facts-wwwater-sup.html>
- [7] Anonim-6. <https://www.asteroidmission.org/why-bennu/>
- [8] Anonim-7. https://en.wikipedia.org/wiki/Launch_vehicle#/media/File:Space_Launchers.png
- [9] Anonim-8. <https://www.scientificamerican.com/article/to-bennu-and-back/>
- [10] V. Hellgren, Asteroid mining: a review of methods and aspects. Student thesis series INES. Dept of Physical Geography and Ecosystem Science, Lund University, (2016) 12-24.
- [11] Anonim-9. <https://www.orfonline.org/research/commercial-space-mining-economic-and-legal-implications/>
- [12] Anonim-10. <https://nypost.com/2017/04/06/goldman-sachs-is-ready-to-crash-the-world-economy-through-space-mining/>
- [13] Anonim-11 <https://www.orfonline.org/research/commercial-space-mining-economic-and-legal-implications/>
- [14] B. Szoka, J. Dunstan, Space Law: Is Asteroid Mining Legal?, Journal of Space Law, (2012) 9-12.
- [15] M. Bebitova, D.R. Şahin, Concept of Space Mining, Its Financial and Legal Evaluation, International Journal of New Trends in Science (2020)
- [16] G. Bhattacharya, The Viability of Space Mining in the Current Legal Regime. Astropolitics, (2018) 12-20.
- [17] K. Muzyka, The Problems with an International Legal Framework for Asteroid Mining, Institute of Nauk Prawnych, (2018) 25-30.
- [18] J.M. Bockel, The Future of the Space Industry. Fransa: Economic and Security Committee, (2018) 112-135.

Gökyüzü Görüntülerinde Bulut Segmentasyonu Gerçekleştirilmesi ve Performansının İncelenmesi

Onur Tok^{1*}, Furkan Yavuz², Ardan Hüseyin Eşlik³

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, onurtok99@gmail.com

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, furkanarda42@outlook.com

³Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, aheslik@aku.edu.tr

Özet

Günümüzde fosil yakıtların giderek azalması ve çevreye olan zararlı etkilerinden dolayı yenilenebilir enerji sistemleri giderek artan bir öneme sahiptir. Son yıllarda teknolojinin ilerlemesiyle yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerji sistemleri güneş ışınlarını kullanarak elektrik üretimi yapar. Güneş enerji panellerinin bakımının kolay olması, uzun ömürlü olmaları ve çevre dostudur. Güneş enerji panellerinin verimliliklerini panelin yapısı, kalitesi, üretim teknolojisi ve çevresel faktörlere bağlıdır. Çevresel etkilerin başında güneş ışınlarının yoğunluğu, bulut örtüsü, sıcaklık ve nem yer alır. Güneş ışınlarının yeryüzüne ulaşmasını engelleyen bulutların yoğunluğu ve konumlarıdır. Bulutların gün içerisinde yer aldığı konumların ve hareket hızlarının bilinmesiyle güneşin önünü kapatacakları zaman aralıkları öngörülebilmekte, bu sayede daha başarılı kısa vadeli güneş ışınımı tahminleri gerçekleştirmek mümkün olmaktadır. Gerçekleştirilen bu çalışmada, gökyüzü görüntülerinde yer alan bulutların segmente edebilen bir algoritma geliştirilmiştir. Segmentasyon işleminin gerçekleştirilmesinde görüntülerde yer alan kırmızı, mavi ve yeşil (RGB) renk kanallarındaki piksel değerleri kullanılmıştır. Bu kapsamda her bir piksel değerinin kırmızı/mavi oranı hesaplanmış, belirli bir oranın üzerinde bulunan pikseller bulut, altında bulunan pikseller ise gökyüzü olarak sınıflandırılmıştır. Geliştirilen yöntemin performansı daha önceden maskelemesi gerçekleştirilmiş olan gökyüzü görüntüleri üzerinde test edilmiş, başarısı ve performansı analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar algoritmanın bulut segmentasyonu probleminde başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir. Çalışma kapsamında önerilen bu algoritma ile birlikte daha başarılı bulut segmentasyon işlemleri gerçekleştirilebilecek, bu sayede güneş ışınımı üzerinde büyük etkisi bulunan bulutların hareketleri ve hızları tespit edilebilecektir.

Anahtar kelimeler: Bulut-Gökyüzü Segmentasyonu, Güneş Işınımı Tahmini, Görüntü işleme, Güneş enerjisi

1. Giriş

Görsel verilerin analizi ve işlenmesi, günümüzde birçok önemli uygulama alanında rol oynamaktadır. Bu bağlamda, gökyüzü görüntülerinin analizi, güneş enerji sistemleri, meteoroloji, iklim bilimi, hava tahmini ve uzaktan algılama gibi birçok disiplinde büyük bir öneme sahiptir. Bulutların ayrıştırılması ve tanımlanması, bu alanda yapılan çalışmaların temeli haline gelmiştir. Bulut segmentasyonu, gökyüzü görüntülerinin analizinde doğru bir şekilde izlenmesi ve tanımlanması için temel bir adımdır. Günümüzde, sürdürülebilir, çevre dostu ve sınırsız bir enerji kaynağı olan güneş enerjisi özellikleri bağlamında ön plana çıkmaktadır.

Analiz edilecek veri kümesini veya nesnelere belirli özelliklerine göre parçalara ayırmak için, bilgisayarlı görü ve yapay zekâ teknikleri ile segmentasyon gerçekleştirilmektedir. Bu teknikler, bulutları diğer nesnelere ve arka plandan ayırt etmek, bulutların yoğunluğunu ve dağılımını analiz ederek güneş panellerinin üzerini kaplayan bulutların sınırlarını belirleyerek şekli ve hareketi gibi faktörlerin, güneş panellerinin enerji üretim performansını etkileyen verileri elde etmemizi sağlar. Günümüze kadar bulut segmentasyonu popüler araştırma konularından biri olmuştur ve gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda farklı birçok uygulanabilir teknik ve yöntem geliştirilmiştir. Bu çalışmaların bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Smith & Smith, yapay sinir ağları ve görüntü işleme tekniklerini kullanarak bulut segmentasyonu gerçekleştirmiş ve güneş panellerinin üzerini kaplayan bulutların etkisini analiz etmişlerdir [1]. Johnson ve ark. farklı bulut segmentasyon güneş panellerinin enerji üretimi üzerindeki etkilerini incelemişler ve etkili yöntemleri, güneş panelinin enerji performansına göre belirlemişlerdir [2]. Demir & Selçuk bulut tabanlı enerji üretimi için bulut segmentasyonu yöntemlerini karşılaştırmışlardır [3]. Öztürk ve ark. bulut segmentasyonun görsel yöntemlerini karşılaştırmış ve performansını incelemişlerdir [4].

Gerçekleştirilen bu çalışmada güneş ışınımı değişiminde büyük önemi olan bulutların gökyüzü görüntülerinde tespit edilebilmesi amacıyla bir segmentasyon algoritması geliştirilmiş ve performansı değerlendirilmiştir. Bu kapsamda ilk olarak gökyüzü görüntülerinin mavi ve kırmızı renk kanalları ayrıştırılmış, ardından her bir piksel için kırmızı/mavi oranı hesaplanmıştır. Ardından bulutların segmente edilebilmesi amacıyla deneysel çalışmalar ile bir eşik değeri belirlenmiş ve görüntü üzerinde yer alan gökyüzü ve bulut piksellerinin belirlenmesi sağlanmıştır. Son olarak manuel olarak segmente edilen görüntüler üzerinde oluşturulan algoritma test edilmiş ve performansı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar geliştirilen segmentasyon algoritmasının bulut segmentasyonunda başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılan materyal ve metotlar aşağıda üç başlıkta sunulmuştur. İlk başlık altında Segmentasyon yöntemleri yer almaktadır. Bu kapsamda segmentasyon için gerekli bilgiler aktarılmıştır. İkinci başlık altında ise çalışmamızı gerçekleştirirken kullandığımız uygulamadan bahsedilmiştir. Üçüncü başlık altında, çalışma sürecimizde yapılan denemelerden yaptığımız çıkarımlardan bahsedilmiştir.

2.1. Bulut Segmentasyonu Yöntemleri

Gerçekleştirilen çalışmada bulut segmentasyonu gerçekleştirmek amacıyla literatürde yaygın bir şekilde kullanılan renk tabanlı yöntem tercih edilmiştir. Bu yöntemde ilk olarak gökyüzü görüntüsünün kırmızı, mavi ve yeşil (R, G, B) renk kanalları ayrıştırılmaktadır. Ardından ayrıştırılan renk kanallarından kırmızı kanal ile mavi kanalın birbirine oranı hesaplanmakta ve böylelikle tüm pikseller için kırmızı/mavi oranına ulaşılmaktadır. Heinle vd. literatürde de ortaya konulduğu üzere gökyüzü görüntülerinde yer alan bulut piksellerinde kırmızı renk oranı mavi renk oranına göre baskındır. [5]. Bu nedenle kırmızı oranının baskın olduğu piksellerin bulunması, dolayısıyla bulut olan piksellerin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Her piksel için ilgili oranın bulunmasının ardından belirlenecek eşik değeri ile tüm piksellerin hesaplanan oranı karşılaştırılmış ve bulut veya gökyüzü olarak segmente edilmiştir. Eşik değerinin bulunması aşamasında farklı eşik değerleri kullanılmış ve manuel olarak segmente edilmiş görüntü üzerinde geliştirilen

algoritmanın çıktıları test edilmiştir. En yüksek başarının sağlandığı eşik değeri deneme yanılma yoluyla belirlenerek maksimum doğruluk ile bulut/gökyüzü segmentasyonun gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.

Çalışmamızda, gökyüzü görüntülerinde bulut segmentasyonu algoritmanın performansını incelemek için elle manuel olarak yaptığımız maske görüntüsü oluşturulmuştur. Bu manuel olarak oluşturulmuş bir görüntüde araştırmacılarımız tarafından dikkatlice analiz ederek ve gözlem verilerini kullanarak bulut bölgeleri belirlenmiştir. Algoritmamız ile python programlama dili kullanılarak otomatik segmentasyon gerçekleştirilmiştir. Segmentasyon işlemi renk analizi üzerine kurulmuş olan RGB renk kanallarını kullanarak görüntüdeki her bir pikselin kırmızı ile mavi oranı hesaplanarak bulut bölgelerini tespit eden bir algoritma geliştirilerek segmente edilmiştir.

Segmentasyon süreci aşağıdaki adımları içermektedir:

- i. Giriş görüntüsü kırmızı, yeşil ve mavi renk kanallarına dönüştürülür.
- ii. Görüntünün her bir pikselin deki kırmızı ve mavi değerleri elde edilmiştir.
- iii. Her bir pikselin kırmızı-mavi oranı hesaplanmıştır.
- iv. Belirlenen bir eşik değeriyle oran haritası oluşturulmuştur.
- v. Oran haritası üzerinde eşikleme işlemi yapılarak bulut bölgeleri belirlenmiştir.

2.2. Uygulama Ortamı

Python programlama dili segmentasyon işlemleri için OpenCV ve NumPy kütüphaneleri kullanılmıştır. Python geniş bir kullanıcı tabanına sahip olması ve kolay anlaşılır bir dil olması nedeniyle bu çalışmamızda kullanılmıştır. OpenCV, görsel işleme ve analiz için kullanılan popüler bir kütüphanedir verileri hızlı ve etkili bir biçimde gerçekleştirir. NumPy ise bilimsel hesaplamalar ve veri manipülasyonu işlemlerini gerçekleştirmek için güçlü bir altyapı sunar.

Segmentasyon algoritmamız, yüksek işlem gücüne ve belleğe sahip bir bilgisayar ortamında çalıştırılmış ve performansı değerlendirilmiştir. Bilgisayar, yeterli işlem gücüne ve belleğe sahip olması ile birlikte segmentasyon işlem süresini verimli bir şekilde gerçekleştirebilecek bir altyapıya sahiptir. Yüksek çözünürlüklü görüntülerimizde piksel düzeyinde inceleme ve uygulama gerçekleştirilmesinden dolayı hızlı işlem yapabilen bir işlemci ve yeterli belleğe sahip bir bilgisayar kullanılmıştır.

2.3. Deneysel Çalışmalar

Çalışma kapsamında geliştirilen algoritmanın, manuel olarak oluşturulan görseller üzerindeki performansını incelemek ve varsayılan eşik değerini güncelleyip optimum başarıyı sağlayan eşik değerini bulmak için çalışmalar yapılmıştır.

$$\mu(KMO) = \left(\frac{\left(\frac{\text{kırmızı piksel}}{\text{mavi piksel}} \right)}{2} \right) \quad (1)$$

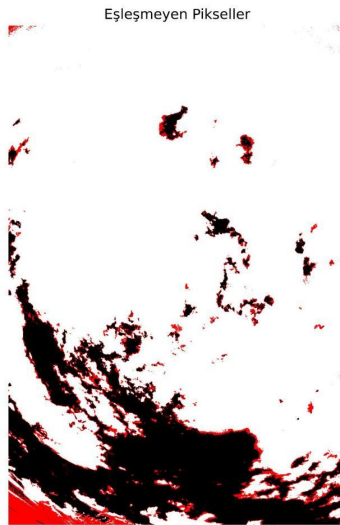
$$\sigma(KMO) = \left(\sqrt{\frac{1}{N} * \Sigma(KMO_i - \mu(KMO))^2} \right) \quad (2)$$

$$Eşik Değeri = \mu(KMO) + \sigma(KMO) - \beta \quad (3)$$

Çalışmada kullanılan formüllerin işleyişi ile literatürde yer alan formüllerin deney verileriyle birleştirilerek nasıl uygulandığı açıklanmaktadır. Özellikle "KMO" kırmızı ve mavi renk oranını ifade ederken, "N" veri setindeki örneklem sayısı ile ilişkilendirilmektedir. Çalışmada vurgulanan bir diğer önemli nokta, "kritik eşik seçimi" olarak adlandırılan bir değerdir. Bu değer, bulut ile gökyüzü segmentasyonunda belirleyici bir faktör olan gerçek bir sayıdır. Değerin hesaplanması için, rastgele seçilen görseller üzerinde segmentasyon yapılarak piksellerin eşleşme oranlarına göre değer belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 1'de sunulmaktadır. Denemeler sonucunda, "0.20" değeri için ortalama doğruluk oranının %95,16 olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, gerçekleştirilen çalışmada "0.20" değeri güncellenerek kullanılmıştır. Ayrıca, Şekil-1 ve Şekil-2'de manuel olarak test edilen gökyüzü segmentasyon görüntüleri ile algoritmanın segmentasyon sonuçları sunulmaktadır. Şekil-2'de, manuel ve algoritmik segmentasyon sonuçları arasındaki farklı piksellerde gösterilmektedir. Bu bölümde, formüllerin entegrasyonundan doğruluk değerinin belirlenmesine kadar olan süreç detaylı bir şekilde açıklanmıştır.



Şekil 1. Görsel-1 Segmentasyon Görüntüleri



Şekil 2. Eşleşmeyen Pikseller

4. Sonuç

Bu çalışmada güneş panellerinin enerji üretim performansını doğrudan etkileyen bulutların gökyüzünden segmente edilmesi için görüntü işleme tekniği kullanılmış ve performansı incelenmiştir. Bu kapsamda ilk olarak görüntüler kırmızı ve mavi renk kanallarına ayrıştırılmış ardından kırmızı/mavi oranı hesaplanmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda optimum bir eşik değeri belirlenerek eşik değerinin altında kalan pikseller gökyüzü, altında kalan pikseller ise bulut olarak segmente edilmiştir. Afyonkarahisar ili için çekilmiş olan gökyüzü görüntülerinden parçalı bulutların yer aldığı belirli görüntüler seçilerek manuel olarak segmente edilmiştir. Ardından bu manuel olarak segmente edilen görüntüler kullanılarak kullanılan algoritmanın performansı değerlendirilmiştir. Elde edilen deneysel bulgular değerlendirildiğinde gökyüzü görüntülerinde yer alan bulutların kullanılan algoritma ile %90'ın üzerinde başarı ile segmente edilebildiği ortaya konmuştur.

Manuel olarak segmente edilen görüntüleri, uzun süren gözlem ve analiz yeteneklerine dayanmaktadır. Gökyüzü ile bulutların birbirinden ayırır iken yüksek doğruluk sağlamak için kullanılan programda uzmanlık gerektirmektedir. Ayriyetten yapılan işlem zaman alıcı bir süreç olabilir ve ölçeklendirilebilirliği sınırlayabilir. Geliştirilen algoritma ile RGB renk kanallarının analizlerine dayalı olarak kırmızı ile mavi oranın hesaplanarak gökyüzü ile bulutların bölgeleri belirlenmiştir. Bu yöntem hızlı ve ölçeklenebilir bir çözüm sunmaktadır. Yapılan deneylerde eşik değerinin önemli bir faktör olduğu belirlenmiştir. Optimum eşik değerini belirlemek için farklı görseller üzerinde denemeler yapılmış ve en iyi ortalama sonucun "0.20" eşik değeri kullanılarak elde edildiği görülmüştür.

Sonuç olarak, görsel verilen analizi ve işlenmesi, bulut segmentasyonu gibi disiplinlerle güneş enerji sistemlerinin performansını arttırabilmek mümkündür. Bu çalışma, güneş panellerinin enerji üretimini etkileyen bulutların doğru bir şekilde tanımlanması ve analiz edilmesi için temel bir adım sağlamaktadır. Gelecekte daha gelişmiş görüntü işleme algoritmaları ve yapay zekâ teknikleri kullanarak daha hassas şekilde belirleme geliştirilebilir.

Kaynaklar

- [1] Smith, A., & Smith, B. (2020). Cloud Segmentation in Sky Images Using Neural Networks. *Renewable Energy*, 145, 192-200.
- [2] Johnson, C., Brown, L., & Roberts, D. (2019). Evaluating Cloud Segmentation Algorithms for Solar Panel Performance Analysis. *Solar Energy*, 191, 597-606.
- [3] Demir, H., & Selçuk, A. A. (2021). Bulut Tabanlı Enerji Üretimi İçin Bulut Segmentasyonu Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *SDU International Journal of Technological Science*, 13(1), 50-56.
- [4] Öztürk, G., Özyörük, Y., & Şeker, D. Z. (2018). Görsel Bulut Segmentasyonu Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(3), 853-864.
- [5] Heinle, A., Macke, A., & Srivastav, A. (2010). Automatic cloud classification of whole sky images. *Atmospheric Measurement Techniques*, 3, 557-567.
- [6] Garcia, A., et al. (2018). A Comparative Study of Cloud Segmentation Algorithms for Solar Energy Prediction. *Solar Energy*, 112(3), 378-389.
- [7] Liu, W., et al. (2017). Cloud Segmentation in Sky Images for Solar Energy Systems Using Genetic Algorithm and Fuzzy C-means Clustering. *Solar Energy*, 157(1), 529-540.

CBS Yöntemleri Kullanarak Katı Atık Depolama, Transfer ve Dönüşüm Tesislerinin Yerlerinin Seçimi

Senanur Sadıksoy^{1*}, Ayca Murat Marangoz²

¹Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği, sena.bekleyen@gmail.com

²Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği, aycaanmarangoz@hotmail.com

Özet

Günümüzde insanlar birçok şeye kolay ulaşabiliyor onları tüketebilmekte ve bu eylemler tekrar aynı döngü içerisinde devam etmektedir. Bu döngü hızlı bir tüketim doğurmaktadır. Her şeyin paketlenmesi ve daha hijyenik koşulların sağlanması için daha fazla atığın oluştuğu bir dünyada yaşamaktayız. Oluşan her atık için; atığın toplanması, depolanması, transfer edilmesi ve yok edilmesi aşaması gerçekleşmektedir. Bu aşamalar titizlikle yapılarak iyi bir atık yönetimi gerçekleştirilebilir. Bu süreçte diğer önemli konu ise bahsedilen bu tesislerin kurulumu ve yer seçimidir. Atık depolama alanları, atık transfer alanları ve atık dönüşüm tesisleri için yer seçimi titizlikle yapılmalıdır. Bu alanların yer seçiminin doğru yapılması ekonomik, sağlık ve sosyal gibi birçok alanı etkilemektedir. Bu çalışmada, katı atık depolama, katı atık transfer merkezleri, katı entegre dönüşüm tesislerinin yer seçimleri ile ilgili genel bir literatür taraması yapılmıştır. Yer seçiminde yapılan çalışmalar derlenerek Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Tabanlı Çok Kriterli Karar Verme Analizi (ÇKKV) ve Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) gibi yöntemler incelenmiş ve bunların karşılaştırmaları yapılmıştır. İlgili tesislerin yer seçiminde en uygun analiz yöntemleri araştırılarak ortaya konulmuştur.

Anahtar kelimeler: Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS); Yer Seçimi; Katı Atık Depolama; Transfer Dönüşüm Tesisleri; Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi; Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi

Selection of Locations of Solid Waste Storage, Transfer and Conversion Facilities Using GIS Methods

Abstract

Today, people can easily access and consume many things and these actions continue in the same cycle. This cycle leads to rapid consumption. We live in a world where everything is packaged and more waste is generated to ensure more hygienic conditions. For every waste generated; the stages of collection, storage, transfer and disposal of waste are realized. A good waste management can be realized by doing these stages meticulously. Another important issue in this process is the installation and location of these facilities. Site selection for waste storage areas, waste transfer areas and waste recycling facilities should be done meticulously. The correct location of these areas affects many areas such as economic, health and social. In this study, a general literature review on the site selection of solid waste landfills, solid waste transfer centers and solid integrated recycling facilities was conducted. Geographical Information Systems (GIS) based Multi-Criteria Decision-Making Analysis (MCDM) and Analytical Hierarchy Process (AHP)

methods are analyzed and compared. The most appropriate analysis methods for the site selection of the related facilities are investigated and presented.

Keywords: Geographic Information Systems (GIS); Site Selection; Solid Waste Storage; Transfer Transformation Facilities; Multi-Criteria Decision-Making Method; Analytic Hierarchy Process Method

1. Giriş

Her gün tüketilen maddelerin ve tüketilen maddelerden çıkan atıkların serüveni oldukça dikkat çekmektedir. Her atık öncelikle ilgili hane, kurumdan çıkarak yakın yerdeki çöp kutusu vs. alanlarda toplanır. Kısa süreli bu depolama ardından, depolama sahalarına taşınır veya önce transfer merkezine aktarılmakta daha sonra depolama alanlarına ulaştırılmaktadır. Depolama alanlarında ayrıştırılabilen atıklar dönüşüm merkezlerine dönüştürülmek üzere gönderilmektedir. Bu süreçte en önemli aşama atıkların depolandığı, taşındığı ve dönüştürüldüğü merkezlerin yer seçimidir. Tesislerin yapıldığı alanlarda yaşam alanı varlığı, tarımsal faaliyetler, su kaynakları, toprak yapısı gibi birçok etken göz önüne alınmalıdır. Son yıllarda yapılan araştırmalar gösteriyor ki bu konu dünya gündeminde ve Türkiye’de oldukça dikkat edilmektedir. Kamu kurumları gibi karar verici kitle (mimar, mühendis, bakanlık, belediye vb.) ve vatandaşların bilinçlenmesi söz konusudur. 2010 yılında Resmî Gazete ‘de yayınlanan yönetmelikte oluşabilecek sızıntı sularının ve depo gazlarının toprak, hava, yeraltı suları ve yüzeysel suların üzerindeki olumsuz etkilerinin asgari düzeye indirilerek çevre kirliliğinin önlenmesine, atıklara göre uygun depo tabanı tasarımlarının yapılması ve düzenli depolama tesislerinin inşa edilmesine, düzenli depolama tesislerine atık kabulü işlemlerine ayrıntılı bir şekilde değinilmiştir. 2021 yılında Resmî Gazete ‘de yayınlanan yönetmelikte ise atıkların işlenmesi amacıyla faaliyet gösteren atık ön işlem ve geri kazanım tesislerinin teknik kriterlerine ve bu tesislerde bulunması gereken asgari şartlara açıklık getirilmiştir. Katı atık depolama alanının uygun yer seçim kararları sadece ulusal değil uluslararası düzenlemelere de uymak zorundadır [3]. Bu sebeple yer seçiminde belirlenen kanunlar, yönetmelikler göz önünde bulundurulmalı, en uygun yer seçimi tüm etkenler göz önüne alınarak yapılmalıdır.

Katı atık tesislerinin yer seçimi karmaşık ve çok etkenli bir konu başlığıdır. Konumsal, vektörel ve raster verilerini içinde barındıran karmaşık bir süreci yönetmek gerekmektedir. Konumsal veri coğrafi alanın koordinat ve piksel değerlerini, vektörel veri; konumsal verileri çizgi, nokta, çokgen şekilleriyle ifade eder. Raster veri ise hücre ve piksel kullanarak coğrafi objeleri temsil eder [16]. CBS konumsal sorgulama, konumsal analiz, karar-verme analizleri, sayısal veri analizleri, model analizleri, görüntüleme ve akıllı harita fonksiyonları ile karmaşık planlama ve yönetim sorunlarının çözülmesinde verimli bir şekilde kullanılmaktadır [8]. Türkiye’de birçok alan için katı atık tesisleri için yer seçim analizi yapılmıştır. CBS alt tabanlı karar verme yöntemleri oldukça sık kullanılmaktadır. Bunlardan en çok kullanılan iki yöntem Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV), ve Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemidir. Bu araştırmada bugüne kadar katı atık depolama, transfer ve dönüşüm tesislerinin yer seçimi ve bu yer seçimlerinde kullanılan yöntemler incelenmiştir.

2. Çok Kriterli Karar Verme ve Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi

Çok sayıda kriterden oluşan bir yapı için “Çok Kriterli Karar Verme Analiz Yöntemleri” (ÇKKV) geliştirilmiştir. Bu yöntemler Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) yapısı içerisinde bütünleştirilerek doğru karara ulaşmak için karar vericiye önemli bir bilgi desteği sağlamaktadır [4]. Çünkü Coğrafi bilgi sistemleri alan kullanımı, yeraltı su kaynakları, toprak yapısı, havaalanları, doğal yaşam alanları, demografi, yollar,

nehirler hakkında veriler içermektedir [2]. Bu yöntem ile karmaşık ve çok etkenli bir problemin çözümü en uygun şekilde bulunabilmektedir. ÇKKV yöntemini kullanılmakta amaç çok kriterli problemin karar verme sürecine hızlı ve kolay ulaşabilmektir [12]. Problem çözümlerinde kullanılan ÇKKV genel olarak 6 adet bileşen içermektedir. Bunlar; karar vericinin ulaşmaya çalıştığı amaç veya amaçlar grubu, karar verici veya karar vericilerden oluşan grubun karar verme sürecinde kriter değerlendirmesine yönelik tercihleriyle yer almaları, kriterlerin değerlerinin karar vericilere göre olayların alternatif seçeneklerine göre belirlenmesi, alternatif kararların belirlenmesi, kontrol edilemeyen değerlerin belirlenmesi, ortaya çıkan sonuçların alternatif özellik çiftlerinin belirlenmesidir [4]. Karar bağlamında, bir mekânsal ÇKKV/CBS yaklaşımı karar vericilere, karar problemlerine derinlemesine nüfuz edilmesinde, rasyonel ve sistematik bir şekilde farklı risk seviyelerinin belirlenmesinde ve olayların yorumlanmasında yardımcı olabilir [3]. ÇKKV, bağımlı farklı kriterler arasından en uygun seçimi yapan bir araçtır [13]. Bu sebeple katı atık tesisleri yer seçiminde birçok faktörün birleşmesi sonucu en uygun yer seçiminde kullanılacak ve verimli sonuç verebilecek bir yöntemdir.

ÇKKV yöntemlerinden biri olan AHP de yer seçiminde sıklıkla tercih edilen analiz yöntemlerindenidir. Çeşitli karar ve planlama projelerinde yaklaşık olarak 20 farklı ülkede kullanılmıştır [4]. AHP genel bir ölçme teoremidir. Teorem, ayrık ve sürekli ikili karşılaştırmaları çoklu hiyerarşik yapıda oranlayarak kullanır. Karşılaştırmalar, reel ölçmelerden elde edilebileceği gibi tercihlerin ve hislerin kuvvetliliğine göre temel ölçekte de elde edilebilirler. AHP ile insanların uzun zamandır endişelendiği konulardan olan fiziksel ve sosyal olayların ölçülmesi birlikte gerçekleştirilebilecektir [10].

AHP metodu, problemin bulunması ve hedefin belirlenmesi, hiyerarşinin en üst basamaktan başlanarak, hedef, kriter, alt kriterler ve farklı seçenekler olmak üzere farklı seviyelerde oluşturulması, karşılaştırma matrisinin ilgili bölümlerde oluşturulması, en yüksek özdeğer vektörünün, tutarlılık göstergesinin, tutarlılık oranının ve her kriterin normalize değerlerinin bulunması, bulunan değerler tatmin ediciyse normalize ağırlıklar ile karar alma işleminin gerçekleştirilmesi, eğer uygun değilse işlemlerin tekrarlanarak hedeflenen aralığa ulaşılması, aşamaları ile gerçekleştirilir [9]. Kriterlerin birebir karşılıklı karşılaştırılmasında, Saaty tarafından belirlenen bir önem skalası kullanılır. Bu değerler Tablo 1’de verilmiştir [11].

Tablo 1. AHP Değerlendirme Ölçeği

Değer (a_{ij})	Tanımlar
1	Her iki faktörün eşit önemde olması
3	i. faktörün j. faktörden biraz daha önemli olması
5	i. faktörün j. faktörden fazla önemli olması
7	i. faktörün j. faktöre göre güçlü bir öneme sahip olması
9	i. faktörün j. faktöre göre aşırı derecede önemli olması
2,4,6,8	Ara değerler

Çok fazla kriterin uygulanması ve çözümlenmesi amacıyla kullanılan bu yöntem iş hayatı, ekonomi, sosyal deney alanları, sağlık gibi birçok farklı alanda kullanıldığı gibi CBS’de de konumsal karar verme mekanizmalarında kullanılır. İyi bir analiz yöntemi olarak yer seçiminde tercih edilmektedir.

3. CBS Alt Tabanlı Yöntemleri Kullanarak Katı Atık Depolama, Transfer ve Dönüşüm Tesislerinin Yer Seçimi Örnekleri

CBS alt tabanlı yöntemler kullanılarak yer seçimi örnekleri dünyada ve Türkiye’de oldukça çoktur. CBS tabanlı ÇKKV ve AHP yöntemleri kullanılarak yer seçimi örneklerinden kısaca bahsedilmiştir.

Aydemir-Karadağ’ın (2019) yaptığı çalışmada Ankara ili ve çevresinde kurulabilecek depolama tesisi yer alternatifleri çevresel, sosyal, ekonomik ve zeminel faktörler açısından Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile değerlendirilmiştir. Araştırmanın sonucunda AHP ile hesaplanan veriler, gerçek verilerle örtüşmüştür.

Küçükönder ve Karabulut (2007) ÇKVY yöntemi kullanılarak Kahramanmaraş’ta çöp depolama alan tespiti çalışması yapmıştır. Çalışmada sayısal jeoloji, toprak ve topografya verileri kullanılmıştır. 11 veri katmanı kullanarak Ağırlıklı Doğrusal Kombinasyon yöntemiyle yer tespiti yapmışlardır. Çalışma sonucunda CBS tabanlı olarak ağırlıklı doğrusal kombinasyon analizi ve ikili karşılaştırma metodu kullanılarak, Kahramanmaraş şehri için atık depolama alanı alternatif yer tespiti başarılı bir şekilde yapılmıştır [5].

Chang ve arkadaşlarının (2008) yaptığı çalışmada, Güney Teksas’ta depolama sahaları için yer seçilirken kullanılabilir CBS ve sosyoekonomik değişkenleri içinde barındıran iki aşamalı bir yöntem kullanılmıştır. Araştırmanın sonucunda önceden seçilen yer ile araştırmada karar verilen yer aynı çıkmıştır. [8].

Siddiqui, Everett ve Vieux (1996) tarafından yapılacak katı atık toplama alanı için Amerika Birleşik Devletleri (ABD)’nin Cleveland County yerleşim biriminde, coğrafi bilgi sistemleri ve AHP’nin kullanıldığı bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada AHP, yönetmeliklerdeki kısıtlamalar, bölgenin özellikleri ve arazi değerlendirmeleri uzmanların yardımıyla oluşturulmuştur.

Diğer bir çalışma Başağaoğlu, Celenk ve Mariulo (1997) Ankara Gölbaşı’ndaki düzensiz depolama sahası yerine, CBS üzerinde çalışma yaparak, yeni katı atık depolama alanları belirlemişlerdir. Konumsal veriler CBS ile kullanılarak bir çalışma yürütülmüştür. Bu uygulamada, aday alanların sayısını daraltmak ve daha sonra ayrıntılı araştırma yapmak için bir veya daha fazla siteye yönlendirmek suretiyle farklı bir saha seçim tarama aracı olarak kullanılmıştır [1].

Kontos vd. (2005) tarafından yapılan çalışmada, ÇKKV yöntemi ile CBS üzerinden, konumsal analizler yapılmıştır. Değerlendirmede, kriterlerin önem durumu AHP yöntemiyle tespit edilmiştir. Elde edilen arazi uygunluğu, en az ile en uygun bölgelere 1 ile 10 arasında puan verilerek sonuca gidilmiştir [7].

Kolay (2012), yaptığı tez çalışmasında alternatif katı atık depolama alanlarının yer seçiminde coğrafi bilgi sistemi tabanlı örnek bir uygulama üzerinde durmuştur. Çalışma alanı olarak İstanbul Avrupa yakası tercih etmiştir. Yerleşim bölgelerine uzaklık toprak bünyesi açısından uygunluk, Eğitim, Tarıma mesafesi, Ana ulaşım ağına uzaklık olarak kriterler belirlemiştir [6].

Sener vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada, kentsel alanlar için katı atık yönetiminin önemine değinilmiştir. Ankara ili için uygun depolama sahası tespitini CBS ile ÇKKV yönteminden faydalanılarak gerçekleştirildiği görülmektedir. Burada ÇKKV yönteminden biri olan basit toplam ağırlıklandırma ve

AHP kullanılmıştır. Çalışmada 16 farklı harita katmanı yer almıştır. Çalışmanın sonucu olarak iki farklı ÇKKV yöntemi kullanılmak suretiyle üretilen haritalar karşılaştırılmıştır.

Ağaçsapan (2016), tarafından yapılan çalışmada çevre ve insanın atıkların olumsuz etkilerine maruz kalmalarını önlemek amacıyla Eskişehir ili kapsamında atık transfer istasyonu uygun yer seçimi konusu ele alınmıştır. CBS yararlanılarak iki yazılım üzerinde çalışılmış ve uygun yer seçimi yapılmaya çalışılmıştır. 3 değerlendirme grubu altında toplanan 9 alt faktörleri ele alarak uygun yer analizi için Gis yazılımları yardımıyla çakıştırma işlemi yapmıştır.

4. Sonuç

Bu çalışmada yapılan araştırmalara göre dünyada ve Türkiye’de katı atık ile ilgili bir bilinçlenme yaşanmıştır. Katı atık tesisleri için birçok kanun yönetmelikler çıkarılmıştır ve uygulamaya konulmuştur. Özellikle çevrenin korunması adı altında katı atık depolama, transfer ve dönüşüm tesislerinin yer seçimlerine büyük özen gösterilmiştir. Yer seçimi yaparken en çok tercih edilen yöntemin CBS olması dikkat çekmiştir. Ayrıca CBS alt tabanlı ÇKKV analiz yöntemleri ile çoklu problemlerin çözümü için daha kolay ve objektif olmuştur. Karışık bir problemin çözümün tercih edilecek yöntemin ÇKKV yöntemleri olduğu açıkça görülmektedir. Ayrıca yeni nesil yazılım sistemiyle beraber en iyi sonuçları alacağımız görülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Basağaoğlu, H., Celenk, E., Mariulo, M. A. ve Usul, N. (1997). Selection Of Waste Disposal Sites Using Gis. Journal of The American Water Resources Association, 33 (2), 455-464.
- [2] Chang, Ni-Bin, Parvathinathan, G., Breeden, J.B., 2007. Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. Journal of Environmental Management,1-15
- [3] Chen, K., Blong, R., Jacobson, C., 2001. MCE-RISK: integrating multicriteria evaluation and GIS for risk decision-making in natural hazards. Environmental Modelling & Software, 16(4), 387-397.
- [4] Güler D., (2016). Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Alternatif Katı Atık Düzenli Depolama Alanı Yer Seçimi: İstanbul İli Örneği. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi. İstanbul. Syf.9-12.
- [5] Küçükönder M., Karabulut M. (2007). Çok Kriterli Analiz Yöntemi Kullanılarak Kahramanmaraş’ta Çöp Depolama Alanı Tespiti. Coğrafi Bilimler Dergisi. 2007, 5 (2), 55-76.
- [6] Kolay U., (2012). Alternatif Katı Atık Deponi Alanlarının Yer Seçiminde Coğrafi Bilgi Sitemi Tabanlı Örnek Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi. Bahçeşehir Üniversitesi. İstanbul. Syf. 61-78
- [7] Kontos, T. D., Komilis, D. P. ve Halvadakis, C. P. (2005). “Siting MSW landfills with a spatial multiple criteria analysis methodology” Waste Management, 25, 818-832.
- [8] Mersinli H., (2021). Entegre Katı Atık Yönetiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Coğrafi Bilgi Sistemi Kullanarak Düzenli Depolama Tesisi Yer Seçimi: Bursa Örneği. Yüksek Lisans Tezi. Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa. Syf. 33-35.
- [9] Saaty, T.L. ve Kearns, K.P. (1985). Analytical Planning: The Organization of System. Oxford: Pergamon.
- [10] Saaty, T. L. ve Vargas, L. G. (2001). Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process. New York.

- [11] Saaty, T. L., 2000. Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process, RWS Publications.
- [12] Uyan M., Yalçır Ş. (2016). Çok Kriterli Karar Verme Modeli ve CBS Entegrasyonu ile Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesislerinin Yer Seçimi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 16 (2016) 035501 (642-654).
- [13] Uyan, M., 2014. MSW landfill site selection by combining AHP with GIS for Konya, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 71(4), 1629-1639.
- [14] T.C. Resmî Gazete. 9 Ekim 2021. Sayı:31623. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/10/20211009-1.htm> adresinden alındı. [15.05.2023]
- [15] T.C. Resmî Gazete. 2 Nisan 2015. Sayı:29314. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/04/20150402-2.htm> adresinden alındı. [15.05.2023]
- [16] <https://www.basarssoft.com.tr/> [13.08.2023].

Afyon Kocatepe Üniversitesi İçin PVsol Yazılımı ile 3MW'lık GES Fizibilitesi

Fatih Serttaş¹, Fırat Çoban^{1*}, Nazmiye Ergün²

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, fserttas@aku.edu.tr

^{1*}Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, firatcoban918@gmail.com

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, nzmrygn@gmail.com

Özet

Günümüzde elektrik enerjisi hayatımızın her anında ihtiyacımız olan bir unsur haline gelmiştir. Elektrik enerjisini üretebilmek için en cazip yenilenebilir enerji kaynağı gün geçtikçe gelişen, çevre dostu fotovoltaik teknolojiler sayesinde, güneş enerjisi santralleridir. Bu çalışmada amaç Afyon Kocatepe Üniversitesi yerleşkesinin güneş enerjisi ile enerjilendirilmesi ve Afyon genelinde de GES projesi yapacak olanlar için eldeki bu verilerin yol gösterici olması sağlanmıştır. PVsol ile simüle edilmiş ve yapılabirliği incelenmiştir. Çalışmada Afyon Kocatepe Üniversitesi Rektörlük Binası alanındaki yapıların çatısına ve Teknoloji ile Güzel Sanatlar Fakültesi çatılarına çatı kurulumlu güneş enerji sistemleri kurulmuştur. Paneller doğu-batı yönelimli olarak konumlandırılmıştır. Kullanılan paneller Türkiye de sık kullanılan CW Enerji firmasına ait olup, 2095x1039x40 boyutunda 144(24x6) hücre sayısına sahip ve 450 Wp gücündedir (CWT450-144PM-V). Sistemde yine en çok tercih edilen SolarMax firmasına ait inverterler kullanılmıştır. Çalışmada farklı açılarda, farklı konumlandırılmalarında Rektörlük binasının olduğu alan için 4, Teknoloji Fakültesi ve Güzel Sanatlar Fakültesi binalarının olduğu alan için 4 farklı senaryo simüle edilerek sistemin aylık verileri incelenmiştir. Bu senaryolar; panellerin eğim açısı, modüller arasındaki mesafe ve panellerin konumlandırılma yönü olarak gerçekleştirdiğimiz kombinasyon sayesinde toplamda 8 farklı senaryo sonucunda alınan veriler, Teknoloji ve Güzel Sanatlar Fakültesinde 13° eğimde paneller arası 2 cm mesafede kurulan sistem yıllık 1.941.943,50 kWh enerji üretimi ile en verimli ve maliyet açısından diğer senaryolara göre en uygun senaryo olduğu anlaşılmıştır. Bu sistemin yatırım geri dönüş süresi 7 yıldır ve kurulan sistem diğer senaryolar arasında üretim/maliyet açısından en uygun olan sistemdir.

Anahtar Kelimeler: Çatı GES; Fotovoltaik Teknoloji, Güneş Enerjisi; Elektrik Enerjisi, Panel

Feasibility Study of a 3MW Solar Power Plant for Afyon Kocatepe University using PVsol Software

Abstract

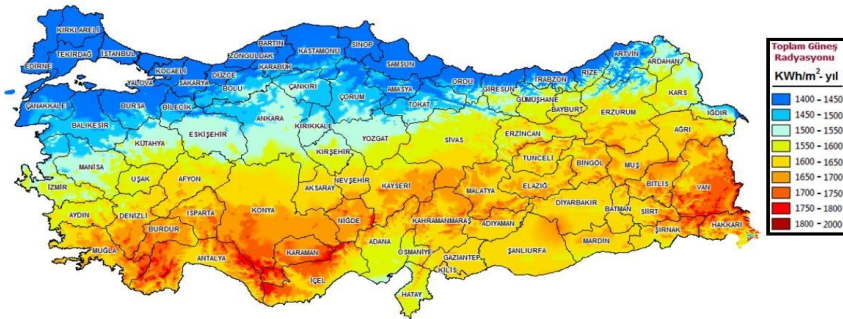
Electricity has become an essential element in our daily lives. To generate electricity, solar power plants are becoming increasingly attractive as a renewable energy source, thanks to the evolving and environmentally friendly photovoltaic technologies. This study aims to energize the Afyon Kocatepe University campus with solar energy and provide guidance for those planning to undertake a solar power

plant project in Afyon. The feasibility was examined through simulations using PVsol software. Roof-mounted solar energy systems were installed on the roofs of the administrative building of Afyon Kocatepe University and the Faculty of Technology and Fine Arts. The panels were oriented in the eastwest direction. The panels used were provided by CW Enerji, a commonly used company in Turkey, with dimensions of 2095x1039x40, 144 (24x6) cells, and a power output of 450 Wp (CWT450-144PM-V). Inverters from SolarMax, a highly preferred company, were used in the system. The study examined monthly data of the system by simulating four different scenarios for the area of the administrative building and four different scenarios for the area of the Faculty of Technology and Fine Arts, considering different angles and orientations of the panels. Among the eight different scenarios, the system installed with panels inclined at 13° and a 2 cm distance between them at the Faculty of Technology and Fine Arts demonstrated the highest efficiency and the most cost-effective solution, generating an annual energy production of 1.941.943,50 kWh. The payback period for this system is 7 years, making it the most favorable option in terms of production and cost among the other scenarios.

Keywords: Rooftop PV System; Photovoltaic Technology; Solar Energy; Electricity; Panel

1. Giriş

Günümüz teknolojisi ve sanayinin giderek gelişmesiyle birlikte elektrik enerjisinin üretiminde alternatifler artmaktadır. Dünyada artık tükenme noktasında bulunan fosil bazlı enerji kaynaklarının, yakın gelecekte tükeneyeceği gerçeği görülmektedir. Bu gerçek insanları; temiz, ulaşılabilir ve tekrar kullanabilecek bir yenilenebilir enerji kaynakları bulmaya ve kullanmaya sevk etmiştir. Tükenmeyen bir enerji kaynağı olarak, bunlardan en önemlisi olan Güneş hem temiz bir kaynak olarak hem de üretimin de asla tükenme söz konusu olmaması sebebiyle en çok tercih edilen enerjilerin başında yer almaktadır. Özellikle tüm enerji kaynaklarının başında gelen Güneş'in, ülkemizin bulunduğu konum itibarıyla fazlaca bulunması sebebiyle Güneş Enerjisi üretimin de dünya da öncülük eden ülkelerden birisi haline getirmiştir.



Şekil 1. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) [1]

Bu çalışmada Afyon şehrinin güneş enerjisi potansiyelini belirlemek için öncelikle bölgede güneşlenme verilerinin toplanması ve analiz edilmesi ile başlayacak. Ardından Pvsol yazılımı ile güneş enerjisi sistemlerinin teknik özellikleri, kurulum maliyetleri, işletme maliyetleri ve geri ödeme süreleri gibi ekonomik faktörler de incelenecektir. Son olarak, güneş enerjisi sistemlerinin çevresel etkileri de dikkate alınarak, Afyon şehrinde güneş enerjisi sistemleri için bir fizibilite raporu hazırlanacaktır. Afyon şehri gibi

benzer güneşlenme potansiyeline sahip bölgelerde güneş enerjisi sistemleri kurulumu için bir model sunabilir ve bu konuda ilgilenen kişi ve kurumlara önemli bilgiler sağlayabilir.

2. Materyal ve Metot

2.1 Pvsol Yazılım Programı

PVSOL, fotovoltaik (güneş) enerji sistemlerinin tasarımı, simülasyonu ve analizi için kullanılan bir bilgisayar yazılımıdır. Bu yazılım güneş enerjisi projelerini tasarlama ve optimize etme sürecinde kullanıcılara yardımcı olur. Güneş panellerinin yerleşimini belirleme, sistem tasarımını simüle etme, enerji üretimini tahmin etme, gölgelenme analizini oluşturma, sistem performansını analizi ve ekonomik analizi yapma imkânı sağlar.[2] Sonuç olarak sistem üzerinde elde edilen bu verilerle beraber hassas, doğru ve daha gerçekçi bir hesaplama yapılabilir.

2.2 İnverter

İnverterlerin görevi, güneş panellerinin ürettiği doğru akımı alternatif akıma dönüştürmek ve şebekeye uyumlu hale getirmektir. Bu projede SolarMax inverteri kullanılmıştır.



Şekil 2. Projede kullanılan SolarMax 50kw SHT inverterleri [3]

Tablo 1. SolarMax 50kw SHT İnvörtörün teknik özellikleri

Marka ve Model	SolarMax 50SHT
Maksimum DC Gerilim	1100V
Minimum DC Gerilim	250V
Çalışma Aralığı	200-960V
İzleyici Sayısı	4
Giriş Sayısı	10
Nominal AC Gerilimi	400V
Maksimum AC Akımı	249A
Avrupa Verimliliği	%98

2.3 Fotovoltaik paneller

Güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirmek için kullanılır. 2 farklı fotovoltaik panel türü vardır; Polikristalin güneş panelleri yüzde 15-16.5 verimlilik sunarken, monokristalin (tek kristalli) güneş panellerinde bu oran yüzde 18-22'ye yükseliyor. Ancak polikristalin güneş panelleri monokristalin

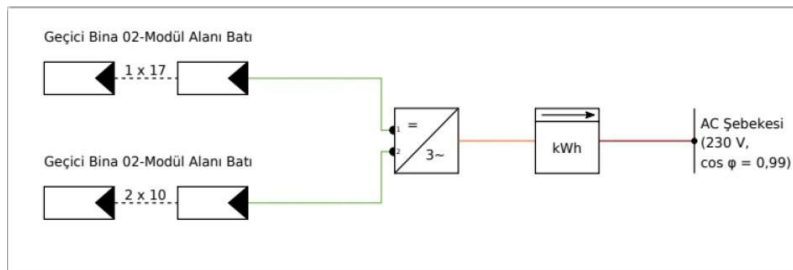
panellerden daha hesaplı olduğu için genelde polikristalin paneller tercih ediliyor. Çatılara kurduğumuz güneş paneli, şekilde görülen [3] CW Enerji (CWT450-144PM-V) monokristal paneldir.

Tablo 2. Kullanılan panelin genel özellikleri

Üretici		CW Enerji Müh. Ticaret ve San. Ltd. Şti.	
Elektrik Verileri		I/V Kısmi Yük Parametreleri	
Hücre Tipi	Monokristalli Si	Değerlerin Kaynağı	Standart
Sadece Trafo Eviricileri Uygundur	Hayır	Işınım	200 W/m ²
Hücre Sayısı	72	Kısmi Yükteki MPP Gerilimi	39.13 V
By-pass diyotların sayısı	3	Kısmi Yükte MPP Akımı	2.17 A
Yarım Hücre Modülü	Evet	Açık Devre Gerilimi (Kısmi Yükte)	44.29 V
Mekanik Veriler		Kısmi Yükte Kısa Devre Akımı	2.32 A
Genişlik	1039 mm	İleriki	
Yükseklik	2095 mm	Gerilim Katsayısı	-146.6 mV/K
Derinlik	40 mm	Elektrik Katsayısı	5.8 mA/K
Çerçeve Genişliği	35 mm	Çıkış Katsayısı	%-0.36 K
Ağırlık	24.5 kg	Açı Düzeltme Faktörü	%99
STC'da bulunan I/V Parametreleri		Maksimum Sistem Gerilimi	1500 V
MPP Gerilimi	41.4 V		
MPP Akımı	10.87 A		
Nominal Çıkış	450 w		
Verim	%20.67		
Açık Devre Gerilimi	49.2 V		
Kısa Devre Akımı	11.61 A		
Dolum Faktörü	%78.78		

2.4 Kabloalama Tasarımı

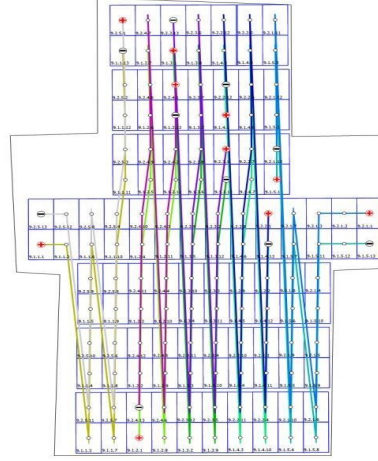
Bu çalışmada gerçekleştirilmiş olan bağlantı sistemi, genellikle tercih edilen, az maliyet, daha az yer kaplaması, kurulum sürecini kolaylaştırdığı ve sistemdeki parça sayısını azaltarak sistem bakımını kolaylaştırdığı için. "Doğrudan Bağlantı Sistemidir."



Şekil 4. Doğrudan Bağlantı Sistemi

2.5 Pvsol Kablolama Planı

Pvsol'ün kablolama planı özelliği, bir PV sistemi için DC kablolama şemasının oluşturulmasını sağlar. Bu şema, panellerin, dizilerin, bileşen kutularının ve inverterlerin yerleştirilmesini gösterir. Kablolama şeması, kablolama uzunluğu, kesit alanı, voltaj düşümü ve kayıplar gibi faktörlerin hesaplanmasını sağlar. Bu görsel projemin bir kısmındaki Rektörlük binasının Doğrudan Bağlantı Sistemi ile yapılışını göstermektedir



Şekil 5. Rektörlük binası için kablolama planı

2.6 Şebekeye Bağlı PV Sistem

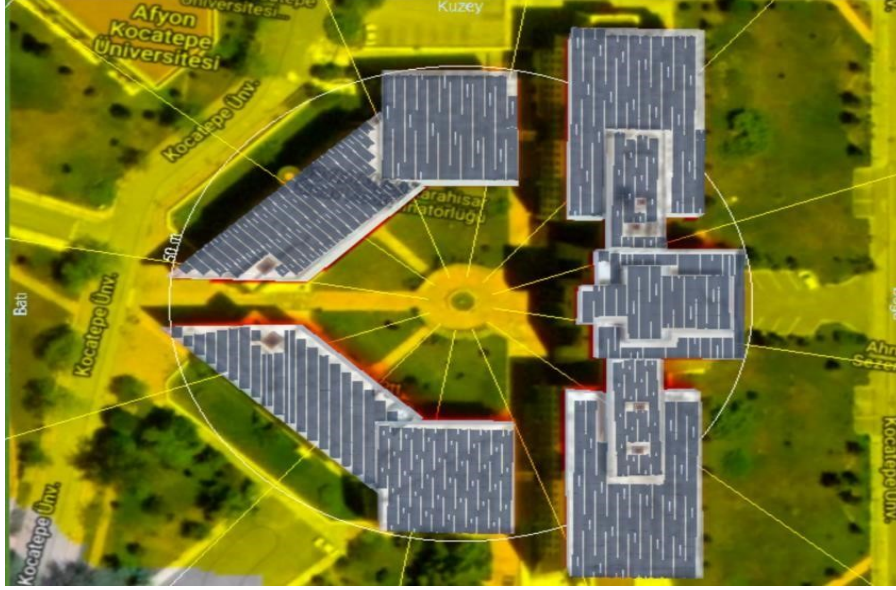
Şebekeye bağlı 3D PV sistem, fotovoltaik (PV) panellerin üç boyutlu bir yapıda kurulduğu ve şebekeye bağlı olarak çalışan bir güneş enerjisi sistemi türüdür. Teknoloji Fakültesi ve Güzel Sanatlar Fakültesine ait gerekli kablolama planı, inverter seçimi, panel yerleşim yönleri hesaplamaları yapıldıktan sonra çatıya panel kurulumu gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6. Teknoloji Fakültesi ve Güzel Sanatlar Fakültesine ait 3D Tasarım Görüntüsü

2.7 Pvsol Gölgeleme Simülasyonu Sonucu

Aşağıdaki görselde de görüldüğü gibi Pvsol gölgeleme analizinde, gölgeleme frekansı sonuçlarına göre farklı renkler kullanılır. Bu çalışmada; Sarı: Orta frekansta gölgeleme ve Kırmızı: Yüksek frekansta gölgeleme olduğu belirlenmiştir.



Şekil 7. Rektörlük binası alanı Gölgeleme Sonucu

4. Sonuç

Panel Eğim Açısı hesaplama :

$$\text{Panel Eğimi} = \text{Enlem} \times 0.87 + 3.1 \quad (1)$$

2 farklı alanda (Rektörlük binası alanı-Teknoloji ve Güzel Sanatlar Fakültesi alanı) Farklı karşılaştırmalar yapılmış ve sonuçlar elde edilmiştir.

- Açısı 13° panel yerleşim yönleri hem yatay hem dikey, paneller arası mesafe 0 cm hem de 2 cm
- Açısı 37° panel yerleşim yönleri hem yatay hem dikey, paneller arası mesafe 0 cm hem de 2 cm

Tablo 3. Teknoloji ve Güzel Sanatlar Fakültesi

Açı değeri	Panel Yerleşim Yönü	Paneller Arası Mesafe(cm)	Modül Sayısı	Evirici Sayısı	Önlenen CO ₂ Emisyonu	Üretilen Enerji	Toplam Maliyet
13°	Yatay	2	3586	76	900.762kg/yıl	1.916.514kWh	2.420.55,000TL
13°	Dikey	2	3644	58	912.713kg/yıl	1.941.943kWh	2.459.700,00 TL
37°	Yatay	2	4298	39	905.987kg/yıl	1.927.631kWh	2.901.150,00TL
37°	Dikey	2	4474	42	915.593kg/yıl	1.948.071kWh	3.019.950,00TL

Tablo 4. Rektörlük Binası Olduğu Alan

Açı değeri	Panel Yerleşim Yönü	Paneller Arası Mesafe(cm)	Modül Sayısı	Evirici Sayısı	Önlenen CO ₂ Emisyonu	Üretilen Enerji	Toplam Maliyet
13°	Yatay	0	1546	44	395.726kg/yıl	841.970kWh	1.043.550,00TL
13°	Dikey	0	1588	34	406.162kg/yıl	864.175kWh	1.071.900,00 TL
37°	Yatay	0	1938	14	402.156kg/yıl	866.606kWh	1.308.150,00TL
37°	Dikey	0	1904	21	915.593kg/yıl	855.6888kWh	1.285.200,00TL

Bu sonuçlara baktığımızda Teknoloji ve Güzel Sanatlar Fakültesi için 13° de panel yerleşim yönü dikey olduğu ve paneller arası mesafe 2 cm iken olan senaryo, diğer senaryolara göre verim ve maliyet açısından daha uygun olduğu anlaşılmaktadır.

Aynı şekil de Rektörlük Binası Alanı için de geçerli olmak üzere 13° de panel yerleşim yönü dikey olduğu ve paneller arası mesafe 0 cm iken olan senaryo, diğer senaryolara göre verim ve maliyet açısından daha uygun olduğu anlaşılmaktadır.

En uygun senaryolardan yola çıkarak Teknoloji ve Güzel Sanatlar Fakültesi alanı için 912.713kg/yıl karbon salınımının önüne geçerek yaklaşık olarak 42 ağacın kurtarılması sağlanacak. Rektörlük Binası Alanı için ise yaklaşık olarak 19 ağacın kurtarılması sağlanacak.

Kaynaklar

- [1] <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/> Erişim Tarihi: 17 Mayıs 2023
- [2] <https://www.acarindex.com/journal-of-naval-sciences-and-engineering/fakulte-olcegindefotovoltaik-sistem-tasarimi-ve-analizi-448277>
- [3] <https://www.solarrelax.com/gunes-paneli-invertoru-nedir> Erişim Tarihi: 16 Mayıs 2023
- [4] <https://cw-enerji.com/tr/urun/cw-enerji-450wp-144pmb-m6-hc-mb-gunes-paneli-806.html>
- [5] Akın, E. (2015). Performance evaluation of a grid-connected photovoltaic system with different MPPT algorithms [Master's thesis, Ege University]
- [6] P. Yadav, N. Kumar and S. S. Chandel, "Simulation and performance analysis of a 1kWp photovoltaic system using PVsyst," 2015 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC), 2015, pp. 0358-0363, doi: 10.1109/ICCPEIC.2015.7259481.
- [7] Varınca K. ve Gönüllü T. (2006). Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, Eskişehir
- [8] Sekuçoğlu, S. A. (2012). Fotovoltaik (Pv), Rüzgâr ve Hibrit Sistemlerin Tasarımı ve Ekonomik Analizi, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Enerji Sektöründeki Dijital Teknoloji Uygulamalarına İlişkin Bir İnceleme

Yunus Emre Ateş^{1*}, K.Çağatay Bayındır²

¹Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği, yunusemreates07@gmail.com

²Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği, kcağataybayindir@gmail.com

Özet

Dijital teknolojilerin enerji sektörüne olan etkisi, günümüzde birçok alanda yaşanan hızlı dönüşümün bir yansımasıdır. Bu çalışma, eski tip güç şebekelerinin dijital teknolojiler sayesinde nasıl dönüştüğünü ve enerji üretim ve tüketim biçimlerimizi nasıl değiştirdiğini ele alarak, bu değişimi sağlayan yapay zeka, akıllı şebekeler, IoT, BigData ve Blockchain gibi yeni nesil dijital teknolojilerin enerji sektöründeki dönüşümünü incelemektedir. Bu teknolojiler, enerji şebekelerinin izlenebilirliğini, verimliliğini ve güvenilirliğini artırırken, maliyetleri ciddi oranda düşürmekte ve dijital varlıkların yönetimini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca, enerji alım-satımını ve tüketiminde fırsat eşitliği getiren bu teknolojiler, tüketicilere enerji üretimi ve kullanımında daha fazla katılım imkânı sunarak, yeni iş modellerinin ortaya çıkmasına ve ülkelerin ekonomik kalkınmasına katkıda bulunmaktadır. Bununla birlikte, dijitalleşmeyle gelen bazı riskler de mevcuttur. Bu riskler arasında gizlilik ihlalleri ve siber saldırılar önemli bir yer tutmaktadır. Siber tehditler ve saldırılar, enerji pazarının işleyişini aksatabilir ve hatta duraklamasına neden olabilir. Dijitalleşme ile birlikte ortaya çıkan fırsatlar olsa da bahsedilen riskler sebebiyle tehditler de artmaktadır. Teknolojik gelişmeler, bu tür saldırıları gerçekleştirmeyle daha kolay ve mümkün hale getirmektedir. Bu çalışma, dijital teknolojilerin enerji sektöründeki olumlu ve olumsuz yönlerini inceleyerek, okuyucuya dijitalleşmenin getirdiği risk ve fırsatları sunmaktadır. Ayrıca, enerji sektöründe dijital teknolojilerin yaygınlaşmasının, gelecekte karşılaşılabileceğimiz potansiyel sorunları ve bu sorunlara yönelik çözüm önerilerini de tartışmaya açmaktadır.

Anahtar kelimeler: Akıllı Şebeke; Enerji İnternet, Enerjide Dijitalleşme; Blokzinciri; Yapay Zeka

A Review of Digital Technology Applications In Energy Sector

Abstract

The impact of digital technologies on the energy sector reflects the rapid transformation experienced in many areas today. This study examines the transformation of traditional power grids through digital technologies and how our energy production and consumption patterns have changed, focusing on the role of next-generation digital technologies such as artificial intelligence, smart grids, IoT, BigData, and Blockchain in the energy sector's transformation. These technologies enhance the traceability, efficiency,

and reliability of energy networks while significantly reducing costs and facilitating the management of digital assets. Furthermore, these technologies bring equal opportunities in energy trading and consumption, offering consumers more participation in energy production and usage, leading to the emergence of new business models and contributing to countries' economic development. However, some risks come with digitalization. Privacy breaches and cyberattacks are among the most significant risks. Cyber threats and attacks can disrupt the functioning of the energy market and even cause it to stall. Although digitalization brings opportunities, threats increase due to the mentioned risks. Technological advancements make carrying out such attacks easier and more feasible. This study presents the positive and negative aspects of digital technologies in the energy sector, providing readers with the risks and opportunities brought by digitalization. Additionally, it opens up a discussion on the potential problems we may encounter with the widespread use of digital technologies in the energy sector and suggests solutions to these problems.

Keywords: Smart grid; Energy Internet; Digitalisation in Energy; Blockchain; Artificial intelligence

1.Giriş

Dijitalleşme, enerji sektörünün geçmişten bugüne nasıl değiştiğini gözler önüne sermektedir. Eskiden enerji tüketimi ve dağıtımıyla ilgili verilerin toplanması ve analiz edilmesi genellikle uzun süreler alırken, bugün dijital teknolojiler sayesinde bu süreçler daha hızlı ve verimli bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Akıllı sayaçlar, enerji tüketimini gerçek zamanlı olarak izleyen sistemler ve bulut tabanlı veri analitiği, enerji sektöründe dijital dönüşümün somut örnekleridir. Dijital teknolojilerin enerji sektörü üzerindeki etkisi sadece veri toplama ve analiziyle sınırlı değildir. Bu teknolojiler, enerji üretimi ve dağıtımında daha verimli ve sürdürülebilir çözümlerin ortaya çıkmasına da olanak sağlamaktadır. Akıllı şebekeler, enerji üretimi ve tüketimi arasında daha etkin bir iletişim ve koordinasyon sağlayarak enerji verimliliğini artırmaktadır. Ayrıca, blok zinciri gibi güvenli veri paylaşım teknolojileri, enerji ticaretinde şeffaflığı ve güveni artırmakta ve enerji kaynaklarının izlenebilirliğini sağlamaktadır. Bu dijital dönüşüm aynı zamanda güç şebekelerinin evrimini de hızlandırmaktadır. Fakat bu pozitif katkılara rağmen eskimiş güç şebeke altyapıları, yenilenebilir enerji kaynaklarının şebeke entegrasyonu ve artan talep gibi konuların çözüme kavuşturulması gerekmektedir. İşte yukarıda ifade edilen dijital teknolojilerin devreye alınması, bahsi geçen zorlukların üstesinden gelinmesinde etkili bir araç olabilmektedir.

2. Dijital Teknolojiler

2.1 Nesnelerin İnterneti (IoT)

IoT sayesinde günlük hayatta kullanılan tüm cihazlar internet haberleşmesini kullanarak veri aktarımı ve bu verinin takip edilmesini sağlar. IoT, Sensörler ve akıllı cihazlar şebeke üzerindeki enerji talebini, gerilim seviyelerini ve dağıtım süreçlerini izleyerek akıllı şebeke (smart grid) teknolojileriyle enerji şebekesini daha etkin bir şekilde yönetmeyi sağlar [1]. Akıllı ev sistemleri ile evdeki aydınlatma, ısıtma ve soğutma sistemlerini takip ederek anlık tüketimi otomatik olarak kontrol edebilir ve enerji tüketimini optimize eder.[2].

2.2 Yapay Zeka

Yapay zeka, enerji sektöründe giderek daha büyük bir öneme sahip olan bir teknolojidir. Enerji talebinin artması, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik gibi zorluklarla birlikte, yapay zeka enerji yönetimi ve optimizasyonunda önemli bir rol oynamaktadır. Şebekedeki enerji akışını optimize ederek, enerji kaynaklarının daha verimli kullanılmasını, şebeke kesintilerini önceden tahmin ederek önleyici bakım stratejilerinin geliştirilmesini, sensör verilerini analiz ederek enerji tüketim desenlerini belirleyerek, enerji tasarrufu sağlayacak önerilerin sunulmasını ve otomatik enerji yönetimi sistemleriyle enerji tüketiminin optimize edilmesini sağlayabilmektedir [3].

2.3 Büyük Veri

Elektrik üretimi süreci boyunca güç santralleri, rüzgar çiftlikleri, güneş panelleri ve hidroelektrik santralleri gibi kaynaklardan veri üretilir. Bu veriler, üretim miktarı, kalitesi, verimlilik ve tesis performansı hakkında bilgi sağlar. Kullanım alanları olarak enerji verimliliğinin artırılması ve yönetiminin iyileştirilmesi, enerji tasarrufu sağlayacak önlemlerin alınması, enerji talebinin tahmin edilmesi, verilerin gerçek zamanlı toplanması ve takip edilmesi gösterilebilir [4]. Bu sayede enerji sektörü, veriye dayalı kararlar alabilir, enerji verimliliğini artırabilir, kaynakları optimize edebilir ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşabilir.

2.4 Blok Zinciri

Blockchain teknolojisi, enerji sektöründe önemli etkilere sahip olan bir inovasyondur. Blockchain, merkezi olmayan bir veritabanı olarak işlev gören ve şeffaflığı, güvenliği ve veri bütünlüğünü sağlayan bir teknolojidir. Blockchain, enerji ticaretinin ve dağıtımının daha verimli ve güvenilir bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlar. Akıllı sözleşmeler aracılığıyla, enerji üreticileri ve tüketicileri doğrudan bağlanabilir ve enerji alım satımı yapabilir. Ayrıca , blockchain, enerji şebekelerinin siber güvenliğini artırır[5] . Merkezi olmayan yapısı ve güçlü şifreleme yöntemleri, enerji şebekelerinin siber saldırılara karşı daha dirençli olmasını sağlar.

2.5 Artırılmış ve Sanal Gerçeklik

Artırılmış gerçeklik (AG) ve sanal gerçeklik (SG), enerji sektöründe çeşitli alanlarda önemli bir potansiyele sahiptir. Bu teknolojiler sayesinde enerji çalışanlarının karmaşık süreçleri ve operasyonları güvenli bir ortamda pratik yaparak öğrenmelerine olanak tanır. Ayrıca, acil durum senaryoları ve riskli durumlar AG ve SG ile gerçekçi bir şekilde simüle edilerek personelin hazırlıklı olması sağlanır. Enerji şirketleri, AG ve SG kullanarak tesislerdeki ekipmanların durumunu izleyebilir ve bakım-onarım faaliyetlerini daha hızlı gerçekleştirebilir.

2.6 Dijital İkiz

Dijital ikizler, genellikle sensörler aracılığıyla gerçek zamanlı verileri toplar ve bu verilere dayanarak nesnenin durumunu simüle eder. Bu teknoloji, bir fabrikadaki tek bir makineden bir enerji santraline veya bir şehrin altyapısına kadar herhangi bir varlığın dijital bir temsilini oluşturabilir ve gerçek dünyadaki varlığın performansını izlemek, sorunları tespit etmek ve iyileştirmeler yapmak için kullanılabilir. Örnek

olarak, bir makinenin bakım zamanlamasını belirlemek veya yeni bir üretim hattı tasarlamak için dijital ikizlerden yararlanılabilmektedir.

3. Dijitalleşmenin Getirdiği Risk ve Fırsatlar

3.1 Dijitalleşmenin Enerji Sektörüne Getirebileceği Riskler ve Çözüm Önerileri

Dijitalleşmenin getirdiği en büyük risklerin başında siber güvenlik tehlikeleri gelmektedir. Dijitalleşme, enerji sektörünü siber saldırılara açık hale getirir. Akıllı şebekeler, enerji tesisleri ve diğer dijital altyapılar, siber saldırganlar için hedef olabilir. Bu durum, enerji güvenliği ve kesintisiz enerji tedariki konusunda önemli bir risk oluşturur. İleri düzeyde şifreleme, güçlü kimlik doğrulama mekanizmaları ve güvenlik duvarları gibi önlemler alınmalıdır. Enerjide dijitalleşmenin getirdiği riskler arasında çalışanların uygun bilgi ve birikime sahip olmama durumları da olmaktadır. Yeni dijital teknolojilerin benimsenmesi, çalışanların bu teknolojileri anlamalarını ve etkin bir şekilde kullanabilmelerini gerektirebilir. Bu durum, eğitim ve yetkinlik geliştirme programlarına ihtiyaç duyulmasını ve mevcut çalışanların dijital becerilerini geliştirmelerini zorunlu kılar. Şirketlerin eski teknolojik altyapıları dijitalleşmenin önündeki engeller arasında yer almakta olup altyapıların günümüz şartlarına güncellenmesi önem arz etmektedir.

3.2 Dijitalleşmenin Enerji Sektörüne Getirebileceği Fırsatlar

Dijitalleşmenin yaygınlaşması ve sektöre girmesiyle birlikte enerji alanında da birçok fırsat doğmuştur [5]. Dijital platformlar ve blockchain teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilen P2P ticareti, tüketicilere enerji üretim ve tüketimlerini daha esnek bir şekilde yönetme ve enerji maliyetlerini düşürme imkanı sunarken aracı kurumları ortadan kaldırarak müşteriler arasında direkt iletişim imkanı sağlar [6]. Elektrikli araçların şebeke entegrasyonu sayesinde, şebekeden enerji alınmasının yanı sıra, enerjiyi depolama sistemleri olarak kullanarak şebekeye geri besleme yapabilmesini ve enerji talebine göre esneklik sağlamasını içerir. Bu, enerji şebekesinin dengelemesine yardımcı olur ve şebekenin stabilizasyonunu sağlar [7]. Ayrıca şebekenin anlık kontrolü Sanal Güç Konsepti adı verilen bir yazılım tabanlı yönetim platformu ile sağlanabilmektedir. Farklı enerji kaynaklarından gelen enerjiyi optimize ederek, enerji üretimini en uygun zamanda gerçekleştirir ve fiyat avantajları elde edilmesini sağlar. Ayrıca, risk yönetimi açısından da faydalıdır. VPP'ler, enerji piyasasındaki değişkenlikleri izler ve enerji fiyatlarındaki dalgalanmalara karşı koruma sağlayan stratejiler uygulayabilir. Böylelikle şebekede ki en ucuz fiyatlı enerjinin doğru zamanda doğru kullanıcıya ulaştırılmasını sağlar [8]. Yapay zeka, gelişmiş sensörler ve uzaktan erişim gibi faktörler, enerji sektöründe dijital çözümlerin uygulanmasını mümkün kılmakta ve yeni iş fırsatlarının oluşmasını sağlamaktadır [9].

4. Sonuç

Dijital dönüşüm süreci pek çok sektörü etkilemiş ve gelecekte daha da büyük değişimlere neden olması beklenen bir süreçtir. Özellikle enerji sektörü, dijitalleşmeyle birlikte önemli bir dönüşüm yaşamıştır. Akıllı şehirlerin sayısının artmasıyla birlikte enerji sektörü, kentsel alanlardaki artan enerji taleplerini karşılamak için daha sürdürülebilir ve verimli enerji çözümleri sunmak zorunda kalacaktır. Bu, enerji üretiminde ve dağıtımında yenilikçi teknolojilerin ve uygulamaların kullanılmasını gerektirir. Enerji endüstrisindeki dijital teknolojilerin kullanıma sunulması ve yaygınlaşması temel olarak siber güvenliğin sağlanmasına, şebeke kullanıcılarının pazara katılımlarının teşvik edilmesine ve sürdürülebilirlik konularına bağlıdır.

Enerji sektörü, bu riskleri çözüme kavuşturarak büyüme hızlandırabilir ve gelecekte daha sürdürülebilir ve eşitlikçi bir enerji ekosistemi oluşturabilir.

Kaynaklar

- [1] Khan, B., Getachew, H., & Alhelou, H. H. (2021b). Components of the smart-grid system. Solving Urban Infrastructure Problems Using Smart City Technologies, 385–397
- [2] Bedi, G., Venayagamoorthy, G. K., Singh, R., Brooks, R. R., & Wang, K.-C. (2018), Review of Internet of Things (IoT) in Electric Power and Energy Systems. IEEE Internet of Things Journal, 5(2), 847–87
- [3] Singh, R., Akram, S. V., Gehlot, A., Buddhi, D., Priyadarshi, N., & Twala, B. (2022), Energy System 4.0: Digitalization of the Energy Sector with Inclination towards Sustainability. Sensors, 22(17), 6619.
- [4] C. Tu, X. He, Z. Shuai, F. Jiang, (2017). Big data issues in smart grid – A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 79, 1099–1107,
- [5] Światowiec-Szczepańska, J., & Stępień, B. (2022), Drivers of Digitalization in the Energy Sector – The Managerial Perspective from the Catching Up Economy, Energies, 15(4), 1437.
- [6] Wilkinson, S., Hojckova, K., Eon, C., Morrison, G. M., & Sandén, B. (2020). Is peer-to-peer electricity trading empowering users? Evidence on motivations and roles in a prosumer business model trial in Australia. Energy Research & Social Science, 66, 101500
- [7] Schneiders, A., Fell, M., & Nolden, C. (2020). Peer-to-Peer Energy Trading and the Sharing Economy: Social, Markets and Regulatory Perspectives. Oxford University Research Archive (ORA) (University of Oxford)
- [8] Asmus, P. (2010). Microgrids, Virtual Power Plants and Our Distributed Energy Future. The Electricity Journal, 23(10), 72–82
- [9] Trzaska, R., Sulich, A., Organa, M., Niemczyk, J., & Jasiński, B. (2021). Digitalization Business Strategies in Energy Sector: Solving Problems with Uncertainty under Industry 4.0 Conditions. Energies, 14(23), 7997

Farklı Katlı Yapıların Altında Yapılan Tünel Kazılarının Meydana Getirdiği Yüzey Oturmaları

Berre Köse^{1*}, Hilal Gezmiş², Yusuf Kaya³

¹İstanbul Beykent Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, berre3818@gmail.com

²İstanbul Beykent Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, gezmishilal@gmail.com

³İstanbul Beykent Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, yusufkaya@beykent.edu.tr

Özet

Artan nüfusla beraber farklı ulaşım alternatiflerine ihtiyaç oluşmuştur. Bu kapsamda karayolu ve demiryolu tünel inşaatları artmıştır. Şehirleşme ve yapılaşmanın yoğun olduğu bölgelerde tünel güzergâhı çoğu zaman bu yapılaşmanın altından geçmek durumundadır. Yapılacak bir tünel kazısı, kazı yöntemine bağlı olarak zemin yüzeyinde veya mevcut yapı altlarında oturmalar neden olabilmektedir. Bu oturmalar tünel kazı yöntemine, zemin davranışının iyi analiz edilememesine, hat boyunca öngörülemeyen ezik zonlar olmasına ve zemin sıvılaşmasına bağlı oluşabilmektedir. Oluşabilecek bu deformasyonlar kontrol altında tutulmaz ise yapılar üzerinde ciddi hasarlar meydana getirebilir ve bu durum beraberinde önemli sorunlar doğurabilir. Kazı ve yapı güvenliğinin sağlanması amacıyla tünel kazısı öncesinde olası oturmaların mühendislik yaklaşımları ile hesaplanması gereklidir. Hesaplanan deformasyon değerlerinin kabul edilebilir sınırlar içinde kalıp kalmadığı incelenerek kazı öncesinde çeşitli önlemler alınmalıdır. Oluşması muhtemel bu deformasyon değerlerinin hesaplanması için çeşitli yaklaşımlar literatürde mevcuttur. Bu çalışma kapsamında tabakalı bir zemin profilinde kazısı yapılan bir tünelin farklı katlı yapılar altında meydana getirdiği oturmalar sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak elde edilmeye çalışılmıştır. Güzergâh üzerinde yapı olmama, 3 katlı bina ve 6 katlı bina olması durumları için sayısal analizler yapılmış olup elde edilen tasman eğrileri incelenen durumlar için karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler neticesinde oluşan oturma tasmanlarının maksimum olduğu değerler ve lokasyonlar bunun yanında yapı kat sayısının bu maksimum oturma değerlerine etkisi irdelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Tünel; Oturma; Tasman; Sayısal analiz; Sonlu elemanlar

Surface Settlements Induced by Tunnel Excavations beneath Multi-Storey Buildings

Abstract

The increasing population has led to the need for different transportation alternatives. Consequently, the construction of road and railway tunnels has seen a significant rise. In densely urbanized and developed areas, tunnel routes often necessitate passing beneath existing structures. The excavation of a tunnel, depending on the chosen method, may result in settlements either on the ground surface or beneath the existing structures. These settlements can occur due to various factors, such as the tunnel excavation

method, inadequate analysis of soil behavior, the presence of unforeseen weak zones along the alignment, and soil liquefaction. Uncontrolled deformations arising from these settlements can cause severe damage to structures and give rise to significant challenges. To ensure excavation and structural safety, it is crucial to calculate potential settlements using engineering approaches before commencing tunnel excavation. By examining whether the calculated deformation values fall within acceptable limits, various precautionary measures should be taken prior to excavation. Numerous approaches exist in the literature for estimating these potential deformation values. This study focuses on employing the finite element method to obtain settlements caused by the excavation of a tunnel within a layered soil profile beneath different multi-story structures. Numerical analyses were conducted for scenarios involving no structures along the tunnel route, as well as scenarios with 3-story and 6-story buildings, allowing for a comparative analysis of the resulting settlement profiles. The analysis not only determined the maximum settlement values and their corresponding locations but also investigated the influence of the number of building stories on these maximum settlement values.

Keywords: Tunnel; Settlement; Deformation; Numerical analysis; Finite element method.

1. Giriş

Tünel kazıları sonucu zeminde belli başlı oturmalar meydana gelir. Bu oturmaların hesaplanması için farklı birçok yöntem bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi de sonlu elemanlar yöntemi hesap esaslı olan PLAXIS 2D programıdır. Bu çalışmada da PLAXIS 2D kullanılarak aynı zemin üzerinde farklı durumlarda zeminde oluşan oturmalar incelenmiştir. Tünel kazılarında kullanılan tam kesit tünel açma makinelerine “TBM” (Tunnel Boring Machine) denilmektedir. Yapısal olarak incelendiğinde TBM, kazıcı baş kısım ve kazılan malzemenin dışarıya taşınmasını sağlayan konveyör bant benzeri bir sistemden oluşur [1]. TBM kafa kısmının formasyona belli bir kuvvet ve hızla bastırılması ile aynı anda döndürülmesi sonucunda kazı işlemi gerçekleşmektedir [2]. Makinenin silindirik formu kazılan zemini ayakta tutarak zemin stabilitesini korur [3].

2. Tünel Kazısı Kaynaklı Yüzey Oturmaları

Zemin hareketleri ve buna bağlı oturmalar çeşitli sebeplerden meydana gelebilmektedir. Bu çalışmanın esasını oluşturan zeminde oturmalar, tünel kazıları, maden kazıları veya derin kazılar sebebiyle oluşabilmektedir. İksa sisteminin rijitliği, zeminin davranışının iyi tahlil edilememesi, zeminde öngörülemeyen zayıf zonların veya boşlukların bulunması, zemin sıvılaşması, deformasyonların kontrol edilememesine bağlı olarak iksa sisteminde önlem veya iyileştirme yapılamaması gibi nedenlerden ötürü zeminde oturma, yer değiştirme gibi hareketler meydana gelir.

Zemin rijitliğinin azalmasına ve deformasyonların artmasına neden olan önemli etmenlerden bazıları zeminde yapılan açık kazılar, maden çalışmaları ve tünel çalışmalarıdır [1]. Yüzey oturmalarının hesaplanmasında kullanılan ampirik yöntemlerin dayandırıldığı ortak parametreler mevcuttur. Bunlar deformasyon mesafe parametresi (i) ve hacim kaybı parametresidir [5].

3. Sayısal Analizler

Analizler, tünel açılması sırasındaki oturmaları belirlemede sıklıkla kullanılan Sonlu Elemanlar Yöntemi esaslı çalışan bir geoteknik mühendisliği programı olan PLAXIS 2D ile yapılmıştır.

3.1. Zemin Malzeme Bilgisi

Projede iki farklı özelliğe sahip zemin türü kullanılmıştır. Yüzey oturmalarını hesaplarırken programa tanımlanan zemin özellikleri yapılan literatür araştırmaları sonucu elde edilmiştir. Zemin 2, yüzeyden itibaren 20 metre kalınlığındadır ve bunu yine 20 metre kalınlığındaki Zemin 1 takip eder. Su seviyesi ise yüzeyden 1 metre derinliktedir. Zemin özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Zemin özellikleri

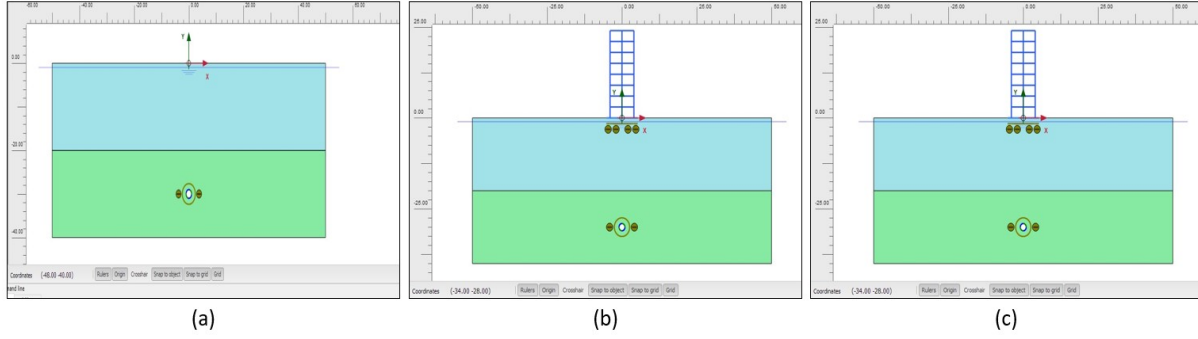
Örnek	Zemin 1 (Birimi)	Zemin 2 (Birimi)
Materyal Modeli	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
$\gamma_{unsat}(kN/m^3)$	20	20
$\gamma_{sat}(kN/m^3)$	20	20
$E'(kN/m^2)$	300E3	250E3
ν'	0.3000	0.2500
Eged(kN/m^2)	403.8E3	300E3
$C'_{ref}(kN/m^2)$	20	25
Φ'	30	30
K_0	0.75	0.75

3.2. Analizler

İlk durumda zemin ortamına 3 metre yarıçapında dairesel tünel konumlandırılmıştır. Sonrasında ise deformasyon analizleri yapılmıştır. İkinci durumda sistem üzerine 10.5 metre genişliğinde radye temel ve her katı 3 metre yüksekliğinde ve 4 metre genişliğinde 4 katlı bir yapı eklenerek yeni bir deformasyon analizi yapılmıştır. Yapısal elemanlara ait parametreler Tablo 2’de verilmiştir. Son durumda kat sayısı artırılıp 8’e çıkarılmıştır. Yeni bir deformasyon analizi yapılarak tüm durumların sonuçları karşılaştırılmıştır. Tüm durumlara ait model geometrileri Şekil 1’de verilmiştir.

Tablo 2. Yapısal parametreler

Parametreler	Tünel Kaplaması	Radye Temel	Bina Duvarları
EA(kN/m)	8.400E6	1.200E7	9.00E6
EI(kN.m)	63.00E3	1.600E6	6.750E4
d(m)	0.3	10.5	4
W(kN/m/m)	1.800	-	-
ν	0.2500	0.2	0.2
$C'_{ref}(kN/m^2)$	0.5	-	-
w (kNm/m)	-	20	10



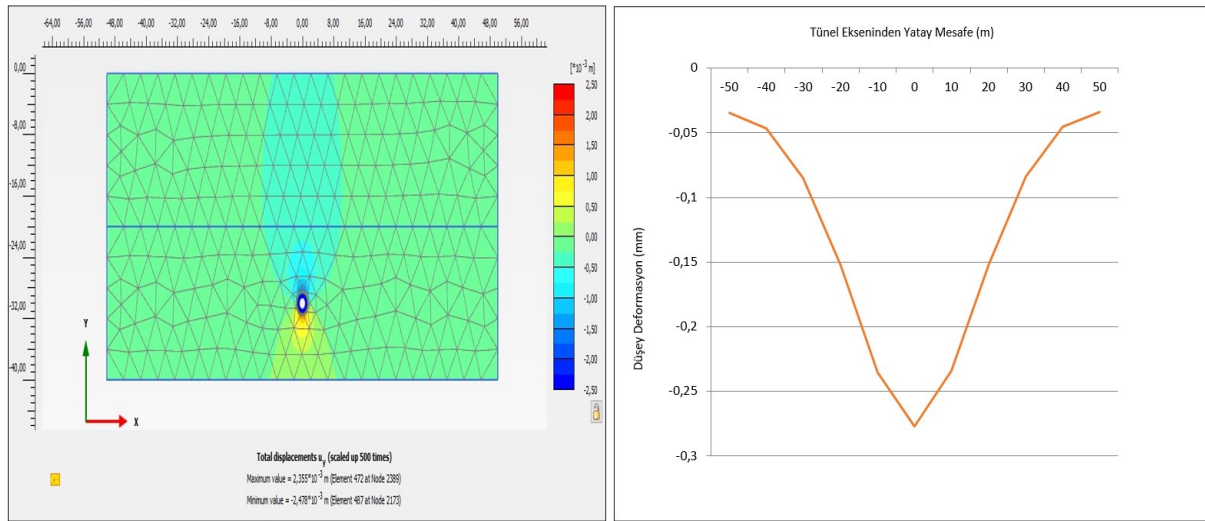
Şekil 1. Analiz yapılan tüm durumlar; (a) durum 1, (b) durum 2, (c) durum 3

4. Sonuçlar

Analizler verildiği üzere 3 farklı durum için gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucu bulunan maksimum ve minimum eksenel kuvvet, kesme kuvveti, eğilme momenti ve asal gerilme değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Tünel merkezinde oturma değeri maksimumken tünel ekseninden uzaklaştıkça bu değer 0'a yaklaşır. Düşey yöndeki oturma değerleri ve yüzey için oluşturulan tasman eğrisi durum 1 için Şekil 2'de verildiği gibidir. Düşey yönde maksimum yer değiştirme değeri 2.355×10^{-3} , minimum yer değiştirme değeri ise -2.478×10^{-3} metredir.

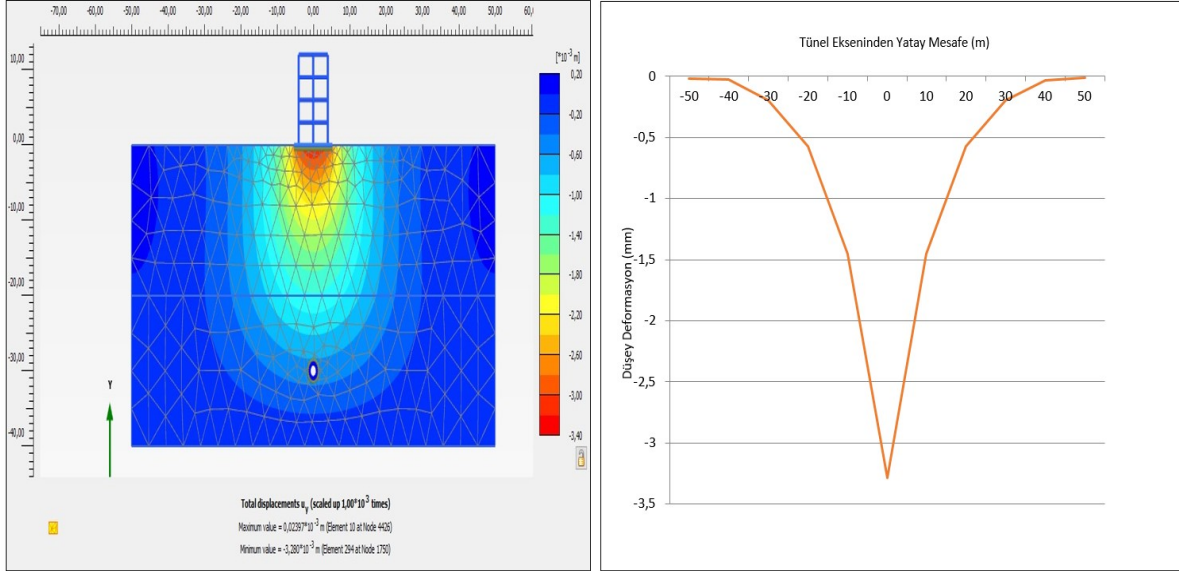
Tablo 3. Farklı durumlara göre analiz sonuçları

Parametreler	Durum 1	Durum 2	Durum 3
	Maksimum Minimum	Maksimum Minimum	Maksimum Minimum
Eksenel Kuvvet (kN)	-276.6 -335.0	-282.7 -362.7	-288.7 -381.8
Kesme Kuvveti (kN)	10.68 -9.583	21.60 -23.03	29.74 -32.03
Efektif Asal Gerilme (kN/m ²)	-1.721 -520.4	0.014210E-12 -505.4	0.046190E-12 -512.0
Eğilme Momenti (kN.m)	2.132 -7.106	9.192 -13.07	13.47 -17.16



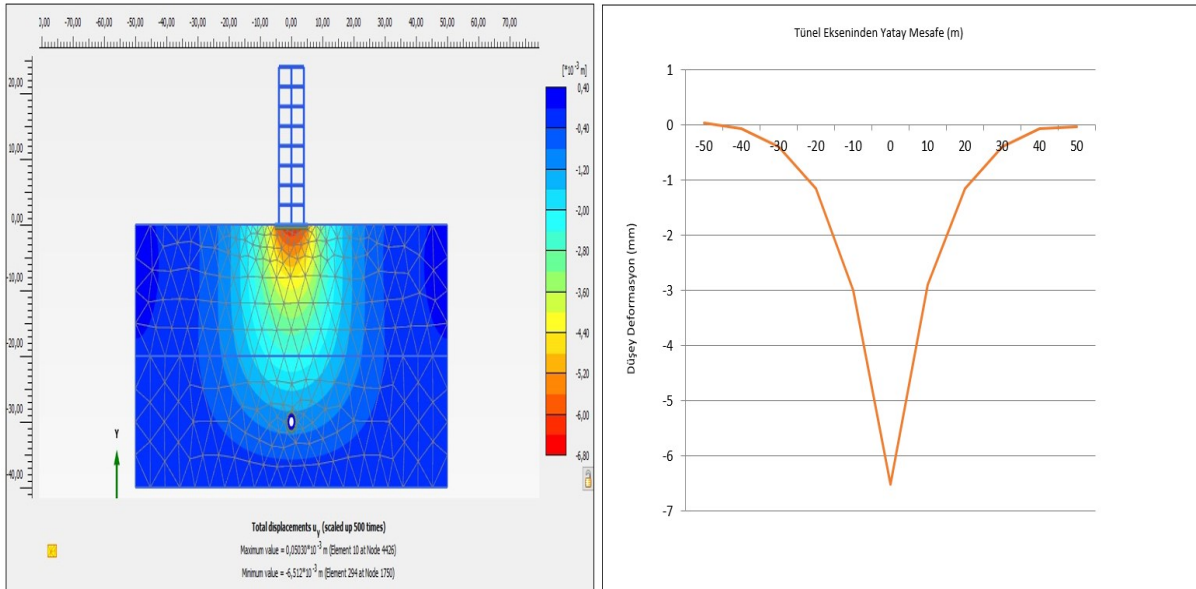
Şekil 2. Durum 1 için düşey yer değiştirme değerleri ve yüzey tasmanı

4 katlı binanın eklenmesi durumunda oluşan yüzey tasman eğrisi ve düşey deformasyonlar Şekil 3'te verilmiştir. Düşey yönde maksimum yer değiştirme değeri 0.02397×10^{-3} , minimum yer değiştirme değeri ise -3.280×10^{-3} metredir.



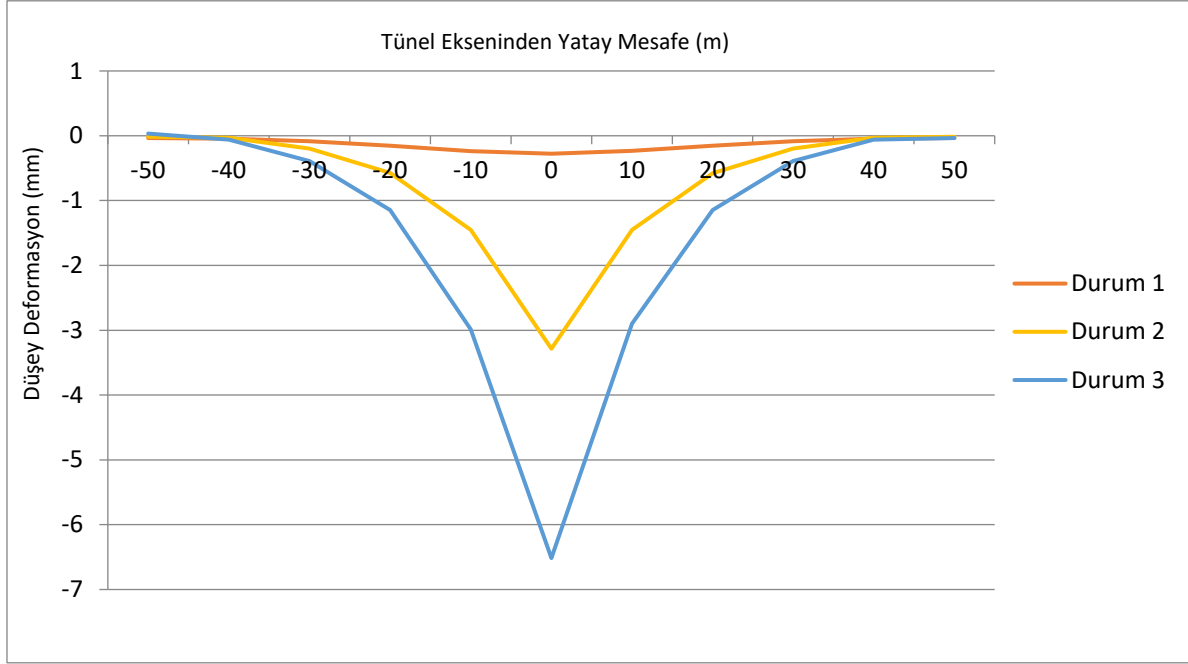
Şekil 3. Durum 2 için düşey yer değiştirme değerleri ve yüzey tasmanı

Yapı kat adedinin 8 olması durumu için oluşan yüzey tasman eğrisi ve düşey deformasyonlar Şekil 4'te verilmiştir. Düşey yönde maksimum yer değiştirme değeri 0.05030×10^{-3} , minimum yer değiştirme değeri ise -6.512×10^{-3} metredir.



Şekil 4. Durum 3 için düşey yer değiştirme değerleri ve yüzey tasmanı

Yukarıda da anlatıldığı gibi aynı zemin profilinde üç farklı durumda zeminde oluşan oturma değerleri incelenmiştir. Bunun sonucunda yüzeyde elde edilen maksimum oturma değerleri karşılaştırılmış ve en az oturma değeri ilk durumda, en fazla oturma değeri ise son durumda gözlemlenmiştir. Tüm durumlar için yüzey tasmanları Şekil 5'te birlikte verilmiştir.



Şekil 5. Tüm durumlar için yüzeyde oluşan düşey deformasyon değerleri

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen verilere göre;

- Tünel kazısı kaynaklı yüzey oturmaları incelen tüm durumlar için maksimum değerlere tünel ekseninde ulaşmış bu değer tünel ekseninden uzaklaştıkça azalmıştır. Bu durum tünel ekseninde olan yapıların olası deformasyonlardan daha fazla etkilenebileceği sonucuna ulaştırmaktadır. Olası tünel kazılarında tünel eksenindeki yapılar mühendislik olarak daha dikkatli ele alınmalıdır.
- İncelenen durumlar göz önüne alındığında yüzeyde meydana gelen düşey oturma değerleri yapı kat sayısı arttıkça artış göstermiştir. Tüm durumlar içinde maksimum düşey deformasyon değeri yaklaşık 6.5 mm mertebelerinde oluşmuştur. Bu durum oturma davranışında etkili parametre olan gerilme değişimi ($\Delta\sigma$) tünel kazısı kaynaklı oturmalarda da etkili olduğunu göstermektedir.
- Yapı yüksekliğinin maksimum olduğu durumda tünel ekseninden uzaklaştıkça kabarmalar olduğu ancak elde edilen kabarma değerlerinin düşük mertebelerde kaldığı elde edilmiştir.
- Rankine (1988) tarafından önerilen izin verilebilir maksimum düşey deformasyon değerleri göz önüne alındığında 10 mm altındaki oturma değerleri hasarsız durum olarak sınıflandırılmaktadır. Bu durum yapılan farklı analizlerden elde edilen düşey deformasyon değerlerinin kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığını göstermektedir. Sınır değerlerin üstündeki deformasyon değerlerinde tünel kazısı öncesinde yapılar için deformasyonları azaltıcı önlemler alınmalıdır.

Kaynaklar

- [1] Selman, Hatice G. Tünel Kazısı Sebebiyle Meydana Gelen Zemin Oturmaları ve Mevcut Yapılara Olan Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek lisans Tezi, 2014.
- [2] Ünlütepe A., Messing M., 2005. Tünel Ölçme Uygulamalarında Son Yenilikler, 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, İstanbul, Kasım 2005.
- [3] Osmanoğlu, Derya. Tünellerde Zemin İyileştirilmesi ve Stabilitenin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Plaxis Programında Analiz Edilmesi. Yüksek Lisans Tezi, 2007.
- [4] Emiroğlu, Atakan. İstanbul (4. Levent-Haciosman Arası) Metro Tünelindeki Mühendislik Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- [5] Kaya, Yusuf. Eklemlı Kayalarda NATM Tünellerin Yol Açtığı Yüzey Oturmalarının Sayısal Analizlerle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, 2021.
- [6] Rankine, W. (1988). Ground Movements Resulting from Urban Tunneling: Prediction and Effects. Proc. 23rd conf. Of the Eng. Group of the Geological Society (s. 79-92). London:Geological Society

Cam Sektöründe Müşteri Şikayetlerindeki Hammaddesel Hata Oranlarına Pareto ve FMEA Uygulaması

Tuğçe Özdemir^{1*}, İrem Düzdar Argun²

¹Düzce Üniversitesi, Düzce Cam Ar-Ge Mühendisi, tugceozdemir@duzcecam.com.tr

²Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, iremduzdar@duzce.edu.tr

Özet

Proses kontrol yöntemlerinden olan HTEA(FMEA) çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır. FMEA tekniği; sistem, tasarım, süreç ve servis konularında hataları ortaya çıkmadan tanımlamayı ve gidermeyi veya azından kullanıcıdaki etkisini ortadan kaldırmayı hedefleyen kendi konularında uzman, işletmenin farklı bölümlerinde ya da farklı projelerde görev alan çalışanlarının belirli kurallar dahilinde bir araya gelmeleri ve ekip çalışması bilinciyle yürütülen bir mühendislik tekniğidir.[11] Çalışmada kalite iyileştirme sürecinde Pareto analizi ile Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) tekniği incelenmiştir. Pareto Analizi, önemli ölçüde genel etki yaratan sınırlı sayıda görevin seçiminde kullanılan karar vermede istatistiksel bir tekniktir.[2] Cam hatalarının olmaması için kalıntı ve bağların giderilmesi yani eriyiğin homojen hale getirilmesi gerekir. Ayrıca şekillendirme bozukluklarından kaynaklanan hatalar da mevcuttur. Cam hataları ve hataların nerelerden kaynaklandığı üzerinde durulacaktır. Pratikte yapılan girişimler cam hataları ve hataların oluşumunu en aza indirmek içindir. Hataları önlemenin en iyi yolu prosesi takip etmek, hata oluşabilecek yerleri ve bölgeleri sürekli kontrol etmek gerekir. Bir kez cam hatasını nedenini bulabilmek için öncelikle hatayı tanımlamak gerekir, hataya yol açan yerleri tespit edebilmek için de uygun düzeltici önlemler alınmalıdır. Daha önce görülen ciddi hatalar ve çözüm yolları gelecekte çıkabilecek sorunların hızla giderilebilmesi için kayıt altına alınması ve muhafaza edilmesi gerekir. Çalışmanın uygulama kısmında Düzce Cam San. ve Tic. A.Ş. üretilen ve satılan camın müşteri şikayet formuna göre pareto analizi uygulanarak, FMEA ele alınıp, süreçleri incelenmiştir. Bir kez cam hatasını nedenini bulabilmek için öncelikle hatayı tanımlamak gerekir, hataya yol açan yerleri tespit edebilmek için de uygun düzeltici önlemler alınmalıdır. Daha önce görülen ciddi hatalar ve çözüm yolları gelecekte çıkabilecek sorunların hızla giderilebilmesi için kayıt altına alınması ve muhafaza edilmesi gerekir. Cam üretim sürecinde karşılaşılan hatalar FMEA tekniğine göre analiz edilmiştir. Analiz sonucunda, tekniğin firmanın kalite fonksiyonlarını iyileştirme konusunda başarı sağladığı gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: HTEA, FMEA, Kalite İyileştirme, Pareto, Cam

Pareto and FMEA Application to Raw Material Defect Rates in Customer Complaints in the Glass Industry

Abstract

HTEA(FMEA), which is one of the process control methods, is used in various sectors. FMEA technique; it is an engineering technique carried out with the awareness of teamwork and bringing together employees who are experts in their own subjects, working in different departments of the enterprise or in different projects, who aim to identify and eliminate errors in system, design, process and service issues without Deciphering them, or at least eliminate their impact on the user, within certain rules.[11] In the study, Pareto analysis and Error Type and Effects Analysis (FMEA) technique were examined in the quality improvement process. Pareto Analysis is a statistical technique for decision-making used in the selection of a limited number of tasks that have a significant overall impact.[2] In order to avoid glass errors, residues and bonds must be removed, that is, the melt must be made homogeneous. There are also errors caused by shaping disorders. It will focus on glass errors and where the errors are caused from. The attempts made in practice are to minimize the occurrence of glass errors and errors. The best way to prevent errors is to follow the process, it is necessary to constantly check the places and regions where errors may occur. Once it is necessary to identify the fault first in order to find the cause of the glass fault, appropriate corrective measures should be taken in order to identify the places that lead to the fault. Serious errors and solutions that have been seen before should be recorded and maintained in order to quickly fix problems that may arise in the future. In the application part of the study, Düzce Cam San. and tic. A.Sh. by applying pareto analysis according to the customer complaint form of the glass produced and sold, FMEA was handled and its processes were examined. Once it is necessary to identify the fault first in order to find the cause of the glass fault, appropriate corrective measures should be taken in order to identify the places that lead to the fault. Serious errors and solutions that have been seen before should be recorded and maintained in order to quickly fix problems that may arise in the future. The errors encountered in the glass production process were analyzed according to the FMEA technique. As a result of the analysis, it has been shown that the technique provides success in improving the quality functions of the company.

Keywords: HTEA; FMEA; Quality Improvement; Pareto; Glass.

1. Giriş

Dünyada ve ülkemizde sanayileşme ile birlikte cam üretimine verilen önem artmış, bu kapsamda sürekli iyileştirilmesi için ayrı bir standartlar oluşturulmuştur. Bu standartların yönetim sisteminin en önemli ayağı risklerin belirlenmesidir [1]. Cam sanayinde müşteri odaklılık her firmanın önceliğidir. Bu durum müşterilerin istedikleri mal ya da hizmeti tam zamanında ve tam miktarında müşterilerin istediği yerde onlara sunabilmek ile mümkündür. Burada en önemli rollerden birini oynayan kalite yönetiminin sorunsuz bir biçimde işlemesi gerekmektedir. Kalite süreçlerinin aksamalara neden olabilecek durumları ve engelleri önceden görebilmek ve önlem alabilmek, müşterilere kaliteli olarak mal ve hizmet akışında artık olmazsa olmazdır. Risk analizinin birçok yöntemi vardır [1,7]. Hata Türü ve Etkileri Analizi’de (HTEA-FMEA Failure Mode and Effect Analysis) sistemdeki hataların, tehlikelerin kazaya sebebiyet vermeden tespit edilmesini ve en öncelikli olandan başlayıp iyileştirilmesini sağlayan bir metottur, ayrıca diğer risk analizlerinden farklı olarak kazaların önceden farkedilebilirliğinin (saptanabilirliğinin) de bulunmasıdır. Örnek uygulamayla işletmede iş kazası ve meslek hastalığı oluşturabilecek riskler değerlendirilip, bunların engellenmesine yönelik iyileştirme önerilerinde bulunulmuştur [3]. Bu aşamada hata önleme analizlerinin en bilineni olan FMEA ile olası sorunların önceliğinin tespiti ve oluşmadan engellenmesi ile proaktif bir yaklaşım sergilenebilmektedir. Firma geneline bakıldığında üretim süreci, sistem ve servis alanlarında kullanımı ile çeşitlere ayrılmaktadır. Uygulamasının kolay olması ve tüm sektörler için kullanılabilir özellikte olması HTEA tekniğini, diğer tekniklerden daha avantajlı hale

getirmektedir. Bu çalışmada HTEA tekniği cam sektöründe kullanılmıştır. Öncelikle müşteri geri bildirim formları incelenerek şikayetler belirlenerek, kaliteler incelenmiştir. Eş Zamanlı Mühendislik teknikleri kullanılarak pareto analizi ile hataların etkileri için sonuçların %80'inin, nedenlerin %20'sinden kaynaklanmasıyla oluşan grafiler üzerinde FMEA uygulamasına gidilmiştir [4,5]. Hata Türü ve Etkileri Analizi Tekniği Detaylı olarak anlatılmıştır. Sonrasında cam üretimi yapan bir fabrikada üretim süreci için Süreç FMEA uygulanmış ve sonuçları değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Pareto Analizi

Pareto Analizi, alışılmış temel ayırım metodu veya önceliklerin belirlenmesi olarak kullanılmaktadır. Bu teknik, bir olayın grafik yardımıyla gösterilmesi ve karşılaşılan problemin veya konunun en önemli sebebi üzerinde dikkati yoğunlaştırdığından ve önceliklerin belirlenmesine yardımcı olduğundan hemen her alanda kullanılabilir niteliktedir. Özellikle kalite kontrol ve kalite geliştirme programlarında problemin sebepleri tespit edilirken, hangi hataların daha büyük bir yüzdeye sahip olduğu bu teknik vasıtasıyla kolayca tespit edilebilmektedir. Pareto analizi, hata çeşitlerine değer biçmek veya tanımlamak için kullanılır. Üretim sürecinin sonunda ortaya çıkan ürünler, bunların performansı ve barındırdıkları hatalar sınıflandırılabilir ve ayrılabilirler. Pareto analizi, bu ayırımın yapılması ve üründeki sorunların üretimdeki hatalara göre sınıflandırılması işlemidir [4,6]. Pareto analizi yapılırken hatalar büyükten küçüğe doğru sınıflandırılır ve bu sınıflandırma Pareto diyagramı üzerinde gösterilir. Bu diyagramdan yola çıkılarak çözümler öne sürülür ve önemlerine göre sıralanabilir.

Pareto Analizinin Faydaları Pareto Analizinin faydaları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Problem üzerinde en yüksek önem derecesine sahip faktörün belirlenmesi
- Problemleri listelemek, sebeplerini sıralamak ve her biri için oluşan hata sayılarını saptamak
- Önem sırasına göre tablo oluşturmak
- Listedeki toplam hata sayısını belirlemek
- Her bir problemin gösterdiği % oranlarını hesaplamak
- Herhangi bir takım çalışmasında ortak bir karar almak ya da bir yolda birleşmek.

Görüldüğü gibi Pareto Analizi ile birlikte problemlerin önem dereceleri, hataların gerçekleşme sayıları ve sebepleri net bir şekilde belirlenir. Bu sayede iyileştirmelerin öncelikle hangi alanlara uygulanacağı belirlenir ve çalışmalar yürütülür [5,8].

2.2. Hata Türü Etkileri Analizi (FMEA):

Klasik risk analizden farklı olarak olasılık ve ağırlık faktörünün yanında saptanabilirlik çarpanının eklenmesi önemli bir farkıdır. FMEA riskleri tahmin ederek hataları önlemeye yönelik güçlü bir analiz tekniğidir. Hatanın ortaya çıkması ile doğacak problemin müşteri gibi algılanması ilkesine dayanmaktadır [9]. FMEA çalışmasında belirlenen bütün hatalar için olasılık, ağırlık ve saptanabilirlik tahmini yapılmaktadır. FMEA yüzlerce hata türünün tamamına iyileştirme yapılması yerine sistemin bütünü üzerinde en büyük katkıyı sağlayacak olan hata türlerini öncelikli olarak ele alarak çözümler üretir. FMEA ilk kez Amerikan ordusu tarafından geliştirilmiş ve kullanılmaya başlanmıştır (9/11/1949 MIL-P- 1629 nolu

prosedür) [12]. Sistem ve donanım hatalarının ve bunların etkilerinin belirlenmesi için bir değerlendirme tekniği olarak kullanılmıştır. Daha sonraları FMEA, 1960-1965 yılları arasında NASA tarafından ay seyahati programlarında da kullanılmıştır. Uzun bir süre gizli tutulan teknik 1970-1975 yılları arasında ABD uçak sanayinde, 1972 yılında Ford Motor şirketi bünyesinde, 1975 yılında bilgisayar üretiminde ve Japon NEC firmasında ilk endüstriyel uygulamalarında yerini almıştır. 1988 yılında Amerika'nın üç büyük otomotiv şirketi olan Chrysler, Ford ve General Motors tarafından kabul edilerek genel standart olarak benimsenmiştir [15]. Günümüzde FMEA; QS 9000, ISO/TS 16949, ISO 9001:2000 ve diğer kalite yönetim sistemlerinde bir zorunluluk haline gelmiştir [15]. FMEA'nın yaygın olarak kullanılabilen dört çeşidi mevcuttur.

Tasarım FMEA: Tasarım FMEA, ürün deneme safhasından önce tasarım esnasında veya ürünün fizibilite çalışmaları esnasında karmaşık ürünlerdeki ana riskli bölgeleri bulup ortaya çıkarmak için yapılan FMEA çalışmasıdır.

Proses FMEA: Üretim ve montaj işlemlerini analiz etmek için kullanılır. Üretim ve montaj işlemlerinde aksaklıklara yol açan hata türleri üzerine odaklanır.

Sistem FMEA: Bütün donanımların ve tasarımın tamamlanmasının sonrasında üretim, kalite güvence gibi sistemlerin akışını en elverişli hale getirmek için kullanılan bir yöntemdir. Sistem FMEA sistemde bozukluklara neden olan potansiyel hata türlerine odaklanır.

Hizmet FMEA: Müşteri hizmetlerini geliştirmek amacıyla üretim, kalite güvence ve pazarlama koordinasyonu ile uygulanan bir yöntemdir [16].

2.2.1. FMEA'nın Öğeleri

FMEA çalışmasında olası hatalar belirlenir, bunların yapabileceği etkiler hesaplanır ve bunların öncelikleri ve de farkedilebilirlikleri (saptanabilirlikleri) belirlenir. Tüm bunlar belirli bir sistem ve formül çerçevesinde ele alınır. Hata önceliklerini belirlemede üç ana faktör vardır [14]:

- Ortaya çıkma, (Olasılık) (O)
- Ağırlık, (Şiddet) (A)
- Saptama (Farkedilebilirlik-Saptanabilirlik) (S)

Ortaya Çıkma, hatanın sıklığını; Ağırlık, hatanın ciddiyetini (etkisini); Saptama, zarar meydana getiren durumun keşfedilmesindeki zorluk derecesidir. Hatayı ürün müşteriye ulaşmadan tespit etme yeteneğini gösterir [10,13]. Bu bileşenlerin değerlerini belirlemede pek çok yöntem vardır. Alışılmış yöntem, nümerik skalaların (risk ölçüt tablosunun) kullanılmasıdır. Risk Öncelik Sayısı (RÖS), kritiklik sayısı göstergesidir. RÖS her bir hata türü veya nedeni için ortaya çıkma olasılığı, ağırlık ve saptama gibi üç risk faktörü esas alınarak belirlenen sayısal değerdir. RÖS değerinin hesaplanmasında, sözel veya olasılık olarak tanımlanan risk faktörlerinin belirli bir sayı aralığında atanan değerleri alınır. RÖS ile her bir hata türü için riskler tanımlandığından en büyük RÖS'e sahip olandan başlayarak kısa dönemde en aza indirilmesi, uzun dönemde ortadan kaldırılması, için alınacak düzeltici önlemler belirlenir [19]. FMEA için RÖS; Olasılık (O), Ağırlık (A) ve Saptama (S) değerlerinin çarpılması ile bulunur [8,13].

3. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada kalite iyileştirme sürecinde Pareto analizi ile Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) tekniği incelenmiştir. Böylelikle FMEA kapsamı olarak cam imalatının tamamı belirlenmiştir. Cam üretiminde birçok firma ile rekabet etmek zorunda olan firma, ürettiği ürünlerde yakalayacağı kalite ve üretim verimliliği ile rekabet gücünü arttırmayı hedeflemektedir. Pareto yönetimi ile genel hatalar üzerinde fırın hatalarının oranlar belirlenerek çalışmalar sonucunda 4 adet kısıt belirlenmiştir. Bu 4 adet kısıta FMEA uygulaması yapılarak RÖS değeri hesaplanmıştır. Bu RÖS değerlerini düşürmek için işletmede iyileştirmeler yapılmıştır. Böylelikle yaptığımız iyileştirmeler sonucunda son 6 aydan sonraki ay değerlendirmeler incelenmiş olup hataların gelme oranları ve müşteri şikayetleri dikkate alınmıştır. Kesim bölüm sorumlusu ve kalite güvence sorumlusunun çıktıklarına göre şikayetlerin ve hataların yaklaşık olarak %20.3 azaldığı gözlenmiştir. Son 3 ayda alınan verilere ve çıkan sonuçlara göre daha sonraki 3 ay içerisinde tekrardan RÖS hesaplaması yapılacaktır.

Kaynaklar

- [1] Balantekin, Y., Bilgin A. (2017). ARCS motivasyon modelinin öğrencilerin motivasyonlarına, tutumlarına ve akademik başarılarına etkisi. *İlköğretim Online*, 16(1), 161-177.
- [2] Baştürk, S. (2014). Ölçme araçlarının taşınması gereken nitelikler. S. Baştürk (Ed.), *Eğitimde Ölçme ve Değerlendirme* (sf. 21-54). Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- [3] Büyüköztürk, Ş., Demirel, F., Erkan Akgün, Ö., Karadeniz, Ş. & Kılıç Çakmak, E. (2012). Örneklem yöntemleri. Büyüköztürk, Ş. (Ed.), *Bilimsel araştırma yöntemleri* (s. 79-100). Ankara: Pegem Akademi Yayınları.
- [4] Craft, R., Leake, C. (2002). The Pareto principle in organizational decision making. *Management Decision*. 40(8),729-733.
- [5] Crawford, W. (2001). Exceptional institutions: libraries and the Pareto principle. *American Libraries*, 32(6), 72-74.
- [6] Eldeliklioğlu, J. (2008). Ergenlerin zaman yönetimi becerilerinin kaygı, yaş ve cinsiyet değişkenleri açısından incelenmesi. *İlköğretim Online*, 7(3), 656-663.
- [7] Erbaş, A., Kolak, F. (2015). Toplam kalite yönetiminin muhasebe eğitimine uygulanması. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (23).
- [8] Akın B., Vedat, E., Çetin, C., *Toplam Kalite Yönetimi ve ISO 9000 Kalite Güvence Sistemi*, 342s. Beta Basım Yayım Dağıtım AŞ., İstanbul, 1998.
- [9] Scipioni, A., Saccarola, G., Centazzo, A., Arena F. FMEA methodology design, implementation and integration with HACCP system in a food company, *Food Control*, 13: 495–501, 2002.
- [10] Pillay, A., Wang, J., *Modified Failure Mode and Effects Analysis Using Approximate Reasoning*, *Reliability Engineering and System Safety*, Cilt 79, 69-85, 2003.
- [11] Stamatis, D. H., *Failure mode and effects analysis – FMEA from theory to execution*, ASQC Quality Pres, Wisconsin, 28-34, 2003.
- [12] Duran A., Bina doğal gaz iç tesisatı imalatı için hata türü ve etkileri analizi, Yüksek Lisans tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006. Kahraman Ö., Demirer A. *Teknolojik Araştırmalar: MTED 2010* (7) 53-68 67
- [13] Algin A. Hata türü ve etkileri analizi ve bir uygulama, Yüksek Lisans tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.

- [14] Taşan K., Bir güvenilirlik ve risk değerlendirme metodu olarak hata türü ve etkileri analizi (HTEA) yöntemi: Bir otomotiv yan sanayi işletmesinde uygulanması, Y.Lis.tezi, Dokuz Eylül Üni. SB Ens., 2006.
- [15] Aran G., Kalite iyileştirme sürecinde hata türü etkileri analizi (FMEA) ve bir uygulama, Yüksek Lisans tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2006.
- [16] Durhan D., Hata Türü Etkileri Analizi (FMEA) ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-140, 2006.

Çocuklarda İklim Değişikliği Farkındalığı Oluşturmak İçin Unity AR ile Geri Dönüşüm Temalı Oyun Geliştirme

¹Erman Yükselgün, ⁴Emre Atlıer Olca

¹Maltepe Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, ermanyukselgun@gmail.com

²Maltepe Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, emreolca@maltepe.edu.tr

Özet

İklim değişikliği, dünyamızın karşı karşıya olduğu en büyük sorunlardan biridir ve bugün çevremizdeki pek çok sorunun temel nedeni olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sorun, tüm dünya genelinde küresel bir tehdit haline gelmiştir. Bu tehdide karşı mücadele etmek için, toplumun her kesiminde iklim değişikliği konusunda farkındalık yaratmak gerekmektedir. Ancak, özellikle çocukların bu konuda farkındalık kazanması son derece önemlidir. Çünkü, bugün çocuklar gelecekteki toplumun yetişkin bireyleri olacaklar ve bugünden itibaren bu konuda bilinçlendirilerek yetiştirilmeleri, gelecekte daha sürdürülebilir bir dünya için atılan en önemli adımlardan biridir. Bu noktada, teknolojinin eğitimde kullanılması da son derece önemlidir. Günümüzde, çocukların öğrenme süreçleri artık sadece sınıf ortamında gerçekleşmiyor. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte, öğrenme sürecinde oyunlar ve dijital materyaller gibi pek çok farklı araç kullanılmaktadır. Bu nedenle, teknoloji kullanarak çocukların iklim değişikliği ve geri dönüşüm konularında farkındalıklarını artırmak, eğitim alanındaki yenilikçi yaklaşımlar arasında yer almaktadır. Bu çalışma, çocukların iklim değişikliği farkındalığını artırmak ve geri dönüşüm kültürünü benimsemelerini sağlamak amacıyla Unity teknolojisi kullanılarak bir oyun projesini ele almaktadır. Oyun, geri dönüşüm konusunu eğlenceli bir şekilde öğrenmek isteyen çocuklar için tasarlanmıştır. Oyun, kullanıcıların geri dönüştürülebilir atıkları doğru bir şekilde sınıflandırmasını ve atık yönetimi yapmasını öğretir. Ayrıca, iklim değişikliği ile ilgili temel bilgileri de içermektedir. Çalışmanın sonuçları, oyunun çocukların iklim değişikliği farkındalığını artırmak ve geri dönüşüm kültürünü benimsemelerine yardımcı olduğunu göstermektedir. Bu çalışma, Unity AR teknolojisi kullanarak eğitim alanında yeni bir yöntem sunmaktadır. İklim değişikliği farkındalığı konusunda oyunlar geliştirilmesi, çocukların konuyu daha iyi anlamalarını sağlayabilir ve gelecekte daha sürdürülebilir bir dünya için atılan adımlara yardımcı olabilir. Ancak, oyunların etkililiğini artırılması için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

Anahtar kelimeler: Oyunlaştırma; Sürdürülebilir Enerji; Geri Dönüşüm; Unity; Artırılmış gerçeklik;

Developing a Recycling Themed Game with Unity AR to Raise Climate Change Awareness in Children

Abstract

This study focuses on developing a game using Unity AR technology to raise awareness among children about climate change and promote a culture of recycling. The game is designed to be an engaging and

educational experience for children who want to learn about recycling in a fun way. The game teaches users how to correctly sort recyclable waste and manage waste disposal in an environmentally-friendly manner. It also provides basic information about climate change. The results of this study demonstrate that the game is an effective tool for increasing children's awareness of climate change and promoting a culture of recycling. This study introduces a new method of education using Unity AR technology. itself.

Keywords: Gamification; Sustainable Energy; Climate Change Threat; Recycling; Unity **1. Giriş**

1.1. Problem

İklim değişikliği, gezegen için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Hava kirliliği, kaynak tükenmesi, su azalması ve iklim değişkenliği gibi faktörler, çevremize zararlı etkileri beraberinde getirmektedir. Bu durumun farkında olmak ve harekete geçmek, acil bir önem taşımaktadır. Bu bağlamda, çocuklar sürdürülebilirlik ve çevresel konuların önemini anlamaları gereken önemli bir kitledir. Ancak, çocukların iklim değişikliği hakkında yeterli bilgiye sahip olmadığı ve doğru davranışları benimsemediği görülmektedir. Dolayısıyla, çocuklarda çevresel sorunlar hakkında daha fazla farkındalık yaratmak ve eğitimlerini geliştirmek büyük bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır.

1.2. Amaç

Bu çalışmanın amacı, Unity artırılmış gerçeklik (AR) oyununu kullanarak çocukların iklim değişikliği farkındalığını ve geri dönüşüm kültürünü artırmaktır. Çocuklara doğru geri dönüşüm kültürü hakkında bilgi edinmeleri sağlanacak ve iklim değişikliği konusunda farkındalık oluşturulacaktır. Aynı zamanda, eğlenceli bir deneyim sunarak çocuklara öğrenme sürecinde keyifli bir yol sunmayı hedeflemekteyiz. Bu çalışma, yeni bir eğitim yöntemi sunma potansiyeline sahip olup, çocukların sürdürülebilirlik konusundaki bilgi ve farkındalık düzeylerini artırmayı hedeflemektedir.

1.3. Önem

İklim değişikliği, dünyanın karşı karşıya olduğu büyük bir sorundur ve çevresel sürdürülebilirlik için ciddi tedbirler alınması gerekmektedir. Bu noktada, çocukların iklim değişikliği ve geri dönüşüm konularında farkındalık kazanmaları büyük önem taşımaktadır. Teknolojinin eğitimde kullanılması da ayrıca önemlidir çünkü çocuklar için çekici bir öğrenme ortamı yaratılması, öğrenme sürecine katılımlarını artırabilir. Unity AR oyunu, yenilikçi bir yaklaşım sunarak çocukların iklim değişikliği konusundaki farkındalığını ve geri dönüşüm kültürünü artırma potansiyeline sahiptir.

1.4. Varsayımlar

Bu çalışmada bazı varsayımlar temel alınmıştır. Birincisi, çocukların Unity AR oyununu kullanarak öğrenmeyi tercih edecekleri varsayılmaktadır. İkinci olarak, Unity AR oyununun çocukların iklim değişikliği ve geri dönüşüm konusundaki farkındalığını artıracığı düşünülmektedir. Üçüncü olarak, kullanılan öğrenme yöntemi, bilginin kalıcılığını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu nedenle, Unity AR oyunu, çocukların bilgi ve farkındalık düzeylerini artırmada etkili bir araç olarak kabul edilmektedir. Son olarak, bu çalışmanın sonuçları, yeni yaklaşımların geliştirilmesine ve daha geniş kitlelere uyarlanmasına katkı sağlayabilir.

1.5. Sınırlıklar

Bu çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Öncelikle, örneklem sınırlaması yapılmış olup, çalışmaya sadece İstanbul'daki birkaç ilkokul öğrencisi dahil edilmiştir. Bu nedenle, sonuçların genellemesi konusunda dikkatli olunmalıdır. İkinci olarak, araştırmacının teknik bilgi ve becerileri, Unity AR oyununun sınırlarını belirleyebilir. Üçüncü olarak, oyunun geliştirilmesi ve test edilmesi için sınırlı bir süre mevcuttu, bu da projenin kapsamını etkileyebilir. Son olarak, çocukların davranışsal etkileri ölçülemediği; bu nedenle, oyunun çocukların gerçek hayattaki davranışlarını nasıl etkilediği tam olarak değerlendirilememiştir.

2. Genel Bilgiler

2.1. İklim Değişikliği ve Çocuklar

İklim değişikliği son yıllarda dünyanın önde gelen sorunlarından biri haline gelmiştir. Küresel ısınma, deniz seviyesinde yükselme, su kaynaklarının azalması ve artan hava kirliliği, dünya genelinde birçok insanın yaşamını etkilemektedir. İklim değişikliğinin en olumsuz etkileri çocuklar üzerinde görülmektedir.

Çocukların sağlığı, eğitimi ve refahı, iklim değişikliğinin etkileri nedeniyle tehlikeye girmiştir.

2.2. Oyunun Çocuk Gelişimindeki Rolü

Oyun, çocukların zihinsel, motor, sosyal ve duygusal gelişiminde önemli bir rol oynar. Oyun, çocukların hayal gücünü kullanmalarına, düşünme becerilerini geliştirmelerine, iletişim kurmalarına ve sosyal becerilerini geliştirmelerine yardımcı olur. Ayrıca, oyun, çocukların özgüvenlerini artırır ve duygusal açıdan dengelemelerine yardımcı olur (Uskan & Bozku, 2019).

2.3. Teknolojinin Çocuk Gelişimine Etkisi

Teknoloji, günümüzde çocukların hayatının bir parçası haline gelmiştir. Dijital oyunlar, tabletler, akıllı telefonlar ve diğer teknolojik cihazlar, çocukların oyun oynama şeklini değiştirmiştir. Teknolojinin çocuk gelişimine etkisi hem olumlu hem de olumsuz yönde olabilir. Örneğin, teknoloji sayesinde çocuklar daha interaktif oyunlar oynayabilirler ve öğrenme süreçlerini hızlandırabilirler. Ancak aşırı teknoloji kullanımı, çocukların sosyal ve duygusal gelişimini olumsuz etkileyebilir (Sayan, 2015).

2.4. Oyun ve İklim Değişikliği Farkındalığı

Son yıllarda, oyunların eğitim ve bilinçlendirme amaçları için kullanılması yaygın hale gelmiştir. İklim değişikliği farkındalığının artması için oyunların kullanılması, çocukların bu konuda bilinçlenmesine ve çevresel sorunlara karşı duyarlı hale gelmelerine yardımcı olabilir. Bu tür oyunlar, çocukların sadece bu konuda bilgi sahibi olmasını sağlamakla kalmaz, aynı zamanda bu bilgilerin uygulanmasını teşvik eder ve bu konuda bir davranış değişikliği yaratır (Duran, 2023).

3. Yöntem

3.1. Kullanılan Teknolojiler

3.1.1. Oyun Motoru Teknolojisi – UNITY

Geliştirme sürecinde kullanılan oyun motoru Unity'dir. Unity, oyun geliştirme işlemlerini kolaylaştıran ve hızlandıran bir oyun motorudur. Oyun mekaniği, görsel efektler ve kullanıcı arayüzü tasarımı gibi konularda daha fazla odaklanmayı sağlar. Ayrıca, istenilen platforma veya işletim sistemine yönelik build alabilme özelliği bulunur.

3.1.2. AR Teknolojisi

Geliştirme sürecinde kullanılan bir diğer teknoloji Arttırılmış Gerçeklik (AR) teknolojisidir. AR teknolojisi, gerçek dünya ile sanal dünyayı birleştirerek oyunları daha ilgi çekici ve etkileşimli hale getirir.

3.2. Uygulanan Metodoloji

Geliştirme sürecinde kullanılan metodoloji Agile metodolojisidir. Bu metodoloji esnek ve hızlı bir geliştirme sürecini mümkün kılar. Değişen ihtiyaçlara hızlı bir şekilde cevap verebilme ve prototipler hızlı üretebilme avantajına sahiptir. Aynı zamanda, sıkı iş birliği ve iletişim ile takım içi işbirliğini destekler.

3.3. Diğer Kullanılan Teknolojiler

Geliştirme sürecinde ayrıca şu teknolojiler kullanılmıştır:

- C# programlama dili
- Visual Studio kod editörü
- Photoshop grafik tasarım programı
- Blender 3D modelleme programı

4. Sonuç ve Öneriler

İklim değişikliği farkındalığı yaratma ve geri dönüşüm bilincini artırma amacıyla geliştirilen oyun, okul öncesi ve ilköğretim çağındaki çocuklarda etkili bir yöntem olarak görülmüştür. Bu nedenle, geri dönüşüm konusunda farkındalık yaratmak ve alışkanlık haline getirmek için oyunlar geliştirilmesi önerilir. Araştırmanın sınırlılıkları ise hedef kitle sınırlaması ve materyallerin farklılık gösterebileceği coğrafi bölgelerdir. Gelecekteki araştırmalar, farklı yaş grupları ve coğrafi bölgeler üzerinde odaklanabilir ve farklı oyun türleri incelenebilir. Bu şekilde geri dönüşüm farkındalığını artırmak için yeni fikirler sunulabilir. Sonuç olarak, iklim değişikliği farkındalığına yönelik oyunlar çocukların konuyu daha iyi anlamalarına ve sürdürülebilir bir dünya için adımlar atmalarına yardımcı olabilir. Ancak, oyunların etkililiğini artırmak için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

Kaynaklar

- [1] Duran, M. (2023). Erken Çocukluk Eğitiminde İklim Değişikliği. Iğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, (32), 100-114.
- [2] Güven, B. (2017). “Bana Oyunla Öğret”: Okul Öncesi Eğitimde Oyun ve Beden Eğitimi. Başkent Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi-BÜSBİD, 2(1).
- [3] Koçyiğit, S., Tuğluk, M. N., & Mehmet, K. Ö. K. (2007). Çocuğun gelişim sürecinde eğitsel bir etkinlik olarak oyun. Atatürk Üniversitesi Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi Dergisi, (16), 324-342.
- [4] Yaşar, M. C., İnal, G., Kaya, Ü. Ü., & Uyanık, Ö. (2012). Çocuk gözüyle tabiat anaya geri dönüş. Eğitim ve Öğretim Araştırmaları Dergisi, 1(2), 30-40.
- [5] Çimen, O., & Yılmaz, M. (2012). İlköğretim öğrencilerinin geri dönüşümle ilgili bilgileri ve geri dönüşüm davranışları. Uludağ Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 25(1), 63-74.
- [6] Sayan, H. (2016). Okul öncesi eğitimde teknoloji kullanımı. 21. Yüzyılda Eğitim Ve Toplum Eğitim Bilimleri Ve Sosyal Araştırmalar Dergisi, 5(13).
- [7] <https://unity.com/>

Süt Sığırlarının Takibi İçin Geliştirilen Haytek Hayvan Kimliklendirme ve Sağım Takip Mobil Uygulamasının Arayüzünün Geliştirilmesi

¹Buğra Didin

¹Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, bugra80322@gmail.com

Özet

Hayvancılık sektöründe; çiftlikler içerisindeki düzenin sağlanabilmesi, denetimlerin yapılabilmesi, hayvancının çiftliği hakkında detaylı bilgilere erişebilmesi ve maliyet muhasebesini yapabilmesi amacıyla gereken verilere ulaşabilmek büyük önem arz etmektedir. Bunlara ek olarak çiftlik içerisinde hayvanların kimliklendirme işlemlerinin yapılması, hayvanların; kilo, yaş, süt sağım iletkenliği, adım sayısı, sağım süresi, sağım sürecinde kullanılan yem türü ve elde edilen süt miktarı (günlük, haftalık, aylık) verilerinin hem bireysel ölçekte hem de sürü ölçeğinde ulaşılabilir olması büyük önem taşımaktadır. İlgili verilerin kaydedilmesi ve yönetimi aşamasında, geleneksel hayvancılıkta yer alan ve olağan malzemelerle birlikte kayıt ve takip işlemleri, bakım ve teftiş yöntemleri yetersiz kalmaktadır. Bu dönemde geleneksel hayvancılıktaki süregelen yöntemlerin kullanımı ve teknolojinin birleştirilmesi ile çiftlik yönetiminde ve hayvancılıkta yerleşik bilgisayar bilgi sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde ilerleyen süreçte yerleşik bilgisayar bilgi sistemlerinin kullanılıyor olmasına rağmen teknolojinin sürekli gelişiyor olması sebebiyle bu sistemler de yetersiz kalmaktadır. Sürekli hareket halinde olan hayvancının bu bilgilere sadece sabit bilgisayar sistemleri yerine çeşitli platformlardan da ulaşabiliyor olması ayrıca önem taşımaktadır. Bu amaca yönelik hayvancının çiftlik yönetim sistemini sadece sabit bilgisayar ortamı haricinde, her zaman yakınında ve erişilebilirliği yüksek bir platform olan mobil uygulama üzerinden de kullanabilmesi etkin rol taşımaktadır. Projenin ana amacı olan çiftliğin denetlenmesi, kolay erişilebilirlik ve kullanım "Dart" programlama dili ve "Flutter" yazılım geliştirme kiti kullanılarak geliştirilen mobil uygulama ile sağlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Süt Sığırları; Hayvan Kimliklendirme; Sağım Takibi; Mobil Uygulama; Flutter

Developing The Interface of Haytek Animal Identification and Milking Tracking Mobile Usage Developed For The Tracking Of Dairy Cattle

Abstract

In the livestock sector; It is of great importance to be able to reach the necessary data in order to ensure order in the farms, to carry out inspections, to access detailed information about the livestock farm and to make cost accounting. In addition to these, identification of animals in the farm, animals; It is of great importance that data on weight, age, milking conductivity, number of steps, milking duration, type of feed used in the milking process and the amount of milk obtained (daily, weekly, monthly) are available both

at individual and herd scale. At the stage of recording and managing the relevant data, the recording and follow-up procedures, maintenance and inspection methods, together with the usual materials in traditional livestock are insufficient. In this process, with the use of the ongoing methods in traditional animal husbandry and the combination of technology, computer information systems have started to be used in farm management and animal husbandry. Although established computer information systems are used today, these systems are also insufficient due to the continuous development of technology. It is also important that the livestock owner, who is constantly on the move, can access this information from various platforms instead of only fixed computer systems. For this purpose, it plays an active role to use the farm management system of the livestock farmer not only in the fixed computer environment, but also through the mobile application, which is always nearby and is a highly accessible platform. Controlling the farm, easy accessibility and usage which is the main purpose of the Project, is provided by the mobile application developed using the "Dart" programming language and the "Flutter" software development kit.

Keywords: Dairy Cattle; Animal Identification; Milking Tracking; Mobile Application; Flutter

1. Giriş

Çiftlik, insanların bitki ve hayvanları yetiştirip yararlandıkları işletme. Günümüzde en yaygın çiftlik türleri hara (at çiftliği), aralık, balık çiftliği, sığır çiftliği, süt çiftliği, kürk çiftliği, keçi çiftliği, mandracılık, çiftlik hayvanları, domuz yetiştiriciliği, kümes hayvanları yetiştiriciliği, kuşçuluk çiftliği, koyun çiftliğidir. Çiftlikler, beslenme yeri, ranç, ekin tarlaları ve plantasyonlar, meralar, küçük çiftlikler ve hobi çiftlikleri, çiftlik avlusu, çiftlik evi ve tarımsal binaları da içerir (Wikipedia, 2012).

Artan nüfus ve yoğunlaşan kent merkezleri sebebiyle günümüz hayvancılık faaliyetleri geleneksel yöntemler ile idare edilemeyecek ölçüde genişlemiştir (Akın vd., 2020). Geleneksel yöntemlerin, resmi bilgi sistemlerinin çiftçiler tarafından yetersiz bir şekilde benimsenmesiyle ilgili şikayetler çok sayıda olmuştur. Son raporlar (Ohlmer vd., 1998), çoğu çiftçinin neredeyse hiç resmi karar destek sistemlerini kullanmadığı, bilgisayarlı planlama modellerini kullanmadığı ve finansal muhasebe tablolarını (yasanın gerektirdiği) iş analizi ve planlaması için bir veri tabanı olarak almadığı sonucuna varmıştır (Kuhlmann vd., 2001).

Günümüz dünyasında artan nüfus ve tüketim baskısı ile hayvancılık sektöründe, üretim yapıları ve ölçekleri itibariyle değişimler yaşanmaktadır. Bu değişimlerin başında gelişen teknolojiyle birlikte yoğun ekipman ve teknoloji kullanımı gelmektedir. İşletme ölçeklerinde yaşanan artış ve yoğun teknoloji kullanımı sonucu, sahada yüksek bütçeli yatırımların artış gösterdiği ve buna bağlı olarak sürdürülebilir üretimde birtakım sorunların yaşandığı görülmektedir. Yapılan bu yatırımlarda artan bütçeler ve üretim ölçekleri, başarılı çiftlik yönetiminin önemini de ortaya çıkarmaktadır. Hayvansal üretimde kullanılan teknoloji miktarının artması, üretim faktörleri içerisindeki emeği, bu işletmelerde geri plana düşürmemekte aksine emeğin niteliğini daha da önemli bir hale getirmektedir (Akın vd., 2020).

Çiftlikler, hayvancılık ve tarımcılık ile uğraşan vatandaşlar için oluşturulan özel yaşam, üretim ve deneyim alanlarıdır. Geleneksel hayvancılıkta kullanılan malzemelerle birlikte kayıt, takip, bakım ve teftiş yöntemleri de değişkenlik göstererek teknolojiyle gerçek bir entegrasyon yaşandı. Vücut sağlığının yanı sıra psikolojik faktörler, hayvan refahı, konforlu ve stressiz yaşam alanlarıyla birlikte verimde görülen artış, çiftlik yönetimlerinin de akıllı hale gelmesine yol açmıştır. Bu, mobil uygulamalar ve bilgisayarlar ile kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir (Anonim, 2021).

Çiftlik Yönetim Bilgi Sistemi (FMIS) çeşitli çiftlik işletmelerinin yönetimini desteklemek için geliştirilmiştir. Bir FMIS, temelde tarım sektörü için bir Yönetim Bilgi Sistemidir (MIS) (Watson vd., 2006).

Bir MIS, "iç operasyonlar ve dış istihbarat ile ilgili geçmiş, şimdiki ve öngörülen bilgileri sağlamaya yönelik bir organizasyonel yöntem" olarak tanımlanır. Bir Yönetim Bilgi Sistemi (YBS), bir organizasyonun planlama, kontrol ve operasyonel fonksiyonları hakkında zamanında bilgi sağlayarak karar vermeyi destekler (Watson vd., 2006). Aynı şekilde, bir FMIS, çiftlik işletmelerinde zamanında karar vermeyi destekler. Yıllar içinde tarım için YBS'ler, basit çiftlik veri kayıt sistemlerinden kapsamlı FMIS dönüşmüştür (Fountas vd., 2015).

Tarımda Çiftlik Yönetim Bilgi Sistemleri (FMIS), üretim yönetimini desteklemek için basit çiftlik kayıt tutmadan gelişmiş ve karmaşık sistemlere dönüşmüştür. Mevcut FMIS'nin amacı, üretim maliyetlerini azaltmak, tarımsal standartlara uymak ve yüksek ürün kalitesi ve güvenliğini sürdürmek için artan talepleri karşılamaktır (Wagner-Storch vd., 2003).

Sağım sistemleri, günlük sağım aktivitesini etkileyebilir. Sağım aktivitesinin izlenmesi, inek davranışının daha iyi anlaşılmasına, rutin faaliyetlerin programlanmasına ve verimli yönetim için tesislerin tasarımında potansiyel olarak iyileştirmelere yol açabilir (Wagner-Storch vd., 2003). Ayrıca sağım sonucu elde edilen sağım verileri kullanılarak üretim maliyet hesabı, ürün kalitesi ve bireysel olarak hayvanın takibi ve hayvanın sağım verilerinin görüntülenmesi sağlanabilmektedir (Busse vd., 2015).

Tarım hayvanlarında kalite kontrol ve refah yönetimi ihtiyacı nedeniyle hayvan tanımlama ve izlenebilirliğe olan talep sürekli artmaktadır. Ayrıca, çevredeki ve tarım ekonomisindeki bulaşıcı hastalıkların dramatik etkileri, hayvan sermayesinin iyi organize edilmiş izleme platformlarının önemini vurgulamıştır. Güvenlik ve kalite ile ilgili son yirmi yılda artan endişeler, tarım hayvanlarının kimliklendirilmesi ve izlenebilirliği için en son teknolojiye sahip elektronik araçların kullanımı için bir başka argüman oluşturmaktadır. Öte yandan teknolojik evrim, geleneksel izlenebilirlik ve tanımlama yöntemlerini çok aşan kapsamlı bir araç seti sağlamıştır. RFID teknolojilerinin yaygın olarak benimsenmesi ve standardizasyonda kaydedilen ilerleme, üzerinde hayvan sermayesinin doğru ve son derece gelişmiş yönetiminin gerçekleştirilebileceği teknolojik çerçeveyi sağlamak için RFID teknolojisinin kullanımını sağlamıştır (Voulodimos vd., 2010).

Kırsal ekonominin sorunlarını çözmek için kullanılan veya gerekli olan karmaşıklık ve büyük miktarda bilgi, hızlı karar verme ihtiyacıyla birleştiğinde, modern ve genellikle çok işlevli bilgi işlem birimlerinin (taşınabilir cihazlar bilgisayarlar) ve bireysel cihazların girişimiyle sonuçlanmıştır. Mobil uygulamalar aracılığıyla veri toplama, izleme ve değerlendirme, geleneksel bilgi toplama ve kullanma yöntemlerini hızlı ve etkileyici bir şekilde devralmaktadır. Daha iyi bağlanabilirliği kolaylaştırmak için gereken altyapının yanı sıra insan kapasitesinin oluşturulması da kritik öneme sahiptir. Akıllı çiftçiliğin mobil uygulamalardan daha iyi bir örneği yoktur. Hareket halindeki yetiştiriciler ve perakendeciler için kritik görevleri ihtiyaç duydukları yerde ve zamanda gerçekleştirmelerine olanak tanıyan bir "oyun değiştirici" haline gelmiştir (Pliakoura vd., 2021).

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Oluşturulan mobil uygulamanın geliştirme ve sunum aşamalarında, uygulama içerisinde yer alıp kullanılan veriler, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Çiftliği içerisinde yer alan "Manda" türündeki hayvanlara ait verilerdir. Veriler, çiftlik içerisindeki mandaların 30 günlük süt sağım kayıtlarını barındırmaktadır. Kayıtlar; ilgili hayvanın "ID" numarasını, türünü, yaşını, kilosunu, sağım sonucunda elde edilen süt miktarını (litre cinsinden), sağım sürecinde görevli olan kişi hakkındaki isim soyisim bilgilerini ve sağımın yapıldığı zaman bilgisini içermektedir. Örnek hayvan sağım kayıt tablosu Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Hayvan sağım kayıt tablosu örnek gösterim

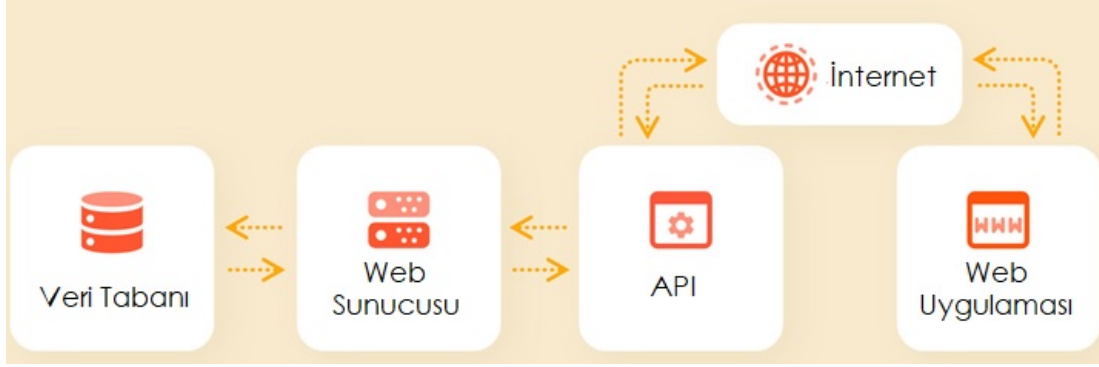
ID	Hayvan ID	Hayvanın Türü	Hayvanın Yaşı	Hayvan Yaşı	Yem Türü	Toplam Süt Litresi	Görevli Kişi	Sağım Tarihi
1	0001	Manda	2 Yaş	587 Kilo	Arpa	8 Litre	Buğra Didin	2022-11-18
2	0002	Manda	2 Yaş	574 Kilo	Yonca	6 Litre	Buğra Didin	2022-11-18

Flutter, Google'ın iOS ve Android için modern, yerel ve reaktif uygulamalar oluşturmaya yönelik taşınabilir kullanıcı arabirimi çerçevesidir. Açık kaynaklı ve ücretsizdir. Google tarafından geliştirilen ve desteklenen mobil geliştirme SDK'sı (Yazılım Geliştirme Kiti), Android ve iOS'un yanı sıra "Google Fuchsia" için uygulama oluşturmanın birincil yöntemini oluşturmaktadır (Gülcüoğlu vd., 2021). Google ayrıca Flutter masaüstü yerleştirme ve Web için Flutter (Hummingbird) ve gömülü (Raspberry Pi, ev, otomotiv ve daha fazlası) üzerinde çalışmaktadır. Flutter, yerel ARM kodunu ve üretime hazır JavaScript kodunu derleyen modern bir nesne yönelimli dil olan Dart'ı kullanır ve Flutter; "C", "C++", "Dart" ve "Skia Graphics Engine" ile oluşturulmuştur. Ayrıca Skia Graphics Engine, farklı türde donanım ve yazılım platformlarında ve farklı web tarayıcılarında (Google Chrome, Mozilla, Firefox ve diğerleri) çalışır (Napoli, 2019).

Uygulamalar, "Widget" adı verilen nesnelere geliştirilir. "Material Design" ve "Cupertino" nesnelere ile uygulamalar platformdan bağımsız olarak hem Android hem de IOS işletim sistemleri için aynı anda derlenebilmektedir (Kuzmin vd., 2021).

2.2. Metot

"API" veya "Uygulama Programlama Arabirimi", veri gönderim ve alım işlemleri için yazılım uygulamaları, sistemler veya platformlar arasındaki iletişimin gerçekleşmesine olanak tanır (Airfocus). API, veri talebini harici bir kaynağa ileten ve ardından kaynaktan gelen yanıtı kullanıcıya geri gönderen habercidir. API, yapılan işlem ile ilgili çevrimiçi verileri sunucusuna gönderir. Ardından sonucu, verileri alır ve yorumlar, gerekli etkinliğini tamamlar ve ardından sonucu uygulamaya döndürür. Uygulama, sonuç verilerini yorumlar ve cevabı anlaşılır bir yöntemle gösterilmesini sağlar (Turban vd., 2021). API kullanımı ile gerçekleştirilen veri alış-verişi Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. API kullanımı ile gerçekleştirilen veri alış-verişinin gösterimi

Bu sayede API, verilen hizmetlerin ve ürünlerin bir arabirim aracılığıyla farklı departmanların birbirleriyle iletişim kurmasına ve birbirlerinin verilerinden ve işlevlerinden yararlanmasına olanak tanımaktadır.

API kullanımı ile; bilgisayarlar tarafından yönetilen bir API kullanırken daha az insan çabası gerekmekte ve iş akışları daha hızlı ve daha üretken olacak şekilde kolayca güncellenebilmektedir. Ayrıca, yeni içerik ve bilgiler yayınlanabilmekte ve tüm kanallarda hızlı ve verimli bir şekilde paylaşılabilir. API'ler, geliştirme aşamasında yazılan kod içerisinde yinelenen süreçlerde yeniden kullanılarak geliştiricilerin daha üretken olmalarını sağlamaktadır (Airfocus). Uygulama içerisinde farklı şirketler tarafından sunulan hizmet API'leri de engetre edilerek uygulamanın ölçeği geliştirilmektedir.

Yapılandırılmış veri değişimi için tasarlanan JSON (JavaScript Object Notation), bütün programlama dilleri arasında kullanılabilen bir metin biçimidir (Wikipedia, 2011). JSON, bilgisayarların kolayca parçalayıp kullanabileceği ve insanlar tarafından okunabilir bir şekilde tasarlanmıştır (Nurseitov vd., 2009). JSON, genellikle bir istemci ile sunucu arasındaki veri değişimi için kullanılmaktadır ve ".json" uzantısına sahiptir. JSON kullanılarak veriler geçici olarak yapılandırılıp depolanabilmektedir (Anonim, 2021).

JSON, JavaScript nesne değerlerine dayalıdır. JSON, dosyası içerisinde temel veri yapıları ve nesnelere yer almaktadır (Bassett, 2015). Mobil sistemlerden sunucu sistemlere veri aktarım formatı olarak JSON kullanılmasının çeşitli avantajları vardır. Json, aynı işleve sahip olan XML (Extensible Markup Language) formatına göre ön plana çıkmaktadır. Bunun nedeni, JSON verilerinin XML verilerine göre daha hızlı işlenmesini sağlayacak olan başlık sistemidir. Aynı zamanda uygulama için gerekli olan verinin veritabanından alınarak işleme girmesi sırasında verinin kaybolması da JSON kullanımı ile engellenmektedir (Macit, 2018).

Geliştirilen mobil uygulama da çiftlik içerisinde yer alan hayvancıların ve veterinerlerin ihtiyaçları doğrultusunda, bu ihtiyaçlara çözüm olacak şekilde çeşitli modüller oluşturulmuştur. Bu modüller: Hayvanlar Modülü, Sağım Modülü, Enler Modülü, Sağılmayanlar Modülü, Çalışanlar Modülü ve Giriş Yapma modülleridir.

Hayvanlar Modülü, kullanıcının çiftliği içerisinde yer alan hayvanları ile ilgili genel bilgilere ulaşabileceği bir modüldür. Bu modül içerisinde çiftlik içerisindeki hayvanlar tek tek küpe numaralarına göre benzersiz bir şekilde listelenmiştir. Ayrıca listelenmiş hayvanlardan biri seçildiğinde seçili hayvan ile ilgili daha detaylı bilgileri içeren ayrı bir "Seçili Hayvan Detayları" sayfası açılmaktadır. Bu sayfa içerisinde seçili

hayvan ile ilgili genel bilgiler; hayvanın günlük, haftalık ve aylık süt sağım kayıtları; kullanıcının görsel etkinliğini arttıran çeşitli grafik ve ölçerler yer almaktadır.

Sağım Modülü, kullanıcının çiftliği içerisinde yer alan hayvanların sağım kayıtlarını görüntülediği modüldür. Bu modül içerisinde 3 ayrı bölüm yer almaktadır. 1.Bölüm; günlük olarak sağım yapılan hayvanlar özet bilgiler (süt miktarı, sağım tarihi, hayvan türü vb.) ve ayrıca verdikleri süt miktarlarına göre renklendirilerek (yeşil: normal süt miktarı, kırmızı: düşük süt miktarı) görüntülenmektedir. 2. Bölüm; yapılan sağım sonucunda, sağım yapılan hayvanların süt miktarları ile ilgili özet rapor (sağım yapılan hayvan sayısı, toplam süt miktarı vb.), grafik ve ölçerler oluşturulmaktadır. 3. Bölüm; kullanıcıların geçmiş sağım kayıtlarını (seçili spesifik bir gün veya belirli bir zaman aralığı kapsamında) görüntüleyebilmesi sağlanmaktadır.

Enler Modülü, kullanıcının çiftliği içerisinde yer alan hayvanların son 7 günlük zaman dilimi içerisinde yapmış oldukları sağım kayıtların (sağım sonucu verilen süt miktarı) incelenerek en verimli ve verimsiz hayvanın bilgilerine ulaşabilmektedir. Bu sayede yer alan hayvanlar ile ilgili durumların (hastalık, kızgınlık vb.) tespiti, veteriner veya hayvancı tarafından daha hızlı bir şekilde yapılabilmektedir.

Sağılmayanlar Modülü, kullanıcının çiftlik içerisinde yer alan hayvanlarından günlük olarak sağım gerçekleştirilmemiş olan hayvanlarını görüntülediği modüldür.

Çalışanlar Modülü, çiftlik içerisinde yer alan çalışanların ve bilgilerinin görüntülediği modüldür.

Giriş Yapma Modülü, kullanıcıların uygulamaya bilgileri (e-posta, şifre) ile giriş yaptıkları modüldür.

Synfusion Flutter Widget'ları, iOS, Android ve Web'de tek bir kod tabanı kullanarak zengin ve yüksek kaliteli çapraz platform uygulamaları oluşturmak için gereken bir dizi gelişmiş özel widget ve dosya formatı paketidir. Bu Widget'lar kullanılarak uygulama içerisindeki verilerin görselleştirilmesi (grafik, ölçer vb.) sağlanmaktadır (Synfusion, 2022).

HAYTEK Hayvan Kimliklendirme ve Sağım Takip mobil uygulamasının tasarımı aşamasında; BenimSürüm (BenimSürüm, 2023), Lely Farm (LelyFarm, 2023), DeLaval MyFarm (DeLaval MyFarm, 2023) ve GEA FarmView (FarmView, 2023) mobil uygulamalarının modülleri ve fonksiyonellikleri incelenerek uygulamanın tasarımında daha optimal ve kullanışlı bir arayüz tasarımı elde edilmiştir.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Mobil uygulama geliştirilirken, "Flutter", "Dart" teknolojileri ve "Visual Studio Code" program geliştirme ortamı kullanılmıştır. Ayrıca uygulama, "Android" işletim sistemine uygun bir şekilde geliştirilmiştir.

Mobil sistem kodlamasının geliştirilmesi Android 10 (Android Q) sürümüne sahip emülatör üzerinde yapılmıştır. Mobil sistemde geliştirilen kodlar Android 10 (Android Q) ait değişik emülatörlerde testleri başarı ile yapılmıştır.

3.1. Hayvanlar Modülü

3.1.1. Hayvanlar Modülü - Ana Sayfa

Hayvanlar – Ana sayfası içerisinde, çiftlik içerisinde yer alan hayvanların hepsi listelenmiştir ve ilgili hayvanın ismi / ID numarası (küpe numarası) ve hayvanın türü gösterilmektedir. Ana sayfa içerisindeki hayvanların verileri veritabanından, mobil uygulama içerisinde gönderilen istek sonucunda, "JSON" veri türünde ilgili "API" metodu kullanılarak elde edilmiştir. Sonraki süreçte elde edilen veriler, mobil uygulama arayüzü içerisinde kullanılmıştır.

3.1.2. Hayvanlar Modülü - Seçili Hayvan Sayfası

Hayvanlar – Ana sayfası içerisinde liste halinde yer alan hayvanlardan istenilen bir hayvana tıklanıldığında seçilen spesifik hayvan ile ilgili detayların gösterildiği bölümdür. Seçilen spesifik hayvanın verilerinin; uygulama içerisinde ilgili "API" metoduna, hayvanın "ID" numarasının gönderilmesi ve gönderilen istek sonucunda günlük sağım kayıtları "JSON" veri türü şeklinde verilerin veritabanından elde edilmesi ile sağlanmıştır. Elde edilen veriler, mobil uygulama arayüzü içerisinde kullanılmıştır. Bu bölüm içerisinde hayvanın kilo, yaş, takibe alma/çıkarma bilgileri ve özellikleri yer almaktadır. Ayrıca kendi içerisinde iki ana bölüme ayrılan özellikler de bulunmaktadır. Sağım bölümünde; ilgili hayvanın günlük, haftalık ve aylık olacak şekilde sağım verileri yer almaktadır. Sağım verileri; seçilen hayvanın "ID" numarası ilgili "API" metodlarına gönderilerek 3 farklı sektör (günlük, haftalık ve aylık) isteği için ayrı olarak "JSON" veri türündeki verilerin veri tabanından elde edilmesi ile sağlanmıştır. Bu veriler, kullanıcıya kullanım kolaylığı sağlaması ve etkinliği arttırmak amacıyla grafik ve ölçer kullanılarak görselleştirme yapılmıştır. Kayıtlar bölümünde; ilgili hayvanın tarihsel bazda geçmiş kayıt bilgileri bulunmaktadır. Bilgilerde, sağım yapılan tarih, sağım yapan kişinin isim soy isim, sağım sonucunda elde edilen süt miktarı (litre cinsinden) ve o sağım sürecinde hayvanın tüketmiş olduğu yem türü bilgileri yer almaktadır.

3.2. Sağım Modülü

3.2.1. Sağım Modülü - Ana Sayfa

Sağım - Ana sayfası içerisinde, çiftlik içerisinde yer alan hayvanların hepsi listelenmiştir ve ilgili hayvanın ismi / ID numarası, türü, günlük yapılan sağımın tarihi ve sağım sonucu elde edilen süt miktarı bilgileri gösterilmektedir. Ana sayfa içerisindeki hayvanların bilgileri, günlük sağım kayıtları biçiminde veritabanından, mobil uygulama içerisinde gönderilen istek sonucunda, "JSON" veri türünde ilgili "API" metodu kullanılarak elde edilmiştir. Liste içerisinde yer alan hayvanlardan herhangi bir hayvana tıklama işlemi gerçekleştirildiğinde "Hayvanlar Modülü - Seçili Hayvan Sayfası" görüntülenmektedir. Ayrıca listede yer alan hayvanlar o gün içerisinde yapmış oldukları sağımda önceden belirlenen bir eşik değerine (Eşik değeri litre cinsinden süt miktarını temsil etmektedir.) göre değerlendirmeye alınırlar. Değerlendirme sonucunda, eşik değeri altında yer alan hayvanların liste rengi kırmızı; eşik değerinde ve üzerinde yer alan hayvanlar ise yeşil renk ile simgelenmiştir.

3.2.2. Sağım Modülü - Detaylar Sayfası

Sağım - Detaylar sayfasında oluşturulan rapor, çiftlik içerisinde yer alan bütün hayvanların günlük olarak yapmış oldukları sağım verileri ölçek olarak alınarak oluşturulmuştur. Detaylar sayfası içerisindeki hayvanların bilgileri, günlük sağım kayıtları biçiminde veritabanından, mobil uygulama içerisinde gönderilen istek sonucunda, "JSON" veri türünde ilgili "API" metodu kullanılarak elde edilmiştir. Veriler; sağım yapılan tarih, toplamda elde edilen süt miktarı ve o gün içerisinde sağım yapılan toplam hayvan sayısı bilgilerini içermektedir. Ayrıca bu veriler kullanıcıya kullanım kolaylığı sağlanması ve etkinliği arttırmak amacıyla özet kart, grafik ve ölçek kullanılarak görselleştirme sağlanmıştır.

3.2.3. Sağım Modülü - Filtre Sayfası

Sağım modülü içerisinde sağ üst köşede yer alan butona tıklanılması sonucunda kullanıcı, geçmiş yapılan sağım kayıtları üzerinde tarih filtrelemesi yaparak seçimine uygun olarak sonuçları görüntüleyebilmektedir. Tarih filtrelemesi kapsamında, bir zaman aralığı seçimi ya da spesifik bir gün seçimi olarak iki farklı seçim yapılabilmektedir. Tarih filtremesi; kullanıcının açılan bir takvim üzerinde spesifik bir gün seçimi yapması istenmektedir. Yapılan gün seçiminin tamamlanmasının ardından seçilen gün ile ilgili geçmiş sağım kayıtları verileri; seçilen tarih bilgisinin ilgili "API" metoduna gönderilmesi sonucunda o günün sağım kayıt verilerinin "JSON" veri türünde veritabanından elde edilmesi sağlanmıştır.

Zaman aralığı seçimi; kullanıcı tarafından zaman aralığı (2-30 arasında sayısal bir değer) seçimi sonrasında seçilen zaman aralığı bilgisinin ilgili "API" metoduna gönderilmesi sonucunda seçilen zaman aralığında yer alan bütün hayvanların geçmiş sağım kayıt verilerinin "JSON" veri türünde veritabanından elde edilmesi sağlanmıştır.

Tarih filtrelemesi ve zaman aralığı seçimi sonucunda elde edilen veriler, uygulama arayüzü içerisinde kullanılarak "Sağım Modülü - Ana Sayfa / Detaylar Sayfası" şeklinde kullanıcıya sunulmaktadır.

3.3. Enler Modülü

Enler modülünde çiftlik içerisinde yer alan hayvanların, ilgili "API" metodu kullanılarak son 7 gün içerisindeki geçmiş sağım kayıt verilerinin "JSON" veri türünde veritabanından elde edilmesi sağlanmıştır. Bu hayvanların son 7 gün içerisinde yapmış oldukları toplam sağım miktarları incelenerek en fazla süt veren ve en az süt veren hayvan belirlenerek uygulama arayüzünde "Hayvanlar Modülü - Ana Sayfa" içerisindeki yapı kullanılarak görüntülenmektedirler.

3.4. Sağılmayanlar Modülü

Sağılmayanlar modülünde, günlük olarak bir değerlendirme yapılır. O gün içerisinde sağım yapılmayan hayvanların bilgileri ilgili "API" metodu kullanılarak veritabanından "JSON" veri türünde elde edilmektedir. Elde edilen veriler sonucunda sağım yapılmayan hayvanlar uygulama arayüzünde "Hayvanlar Modülü - Ana Sayfa" içerisindeki yapı kullanılarak görüntülenmektedirler.

3.5. Çalışanlar Modülü

Çiftlik içerisinde yer alan çalışanların isim, soy isim bilgileri ilgili "API" metodu kullanılarak veritabanından "JSON" formatında elde edilip uygulama arayüzünde görüntülenmektedir.

3.6. Giriş Yapma Modülü

Giriş yapma modülü içerisinde kullanıcılar "e-mail" ve "şifre" bilgilerini doldurarak uygulamaya erişim sağlamaktadırlar. Bu erişim sırasında kullanıcılar tarafından girilen "e-mail" ve "şifre" bilgileri ilgili "API" metoduna gönderilerek veritabanı içerisinde kontrol edilmektedir. Kontrol sonucunda kullanıcının girmiş olduğu bilgilerin doğruluğu onaylandığında kullanıcılar uygulama giriş yapabilmektedir. Harici durumlar kullanıcıların tekrardan "e-mail" ve "şifre" bilgilerini girmeleri gerekmektedir.

4. Sonuç

Hayvancılık alanında kullanılan geleneksel yöntemlerle, çiftlik içerisinde yer alan hayvanların kontrolü, kimliklendirilmesi ve sağım takibinin yapılması neredeyse imkânsız bir durum oluşturmaktadır. Teknolojinin hayvancılık alanında kullanılmasıyla ve bu kullanımın günden güne sürekli artmasıyla hayvancılıkta yeni bir çağ yaratılmıştır. Teknolojinin hayvancılıkta kullanılmasıyla yerleşik bilgisayar bilgi sistemleri oluşturulmuştur. Teknolojinin gelişmesi ile olağan yerleşik sistemler yerine aslında bu alan için takibi yüksek, görselliği etkin ve kullanıcının her an ve lokasyonda kullanabileceği mobil uygulama sistemleri ön plana çıkmıştır. Bu çalışmada, çiftlikteki hayvanların takibi, kimliklendirilmesi gibi hayvancılıkta yer alan önemli problemlerin çözümünü "Dart" programlama dili ve "Flutter" yazılım geliştirme kiti kullanılarak geliştirilen mobil uygulama ile gerçekleştirilmeye çalışılmıştır.

Kaynaklar

- [1] Wikipedia (2012), Çiftlik, 10 Nisan 2023 tarihinde <https://tr.wikipedia.org/wiki/Çiftlik> adresinden alındı.
- [2] A.C. Akın, C. Sipahi, M.B. Çevrimli, B. Mat, A. Günlü, Büyükbaş hayvancılık işletmelerinde yöneticilerin işgücü memnuniyet düzeyleri, MAE Vet Fak Dergisi, 5 (2020) 48-57.
- [3] B. Ohlmer, K. Olson, B. Brehmer, Understanding farmers' decision making processes and improving managerial assistance, Agricultural Economics, 18 (1998) 273-290.
- [4] F. Kuhlmann, C. Brodersen, Information technology and farm management: developments and perspectives, Computers and Electronics in Agriculture, 30 (2001) 71-83.
- [5] Anonim (2021), Çiftlik Nedir, 7 Nisan 2023 tarihinde <https://www.bakarafarm.com/detay/ciftlik-nedir> adresinden alındı.
- [6] C.A. Watson, H. Bengtsson, M. Ebbesvik, A-K. Loes, A. Myrbeck, E. Salomon, J. Schroder, E.A. Stockdale, A review of farm-scale nutrient budgets for organic farms as a tool for management of soil fertility, Soil Use and Management, 18 (2006) 264-273.
- [7] S. Fountas, G. Carli, C.G. Sorensen, Z. Tsiropoulos, Farm management information systems: Current situation and future perspectives, Computers and Electronics in Agriculture, 115 (2015) 40-50.
- [8] A.M. Wagner-Storch, R.W. Palmer, Feeding Behavior, Milking Behavior, and Milk Yields of Cows Milked in a Parlor Versus an Automatic Milking System, Journal of Dairy Science, 86 (2003) 1494-1502.

- [9] M. Busse, W. Schwerdtner, R. Siebert, A. Doernberg, A. Kuntosch, B. König, W. Bokelmann, Analysis of animal monitoring technologies in Germany from an innovation system perspective, *Agricultural Systems*, 138 (2015) 55-65.
- [10] A.S. Voulodimos, C. Z. Patrikakis, A.B. Sideridis, V.A. Ntafis, E. M. Xylouri, A complete farm management system based on animal identification using RFID technology, *Computers and Electronics in Agriculture*, 70 (2010) 380-388.
- [11] A. Pliakoura, G.N. Beligiannis, A. Kontogeorgos, Opportunities and Strategic Use of Agribusiness Information Systems, *Enhancing Agricultural Entrepreneurship Through Mobile Applications in Greece: The Case of a “Farm Management” Application*, 2020.
- [12] E. Gülcüoğlu, A.B. Üstün, N. Seyhan, Comparison of Flutter and React Native Platforms, *Journal of Internet Applications and Management*, 12 (2021).
- [13] M.L. Napol, *Beginning Flutter: A Hands On Guide to App Development*, 2019.
- [14] N. Kuzmin, K. Ignatiev, D. Grafov, *Lecture Notes in Electrical Engineering ,Experience of Developing a Mobile Application Using Flutter*, Information Science and Applications, Singapore, 2020, pp. 571-575.
- [15] Airfocus, API, 8 Nisan 2023 tarihinde <https://airfocus.com/glossary/what-is-an-api/> adresinden alındı.
- [16] E. Turban, C. Pollard, G. Wood, *Information Technology for Management, Driving Digital Transformation to Increase Local and Global Performance, Growth and Sustainability*, 2021, pp. 126-127.
- [17] Wikipedia (2011), JSON, 20 Mart 2023 tarihinde <https://tr.wikipedia.org/wiki/JSON> adresinden alındı.
- [18] N. Nurseitov, M. Paulson, R. Reynolds, C. Izurieta, Comparison of JSON and XML data interchange formats: A case study, *Proceedings of the ISCA 22nd International Conference on Computer Applications in Industry and Engineering*, California, 2009.
- [19] Anonim (2021), JSON nedir ne için kullanılır, 9 Nisan 2023 tarihinde <https://www.natro.com/blog/json-nedir-ne-icin-kullanilir/> adresinden alındı.
- [20] L. Bassett, *Introduction to JavaScript Object Notation: A To-the-Point Guide to JSON*, 2015, pp. 3-4.
- [21] İ. Macit, Bütünleşik Afet Yönetim Sistemleri İçin Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi: Mobil Uygulama Örneği, *Uluslararası Yönetim Bilişim Sistemleri ve Bilgisayar Bilimleri Dergisi*, 2 (2018) 23-41.
- [22] Synfusion (2022), *Introduction to Synfusion Flutter Widgets Documentation*, 10 Nisan 2023 tarihinde <https://help.synfusion.com/flutter/introduction/overview> adresinden alındı.
- [23] Benim Sürüm, Süt ve Besi Çiftliğiniz Kolayca Takip Edin, 21 Mart 2023 tarihinde <https://www.benimsurum.com> adresinden alındı.
- [24] Lely Farm, 21 Mart 2023 tarihinde <https://www.lely.com/tr/> adresinden alındı.
- [25] DeLavalMyFarm, *Delaval DelPro farm management application Milk24*, 22 Mart 2023 tarihinde <https://www.delaval.com/en-us/explore-our-farm-solutions/milking/stanchion-barn/delaval-delpro-farm-management-application-milk24/> adresinden alındı.
- [26] GEAFarmView, 2 Nisan 2023 tarihinde <https://www.gea.com/en/products/milking-farming-barn/dairyservice-dairy-farm-service/gea-farmview.jsp> adresinden alındı.

Otomatik Gökyüzü Görüntüleme ve Meteorolojik Veri Ölçme Sistemi Tasarımı ve Uygulaması

Hasan Efe Demiraslan^{1*}, Anıl Önder², Ardan Hüseyin Eşlik³

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü hasanefedemiraslan455@gmail.com

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü anilonder47@gmail.com

³Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü aheslik@aku.edu.tr

Özet

Güneş enerjisi, temiz ve sürdürülebilir elektrik için umut verici bir kaynaktır. Bununla birlikte, her türlü yenilenebilir enerjide olduğu gibi, dikkate alınması gereken sınırlamaları bulunmaktadır. Bu sınırlamalardan biri de bulutların güneş paneli verimliliği üzerindeki etkisidir. Bulutlar güneşin önünden geçtiğinde, güneş panellerinin yüzeyine gölge düşürür ve bu da söz konusu panellerden elde edilen elektrik çıkışının azalmasına neden olur. Bunun nedeni, gölgelemenin panel yüzeyindeki ışık yoğunluğunu azaltarak verimli bir şekilde elektrik üretmelerini zorlaştırmasıdır. Fotovoltaik sistemler tarafından emilen radyasyon miktarı, etkin bir şekilde elektrik üretme kabiliyetlerini doğrudan etkiler. Bu faktör, bulut örtüsü modelleri ve diğer atmosferik koşullar dahil olmak üzere çeşitli değişkenlere bağlı olarak değişir. Bu nedenle, farklı faktörlerin radyasyon emilimini nasıl etkilediğini anlamak, gelecekteki tasarımları optimize etmek ve bu yeşil teknolojiler için ileriye dönük genel performans ölçümlerini iyileştirmek için kritik öneme sahip olacaktır. Bu nedenle, bu çalışmada, güneş radyasyonu değerinin değişkenliğinde önemli bir rol oynayan bulutları ve belirli meteorolojik verileri araştırmak için bir deney düzeneği oluşturulmuştur. Bu amaçla, raspberry pi kartı, raspberry pi kamerası ve bme 280 sıcaklık, nem ve basınç sensörü kullanılarak bir deney düzeneği oluşturulmuştur. Bu düzenek, düzenli aralıklarla gökyüzünün fotoğraflarını çekmek ve sıcaklık, basınç ve nem gibi meteorolojik verileri kaydetmek için tasarlanmıştır. Python dili kullanılarak meteorolojik verileri ölçmek için bir algoritma geliştirilmiştir. Gökyüzü görüntülerini elde etmek için AllSky kütüphanesi kullanıldı. Bu çalışma sonucunda meteorolojik verilerin ve gökyüzü görüntülerinin istenilen aralıklarla toplanması mümkün olmaktadır. Bu çalışmanın sonuçları, güneş radyasyonu tahmini ve bulut hareketi tahmini gibi çalışmalarda kullanılacak verilerin toplanmasına yardımcı olacaktır.

Anahtar kelimeler: Raspberry Pi; Kamera; Işınım; Sıcaklık

Design and Implementation of Automatic Sky Imaging and Meteorological Data Measurement System

Abstract

Solar energy is a promising source of clean and sustainable electricity. However, as with any renewable energy, there are limitations that need to be taken into account. One of these limitations is the impact of clouds on solar panel efficiency. When clouds pass in front of the sun, they cast shadows on the surface of solar panels, resulting in a reduction in the electricity output from those panels. This is because shading

reduces the light intensity on the panel surface, making it difficult for them to generate electricity efficiently. The amount of radiation absorbed by photovoltaic systems directly affects their ability to generate electricity efficiently. This factor varies depending on several variables, including cloud cover patterns and other atmospheric conditions. Therefore, understanding how different factors affect radiation absorption will be critical to optimize future designs and improve overall performance metrics for these green technologies going forward. Therefore, in this study, an experimental setup was created to investigate clouds and specific meteorological data that play an important role in the variability of solar radiation value. For this purpose, an experimental setup was created using raspberry pi board, raspberry pi camera and bme 280 temperature, humidity and pressure sensor. This setup is designed to take photos of the sky at regular intervals and record meteorological data such as temperature, pressure and humidity. An algorithm for measuring meteorological data was developed using Python language. The AllSky library was used to obtain the sky images. As a result of this study, it is possible to collect meteorological data and sky images at desired intervals. The results of this study will help to collect data to be used in studies such as solar radiation estimation and cloud motion estimation.

Keywords: Raspberry Pi; Camera; Radiation; Temperature

1.Giriş

Dünya genelinde ekonomik güç, artan nüfus ve hızla gelişen teknoloji gibi faktörlerden dolayı elektrik enerjisi ihtiyacı hızla artmaktadır. Bu artış sonucunda enerji kaynaklarına olan gereksinim her geçen gün katlanarak artmakta ve enerji, vazgeçilmez bir unsur haline gelmektedir. Elektriksiz bir dünya kavramı, hatta böyle bir olasılık bile herkesin korkulu rüyası haline gelmiştir. Dünya genelinde enerji üretiminin büyük bir kısmı hala kömür, doğal gaz, petrol ve nükleer enerji gibi yenilenemez enerji kaynaklarından sağlanmaktadır [1]. Ancak bu aşırı fosil yakıt kullanımı, iklim değişikliği, hava ve su kirliliği, enerji kaynaklarının tükenmesi gibi birçok sorunu ortaya çıkarmaktadır. Bu olumsuz şartlar, dünyayı yaşanmaz hale getirebilecek potansiyele sahiptir. Bu nedenle, çevresel kirlilikten kaçınmak için ilk adım, fosil yakıtların yerine yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarına yönelmektir. Bu enerji dönüşümü, doğanın ve insan yaşamının sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu yönelim sonucunda güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, hidrojen enerjisi, biyokütle enerjisi ve dalga enerjisi gibi kaynakların verimliliğini ve maliyetini artırmak için teknolojik gelişme gerekmektedir. Güneş enerjisi, nükleer enerji dışında, dünya üzerinde kullanılan tüm enerjinin ana kaynağı ve güneşin çekirdeğinde hidrojenin helyuma dönüşümüyle ortaya çıkan son derece güçlü bir enerji kaynağıdır [2]. Bu enerji, güneş ışınları yoluyla dünyamıza ulaşır. Güneş enerjisinden yararlanmak için yaygın olarak kullanılan teknolojiler arasında güneş kolektörleri, güneş santralleri ve güneş pilleri (fotovoltaik piller) yer almaktadır. Bu elektrik üretim yöntemlerinin temel bileşeni, fotovoltaik panellerdir. Ancak bu panellerin elektrik verimliliği bir dizi faktörden etkilenebilir. Stabil bir verimlilik elde etmek için aşağıdaki faktörler dikkate alınmalıdır:

Fotovoltaik panellere gelen ışınımın yoğunluğu ve süresi, panelin üreteceği elektrik miktarıyla doğrudan ilişkilidir. Hava koşulları, fotovoltaik panellerin güç çıkışı ile panel sıcaklığı arasında ters bir ilişki içerir. Bu nedenle, paneller sıcak havalarda ve gölgelenme durumlarında daha az elektrik üretir [3]. Panellerin üzerinde toz veya başka yüzey kapatacı maddelerin bulunması da gölgelenmeyle aynı mantıkla ışınımın panellere ulaşmasını engelleyerek elektrik üretimini azaltır. Fotovoltaik panellerin optimal bir açıyla ve

güneşin izlediği yörüngeye dik olarak yerleştirilmesi önemlidir. Yukarıda bahsedilen faktörlere ek olarak başka etmenler de panel verimliliğini etkileyebilir. Fotovoltaik sistemlerde, elektrik üretimi, panellerin üzerine düşen ışınım miktarına bağlıdır. Eğer herhangi bir nedenle ışınım panellere ulaşmazsa, elektrik üretiminde azalma gözlenir. Işınımın engellenmesi veya gölgelenme durumlarında, fotovoltaik panellerin verimliliği ve dolayısıyla elektrik üretimi etkilenir. Bu nedenle güneş ışınımını etkileyen faktörlerin incelenmesi ve ışınım üzerine olan etkilerinin araştırılması büyük önem arz etmektedir. Bir bölgedeki güneş radyasyonu ölçümleri, jeografik konum, mevsim, bulut örtüsü, atmosferdeki partikül kirliliği gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterir. Bulut örtüsü, güneş kaynağının kararsız ve aralıklı olmasına yol açan en temel etkenlerden biridir. Güneşi engelleyen bir bulut veya bulut kümesi, güneş radyasyonu değerinde hızlı ve ani değişikliklere neden olabilir. Bu yüksek dalgalanmalar, güneş enerjisi santrallerinden şebekeye aktarılan gücün entegrasyonunu zorlaştırır ve entegrasyon maliyetlerini artırır. Güç sistem operatörlerinin güvenilirliğini korurken, güneş enerjisi üretim seviyelerini başarılı bir şekilde entegre etmeleri ve planlanan yeni güneş enerjisi sistemlerinin optimizasyonu, tasarımı ve performans değerlendirmelerini yapabilmeleri için güneş radyasyonu değerini bilmek büyük önem taşır. Güneş radyasyonu bulutlar ile birlikte meteorolojik verilerden de etkilenmektedir. Bulutlar ile birlikte meteorolojik verilerin belirli aralıklarla toplanabilmesi ışınım miktarında yaşanan değişimleri öngörebilmek ve tahmin modelleri oluşturulmasında büyük öneme sahiptir.

Literatürde araştırmacılar tarafından günümüze kadar bu alanda çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar arasından yapmış olduğumuz projenin tamamlanmasında yararlandığımız projeler aşağıda belirtilmiştir.

Jain ve arkadaşları, yüksek fiyatlarda olan gökyüzü görüntüleme sistemini ana materyal Raspberry Pi kullanarak 300\$ gibi bir maliyet ile tasarlamışlardır. Tasarlamış oldukları düzeneği kullanarak 5 dakikada bir 4056x3040 piksel çözünürlükte gökyüzü görüntüleri çekmiş ve kaydetmişlerdir. Belirli bir depolamaya ulaşılmasının ardından sistem bellekteki verileri sunucuya aktarmaktadır [3]. Valentine ve arkadaşları, farklı hava şartlarında güneşin konumunu takip eden bir sistem ve yazılım oluşturmuşlardır. Oluşturdukları bu sistemi kullanarak açık, bulutlu ve güneşin bulutlar tarafından tamamen kapalı olduğu hava şartlarında güneşin konumunu tespit etmişlerdir [4]. Richardson ve arkadaşları, Raspberry Pi kullanarak düşük maliyetli bir tüm gökyüzü görüntüleme sistemi oluşturmuşlardır. Oluşturulan bu sistemden gelen fotoğraflar ile bir yapay zekâ eğitilmiş ve dakikalara kadar öngörüler oluşturabilen bir öngörü sistemi oluşturmuşlardır [5]. Lasanthika ve arkadaşları, projelerinde bulut takibi, bulut tabanı yüksekliği ve ışınım tahmini için 2 adet kamera sistemini kompakt bir yapı ile kullanmışlardır. Kullandıkları kameralar arasında 1 dakika, 5 dakika ve 15 dakika öncesi için ana kameranın 2 km uzaklıkta bulunan fotovoltaik panel için ışıma değerleri tahmini yapmışlardır [6].

2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında gökyüzü görüntülerinin ve meteorolojik verilerin toplanabilmesi amacıyla bir gökyüzü görüntüleme ve meteorolojik veri ölçme sistemi geliştirilmiştir. Sistemin ana bileşeni görüntülerin çekilmesi ve verilerin istenilen aralıklarla toplanmasını sağlayan Raspberry pi tek kart bilgisayardır. Raspberry Pi 4, kullanımı kolay ve kompakt bir tek kartlı bilgisayardır. Uzaktan rahatlıkla kontrol edilebilir ve internet üzerinden uzak masaüstü erişimi sağlayarak sistem yönetimini kolaylaştırır. Ayrıca Raspberry Pi 4, çeşitli sensörleri sorunsuz bir şekilde çalıştırabilme yeteneğine sahiptir ve kendi kamera modülü ile istenen gökyüzü görüntülerini çekebilme imkânı sunar.

Gökyüzü görüntülerinin yanı sıra, oluşturulan sistemin sıcaklık, nem ve basınç gibi meteorolojik değerleri de ölçebilmesi için BME-280 sensörü kullanılmıştır. BME-280 sensörü, tek başına bu üç değeri sağlayabilen bir sensördür ve sistemin meteorolojik verileri toplamasına olanak sağlar. Tüm sistem bileşenlerinin mekaniksel ve elektriksel bağlantılarının gerçekleştirilmesinin ardından sistemin meteorolojik verileri belirli aralıklarla toplayabilmesi için bir algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma sayesinde kullanıcının istediği aralıklarda meteorolojik verilerin ölçümünün sağlanması ve Raspberry pi hafızasına kaydedilmesi sağlanmıştır. Algoritmanın geliştirilmesinde python dili kullanılmıştır. Gökyüzü görüntülerinin toplanmasında ise internette yer alan açık kaynak kodlu olarak kullanıma sunulan allsky kütüphanesinden yararlanılmıştır. Allsky kütüphanesi astroloji alanında ilgili kişilerin gökyüzünü görüntülemeleri amacıyla geliştirilmiş, belirli aralıklarla gökyüzünün fotoğraflarının çekilmesine olanak sağlayan bir kütüphanedir. Allsky kütüphanesi kullanılarak kamera için istenilen zoom, parlaklık, kontrast ayarları yapılabilmekte, istenilen sürelerde gökyüzü görüntüleri çekilebilmektedir. Ayrıca uzaktan erişim imkânı sayesinde kameraya canlı olarak bağlanabilme ve görüntüleri canlı olarak takip etme imkânı bulunmaktadır. Bir sonraki bölümde oluşturulan gökyüzü görüntüleme ve meteorolojik veri ölçme sistemi kullanılarak elde edilen veriler ve sistemin genel çalışma performansı hakkında detaylı bilgiler sunulacaktır.

3. Deneysel Çalışmalar

Gökyüzü görüntüleme ve veri toplama sisteminin oluşturulması sonrasında verilerin düzenli bir şekilde alınmasını sağlayacak algoritmanın geliştirilmesi aşamasına geçilmiştir. Bu kapsamda bme280 sensöründen verileri istenilen aralıklarda toplayabilmek amacıyla bir Python dili kullanılarak bir algoritma geliştirilmiştir. Aşağıda Şekil 1'de geliştirilen algoritmaya ait Python kodu görülebilmektedir.

```
#!/usr/bin/env python
# Import modules for time and to access sensor
import time
from smbus import SMBus
from bme280 import BME280

# Initialise the BME280
bus = SMBus(1)
bme280 = BME280(i2c_dev=bus)

# Get data and discard to avoid garbage first reading
temperature = bme280.get_temperature()
pressure = bme280.get_pressure()
humidity = bme280.get_humidity()
time.sleep(1)

while True:
    temperature = bme280.get_temperature()
    pressure = bme280.get_pressure()
    humidity = bme280.get_humidity()
    print('{:05.2f}*C {:05.2f}hPa {:05.2f}%'.format(temperature, pressure, humidity))
    time.sleep(1)
```

Şekil 1. BME280 sensörü ile meteorolojik verilerin istenilen aralıklarla toplanmasını sağlayacak algoritma kodu

Bme280 kullanılarak meteorolojik verilerin elde edilmesinin ardından excel yardımıyla verilerin belirli aralıklarla otomatik olarak kaydedilmesi için Şekil 1' kod yeniden düzenlenerek aşağıdaki hale gelmiştir.

```
#!/usr/bin/env python
# Import all libraries we need!
from smbus import SMBus
from bme280 import BME280
import time
import datetime
from datetime import date
from openpyxl import load_workbook

# Initialise the BME280
bus = SMBus(1)
bme280 = BME280(i2c_dev=bus)

# Take first reading and discard it to avoid garbage first row
temperature = bme280.get_temperature()
pressure = bme280.get_pressure()
humidity = bme280.get_humidity()
time.sleep(1)

# Load the workbook and select the sheet
wb = load_workbook('/home/pi/Python_Code/weather.xlsx')
sheet = wb['Sheet1']

try:
    while True:
        # Read the sensor and get date and time
        temperature = round(bme280.get_temperature(),1)
        pressure = round(bme280.get_pressure(),1)
        humidity = round(bme280.get_humidity(),1)
        today = date.today()
        now = datetime.datetime.now().time()

        # Inform the user!
        print('Adding this data to the spreadsheet:')
        print(today)
        print(now)
        print('{}*C {}hPa {}'.format(temperature, pressure, humidity))

        # Append data to the spreadsheet
        row = (today, now, temperature, pressure, humidity)
        sheet.append(row)

        # Save the workbook
        wb.save('/home/pi/Python_Code/weather.xlsx')

        # Wait for 10 minutes seconds (600 seconds)
        time.sleep(600)

finally:
    # Make sure the workbook is saved!
    wb.save('/home/pi/Python_Code/weather.xlsx')
    print('Goodbye!')
```

Şekil 2. Bme280 ile meteorolojik verilerin istenilen aralıklarla toplanması ve kaydedilmesi için geliştirilen algoritmaya ait Python kodu

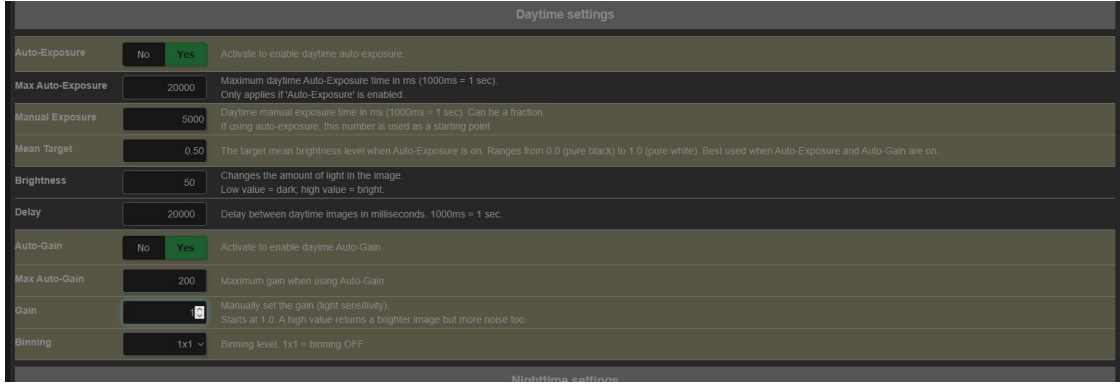
Bu işlemlerin gerçekleştirilmesinin ardından aşağıdaki tabloda görülebileceği gibi başarılı bir şekilde meteorolojik ölçümler gerçekleştirilebilmiştir.

Tablo 1 BME-280 sensörünün kaydettiği veriler

Gün	Zaman	Sıcaklık(C)	Basınç(hPa)	Nem(%)
22.12.2022	13:25:28	6.4	1009.5	72
22.12.2022	13:35:28	6.1	1009.7	73.5
22.12.2022	13:45:28	6.2	1009.4	74.9
22.12.2022	13:55:29	5.9	1009.6	74.9
22.12.2022	14:05:29	5.8	1009.4	75.9
22.12.2022	14:15:29	5.8	1009.1	74.5
22.12.2022	14:25:29	5.9	1009.3	75.4

Meteorolojik verilerin ölçme ve kaydetme bölümünün tamamlanmasının ardından gökyüzü görüntülerinin toplanması bölümüne geçilmiştir. Bu amaç doğrultusunda Allsky kütüphanesinden yararlanılmıştır. Allsky kütüphanesi Thomas Jacquin tarafından geliştirilmiş olan ve gökyüzü görüntülerinin istenilen aralıklarda toplanabilmesini sağlayan açık kaynak kodlu bir Python kütüphanesidir. Allsky kütüphanesi Raspberry pi'ye bağlanmış olan kamerayı tüm özellikleriyle kontrol edebilmeye olanak tanımaktadır. Bu özellikler arasında parlaklık ayarı, pozlama süresi, kontrast ayarı gibi birçok ayarlanması gereken parametre bulunmaktadır. Bununla birlikte kameranın gündüz veya gece çekim yapması gibi tercih imkanları da yer almaktadır. Allsky kütüphanesinde yer alan ve bu ayarların

gerçekleştirilebileceği “kamera ayarları” bölümüne ait görsel Şekil 3’te sunulmuştur. Allsky kütüphanesinin kurulumunun tamamlanmasının ardından gökyüzü görüntülerinin net bir şekilde alınabilmesi için bu parametrelerin ayarlanması kısmına geçilmiştir. Deneysel çalışmalar kapsamında bu değerlerin her biri deneme yanılma yolu ile ayarlanmış ve bu sayede istenilen aralıklarla net gökyüzü görüntüleri elde edilebilmiştir.



Şekil 3. Allsky kamera Ayarları

Geliştirilen gökyüzü görüntüleme ve meteorolojik veri toplama sisteminin kullanılmasıyla elde edilen gökyüzü görüntülerinden örnek bir görüntü Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4. Gökyüzü görüntüleme ve meteorolojik veri toplama sistemi kullanılarak elde edilen örnek bir gökyüzü görüntüsü

4. Sonuç

Otomatik gökyüzü görüntüleyici ve veri toplama sistemi, güneş enerjisi sistemlerinin performansını öngörebilmek ve enerji üretimini optimize etmek için kritik veriler sağlayan bir araçtır. Fotovoltaik panellerin etkinliği, doğrudan güneş ışığına maruz kalma miktarına bağlıdır ve bu durumu belirlemek için gökyüzü görüntüleyici sistemi oldukça önemlidir. Sistem, gökyüzü görüntülerini ve meteorolojik verileri

toplayarak bir veri tabanı oluşturur. Bu veri tabanı, gelecekte yapılacak çalışmalar için değerli bir kaynak sağlayarak güneş enerjisi sistemlerinin verimliliğini artırmak için stratejilerin geliştirilmesine katkıda bulunur.

Gökyüzü görüntüleyici sisteminin entegrasyonu ile elde edilen veriler, fotovoltaik panellerin gölgelenme miktarını tahmin etmek için kullanılabilir. Bu sayede, panellerin güneş ışığına maruz kalma süresi ve yoğunluğunun belirlenmesine yardımcı olur. Gölgeleme, güneş ışığının panellere ulaşmasını engellediğinde enerji üretimini olumsuz etkileyen bir faktördür. Dolayısıyla, gökyüzü görüntüleyici sistemi, panellerin gölgelenme miktarını önceden tahmin etmek ve enerji üretimini optimize etmek için büyük bir öneme sahiptir.

Bu sistemin etkin bir şekilde yönetilmesi ve verilerin analiz edilmesi için Raspberry Pi 4 gibi teknolojilerden yararlanılmıştır. Raspberry Pi 4, esnek yapısı ve kullanım kolaylığı sayesinde sistemin sorunsuz bir şekilde işlenmesini sağlamıştır. Ayrıca, BME-280 gibi sensörlerin entegrasyonu ile birlikte, meteorolojik verilerin doğru ve istenilen aralıklarda toplanabilmesi sağlanmıştır. Gökyüzü görüntüleme ve meteorolojik veri toplama sisteminin kullanılmasıyla elde edilecek veriler, güneş enerjisi sistemlerinin performansını etkileyen faktörleri daha iyi anlamak ve stratejileri optimize etmek için değerli bilgiler sunar.

Sonuç olarak, gökyüzü görüntüleyici sistemi, fotovoltaik panellerin gölgelenme miktarını tahmin etmek ve enerji üretimini optimize etmek için kullanılabilir. Gökyüzü görüntüleri ve meteorolojik verilerin toplanmasıyla oluşturulan veri tabanı sayesinde gelecekte yapılacak çalışmalara temel oluşturulabilecektir. Raspberry Pi 4 gibi teknolojilerin entegrasyonu, veri toplama ve analiz süreçlerini kolaylaştırır ve güneş enerjisi sistemlerinin verimliliğini artırır.

Kaynaklar

- [1] Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y. & Uğurlu, İ. (2018). Dünyada ve Türkiye’de Enerji Görünümünün Genel Değerlendirilmesi. *Mühendis ve Makina*, 59 (692), 86-114.
- [2] Karamanav, M. (2007). Güneş enerjisi ve güneş pilleri (Doctoral Dissertation, Sakarya Üniversitesi (Turkey)).
- [3] Grozdev, M. (2010). Alternatif enerji kaynakları: Güneş enerjisi ve güneş pilleri. Yüksek Lisan Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [4] Jain, M., Gollini, I., Bertolotto, M., McArdle, G., & Dev, S. (2021, July). An extremely-low cost ground-based whole sky imager. In 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS (pp. 8209-8212). IEEE.
- [5] Valentín, L., Peña-Cruz, M. I., Moctezuma, D., Peña-Martínez, C. M., Pineda-Arellano, C. A., & Díaz-Ponce, A. (2019). Towards the development of a low-cost irradiance nowcasting sky imager. *Applied Sciences*, 9(6), 1131.
- [6] Richardson Jr, W., Krishnaswami, H., Vega, R., & Cervantes, M. (2017). A low cost, edge computing, all-sky imager for cloud tracking and intra-hour irradiance forecasting. *Sustainability*, 9(4), 482.
- [7] Dissawa, L. H., Godaliyadda, R. I., Ekanayake, P. B., Agalgaonkar, A. P., Robinson, D., Ekanayake, J. B., & Perera, S. (2021). Sky image-based localized, short-term solar irradiance forecasting for multiple pv sites via cloud motion tracking. *International Journal of Photoenergy*, 2021, 1-27.

Şekil Biriktirme İmalatı ile Parça Üretimi

^{1*}Nazlı Aşkın Arıkan

^{1*}Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 20185125005@ogr.akdeniz.edu.tr

Özet

Mühendislik parçalarının üretiminde hibrit imalat, eklemeli ve eksiltmeli üretim aşamalarını içerdiği için öneme sahiptir. Her iki üretim yönteminin kombinasyonu şekil biriktirme imalatını (SDM) ortaya çıkarmaktadır. Eklemeli imalat, üç boyuta sahip bir modelden parçalar oluşturmak amacıyla kullanılan malzemelerin katman katman biriktirilmesiyle yapılan üretime denir. Eksiltmeli imalat, biriktirilmiş malzemeden başlayarak, malzeme kaldırmanın uygulanmasıyla hedeflenen iş parçasına ulaşmak için yapılan üretime denir. Bu iki yaklaşımın aynı makinada birleştirilmesi şekil biriktirme imalat yöntemini ortaya koymaktadır. Her iki üretim yönteminin avantajlarının tek bir makinada toplanması iyi yüzey kalitesine ve boyutsal doğruluğa sahip parçaların üretilmesini sağlayacaktır. Şekil biriktirme imalatında biriktirme ifadesi eklemeli imalat tekniği ile sağlanırken; şekil ifadesi frezeleme ile işlemeye sağlanmaktadır. Şekil biriktirme imalatı, hibrit imalat tekniklerinin uygulanmasını sağlayan bir teknoloji olarak nitelendirilmektedir. Bu üretim yöntemi ile tamamlanmış parça yüzeylerine iç/dış geometrik özellikler vermek için parça üzerinde döngüsel eklemeli ve eksiltme aşamaları gerçekleştirilmektedir. Şekil biriktirme imalatı yöntemiyle gömülü elektronik sistemlerin, mekanik sistemlere yönelik parçaların üretimi yapılmaktadır. Günümüzde kullanılan hibrit üretim süreçleri şekil biriktirme imalatı dışında toz veya tel beslemeli eklemeli imalat (DED/WAAM) gibi üretim teknikleri ile ilgili araştırmalar hem sanayi çalışmaları hem akademik çalışmalar yapmak için ilgi görmektedir. Bu sebeple bu çalışmada, üretim yöntemlerinden biri olan şekil biriktirme imalatı ile üretimin nasıl yapıldığına yönelik genel bir bakış sunulmuş, yapılmış çalışmalar gözden geçirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Şekil Biriktirme İmalatı; Hibrit İmalat; Katmanlı İmalat; Uygulamalar

Part Production with Shape Deposition Manufacturing

Abstract

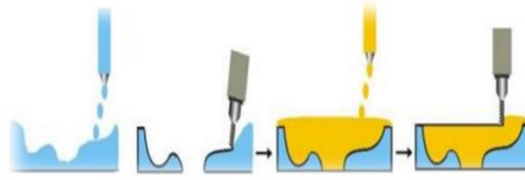
Hybrid manufacturing is important in the production of engineering parts because it includes additive and subtractive manufacturing stages. The combination of both manufacturing methods leads to shape deposition manufacturing (SDM). Additive manufacturing is the process of layer-by-layer deposition of materials used to create parts from a three-dimensional model. Subtractive manufacturing is production starting from the deposited material to reach the targeted workpiece by applying material removal. The combination of these two approaches in the same machine reveals the shape deposition manufacturing method. Combining the advantages of both manufacturing methods on a single machine will enable the production of parts with good surface quality and dimensional accuracy. In shape deposition

manufacturing, the deposition expression is achieved by additive manufacturing while the shape expression is achieved by milling. Shape deposition manufacturing is characterized as a technology that enables the application of hybrid manufacturing techniques. Cyclic addition and subtraction steps are performed on the part to give internal/external geometric features to the finished part surfaces with this manufacturing method. Shape deposition manufacturing is used to produce embedded electronic systems, parts for mechanical systems, sensors and parts using multiple materials. In addition to shape deposition manufacturing, hybrid manufacturing processes used today, research on manufacturing techniques such as powder or wire fed additive manufacturing (DED/WAAM) is of interest for both industrial and academic studies. For this reason, in this study, an overview of how production is carried out by shape deposition manufacturing which is one of the production methods is presented and previous studies are reviewed.

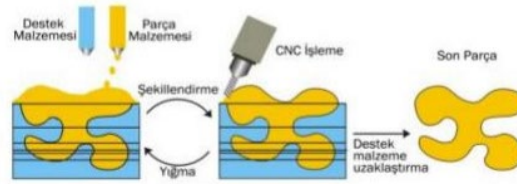
Keywords: Shape deposition manufacturing; Hybrid manufacturing; Additive Manufacturing; Applications

1. Giriş

Katmanlı imalat, üç boyutlu bir modelden Şekil biriktirme imalatı (SDM), hibrit imalat teknolojilerinin uygulanmasını sağlamaktadır. Eksiltmeli (geleneksel) imalat, birikmiş olan malzemeden başlayarak, malzeme eksilterek nihai şekle ulaşmayı amaçlar. Bu iki yaklaşımın aynı makinada birleşmesi, iyi yüzey ve geometrik kaliteye sahip parçaların üretilmesini sağlamaktadır. Şekil biriktirme imalatı ile iç/dış geometrik özelliklere sahip parçalar üretmek için, parçalara üzerinde dönüşümlü biriktirme ve eksiltme işlemleri yapılmaktadır [1]. Bir anlamda, şekil biriktirme imalatına hibrit imalat çeşidi denilebilir. Biriktirme aşamasında destek ve yapı malzemesi biriktirilerek işlem yapılmaktadır. Şekil 1 ve Şekil 2’de şekil biriktirme imalat sürecinin aşamaları gösterilmektedir. Şekil 1 ve Şekil 2’deki mavi renk destek malzemesini ve sarı renk nihai parçayı göstermektedir. Destek malzemesi, nihai parçaya ulaşmak amacıyla kullanılmaktadır. Nihai malzemede, destek malzemesinin üzerine biriktirilmektedir. Genellikle 3 veya 5 eksenli CNC freze, parçayı istenilen şekil için şekillendirmektedir. Ya da bu işlemin yerini geleneksel olmayan imalat yönteminden biri olan elektro erozyon ile işleme de (EDM) alabilir. Bu işlem, biriktirme işleminde meydana gelen merdiven basamaklı yüzey görünümünü ortadan kaldırmaktadır. Biriktirme ve şekil verme işlemi son katmana kadar uygulanır. Daha sonra destek malzemesi çıkarılır. Bilyalı dövme (shot peening) adı verilen mekanik yüzey işlemine tabi tutulur. Biriktirme ve şekillendirme işleminde parçada oluşan artık gerilmeleri kontrol etmek için bu yöntem kullanılır. Son işlem olarak parça sinterleme işlemine tabi tutulmaktadır [2]. Kullanılacak parça bilgileri bilgisayar destekli çizim (CAD) yardımıyla tasarlanır. Daha sonra parça, SDM makinasına gönderilip, katmanlara bölünmektedir. Gönderilen kod, destek ve parça malzemesinin nereye yerleştirileceğini, ne zaman yeni bir katmanın gerekli olduğunu bildirmektedir. Şekil biriktirme imalatında plastikler, polimerler, seramikler, metaller kullanılmaktadır. Bununla birlikte, biriktirme işlemi katmanlı imalata dayanma haricinde bir mikro döküm yöntemiyle de gerçekleştirilebilir. Ek olarak, farklı biriktirme prosesleri ile de imalat süreci gerçekleştirilebilir. Bu prosesler ve parça, destek malzemeleri Tablo 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. Biriktirme ve şekillendirme sırası



Şekil 2. Şekil biriktirme imalatı çalışma prensibi

Tablo 1. Şekil biriktirme imalatında biriktirme prosesleri, parça ve destek malzemeleri

Biriktirme Prosesi	Parça Malzemesi	Destek Malzemesi
Mikro döküm	Paslanmaz çelik	Bakır
Ekstrüzyon	Termoplastik, seramik	Suda çözünebilir termoplastik
İki parçalı reçine sistemi	Poliüretan, epoksi reçine	Mum
Sıcak mum	Mum	Mum
Fotokürlenabilir reçine	Fotoreçine	Suda çözünebilir reçine
MIG kaynağı	Çelik alaşımları	Bakır
Termal spreyleme	Metal, plastik, seramikler	Bakır

2. Şekil Biriktirme İmalatı

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, Ebeveyni vd. (2018) AISI 316L paslanmaz çelik parçalar üretmek için şekil biriktirme imalat tekniğini kullanmışlardır. Çalışmalarında geometrik/boyutsal doğruluğa ulaşmayı ve yüzey kalitesini iyileştirmeyi amaçlamışlardır. Bunun içinde şekil biriktirme imalat makinası prototipi imal etmişlerdir. Vaezi vd. (2013) çalışmasında gömülü elektronik ve mekanik bileşenlere yönelik parçaların şekil biriktirme imalatı ile yapılabileceğini belirtmiştir. Bunun içinde bir robot parçasının üretimine yer vermiştir. Prinz ve Weiss (1998) ekstrüzyon sıvı biriktirme ve CNC freze makinasını kullanarak seramik parçaların üretimini araştırmıştır.

3. Sonuç

Şekil biriktirme imalatı ile asimetrik parçaların, dışbükey ve içbükey parçaların her şekli üretilmektedir. Dezavantaj olarak bakıldığında üretilen parçanın boyutu kesici takımın boyutu ile sınırlıdır. Ayrıca, diğer imalat türlerine göre pahalıdır. Sürecin zaman alması ve makinanın yaygın olmaması yapılan çalışmaları da kısıtlamıştır. Bunun için bu üretim tekniğinin yerini başka üretim teknikleri almaktadır. Bu üretim yönteminin avantajlarından yararlanabilmek amacıyla hibrit imalat tekniğine dayanması, seri üretim dışındaki parçaların üretilmesinde fayda sağlayabilir. Bunun için uygun maliyetli, kompakt SDM cihazları geliştirilerek çalışmalar yapılabilir.

Kaynaklar

- [1] Parenti, P., Cataldo, S., & Annoni, M. (2018). Shape deposition manufacturing of 316L parts via feedstock extrusion and green-state milling. *Manufacturing Letters*, 18, 6–11.
- [2] <http://www.cs.cmu.edu/~rapidproto/students.00/sel/SDM.htm> (Son Erişim Tarihi: 22/05/2023).
- [3] Vaezi, M., Chianrabutra, S., Mellor, B., & Yang, S. (2013). Multiple material additive manufacturing - Part 1: A review: This review paper covers a decade of research on multiple material additive manufacturing technologies which can produce complex geometry parts with different materials. *Virtual and Physical Prototyping*, 8(1), 19–50.
- [4] Prinz, F. B., Weiss, L. E., Amon, C. H., & Beuth, J. L. (1995). Processing, Thermal and Mechanical Issues in Shape Deposition Manufacturing. *Solid Freeform Fabrication Symposium Proceedings*, 118–129.

Kapsül Endoskopi: Yenilikçi Bir Görüntüleme Tekniği ve Geleceği Hakkında İnceleme

Bedia Bayraktar^{1*}, Nesrin Hakmi², Huejda Thartori³

^{1*}Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği, bbayraktar20@posta.pau.edu.tr

² Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği, nhakmi20@posta.pau.edu.tr

³ Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği, hthartori20@posta.pau.edu.tr

Özet

Kapsül endoskopisi, sindirim sistemi içerisindeki problemlerin tanısı ve tedavisi için kullanılan bir görüntüleme tekniğidir. Bu teknoloji, küçük bir kapsülün yutulması veya anüs yoluyla sokulması suretiyle iç organların görüntülenmesini sağlar. Gastrointestinal sistemdeki hasarlı alanları tespit etmek için geleneksel endoskopik yöntemlerin yerini alabilecek bir yöntemdir. Kapsül endoskopisinin avantajları arasında, geleneksel endoskopik yöntemlere kıyasla daha az invaziv olması, daha az rahatsızlık vermesi ve hastanın normal aktivitelerine hızlı bir şekilde dönmesine izin vermesi bulunmaktadır. Ancak, kapsül endoskopisi henüz tamamen geliştirilmemiş bir teknolojidir ve bazı eksiklikleri bulunmaktadır. Bu eksikliklerin bir kısmı teknolojik olarak giderilebilirken, diğerleri daha fazla çalışmaya ve araştırmaya ihtiyaç duymaktadır. Örneğin, geleneksel endoskopide örneklem alabilmek için aparat bulunurken kapsül endoskopide bu imkân bulunmamaktadır. Ya da kapsül endoskopisi sırasında elde edilen verilerin hızlı bir şekilde toplanması ve işlenmesi için daha gelişmiş veri işleme teknolojileri gerekmektedir. Ayrıca, kapsülün boyutunun daha da küçültülmesi ve pil ömrünün artırılması gibi teknolojik gelişmeler gerekmektedir. Bu araştırmanın amacı kapsül endoskopi nedir, nasıl çalışır, hangi hastalıkların görüntülenmesi yapılabilir incelemek ve şu ana kadar bu cihazda tespit edilen eksikliklerin giderilmesi için yapılmış teorik ya da pratik tüm çalışmaların detaylı bir şekilde incelenmesi ve giderilemeyen eksiklikler için yeni çözüm yolları sunmaktır. Sonuç olarak, kapsül endoskopisi günümüzde önemli bir tanı ve tedavi yöntemi haline gelmiştir ve teknolojik gelişmeler sayesinde gelecekte daha da geliştirilmesi mümkün olacaktır. Bu teknolojinin potansiyeli çok büyük ve tıp dünyasında önemli bir yer tutacaktır. Bu alandaki çalışmaların daha da hızlandırılması ve desteklenmesi, sağlık hizmetlerinin iyileştirilmesine katkıda bulunacaktır.

Anahtar kelimeler: kapsül endoskopi; görüntüleme yöntemi; gastrointestinal sistem; non-invaziv; teknolojik gelişmeler

Capsule Endoscopy: A Review on an Innovative Imaging Technique and its Future

Abstract

Capsule endoscopy is an imaging technique used to diagnose and treat problems inside the digestive system. This technology allows internal organs to be visualized by swallowing a small capsule or inserting it through the anus. It is a method that can replace traditional endoscopic methods to detect damaged areas in the gastrointestinal tract. The advantages of capsule endoscopy include that it is less invasive than traditional endoscopic methods, causes less discomfort and allows the patient to return to normal activities quickly. However, capsule endoscopy is not yet a fully developed technology and has some shortcomings. Some of these shortcomings can be addressed technologically, while others need further study and research. For example, conventional endoscopy has an apparatus for sampling, whereas capsule endoscopy does not. Or, more advanced data processing technologies are required for rapid collection and processing of data obtained during capsule endoscopy. In addition, technological advances are needed to further reduce the size of the capsule and increase battery life. The aim of this research is to examine what capsule endoscopy is, how it works, which diseases can be imaged, and to examine in detail all the theoretical or practical studies that have been done so far to eliminate the deficiencies identified in this device and to offer new solutions for the deficiencies that cannot be eliminated. In conclusion, capsule endoscopy has become an important diagnostic and therapeutic modality and will be further developed in the future thanks to technological advances. The potential of this technology is enormous and will play an important role in the medical world. Further acceleration and support of studies in this field will contribute to the improvement of health care.

Keywords: capsule endoscopy; imaging modality; gastrointestinal system; non-invasive; technological advances

1. Giriş

Geleneksel endoskopik yöntemlerle yemek borusu, mide, oniki parmak bağırsağı ve kalın bağırsağın incelenmesi mümkündür. Ancak duodenum, jejunum ve ileum yani ince bağırsak bölümleri, kanal çaplarının dar ve mukozal yüzeylerinin geniş olması sebebiyle incelenmesi ve değerlendirilmesi en zor kısımlardır. Bu amaçla bilim insanları kapsül endoskopi geliştirmişlerdir.

Kapsül endoskopi en sık yeri saptanamayan, gizli gastrointestinal kanamalarda, Crohn hastalığı gibi ince bağırsakları tutabilen iltihabi hastalıkların araştırılmasında kullanılır. Yine açıklanamayan demir eksikliği anemisi, uzun süreli ishal, karın ağrısı ve kilo kaybı ile giden hastalıkların araştırılmasında, ince bağırsakların polip veya tümörlerinin tanısında da kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, doğal vücut açıklıklarından geçerek non-invazif bir şekilde uygulanır ve hastalara herhangi bir rahatsızlık vermez (Kapsül Endoskopi - Dr. Enver AKBAŞ, n.d.).

Kapsül endoskopi sistemi, 12mm*26mm boyutlarında plastik bir kapsül ve vücut dışında bulunan bir kaydedici cihazdan oluşur. Kapsül, 140°'lik bir görüş açısına sahip olup, optik kubbe, kamera, pil ve antenden oluşur. Saniyede 2 görüntü alabilir ve 8 saat boyunca sürekli çekim yapabilir. Alınan görüntüler 1:8 oranında büyütülerek kaydediciye radyo frekans dalgalarıyla iletilir. Kaydedici genellikle bel kısmına bant ya da bir kemer yardımıyla tutturulur ve 6-8 saat boyunca görüntülerin kaydedilmesini sağlar (Kapsül Endoskopi – Prof. Dr Ahmet DOBRUCALI, n.d.).

Kaydedilen görüntüler, süre sonunda özel program yüklü bir bilgisayara aktarılır ve uzman hekimler tarafından değerlendirilir. Bu sayede, ince bağırsak bölümleri de dahil olmak üzere gastrointestinal sistemin farklı bölgelerinde oluşan hastalıkların teşhisi mümkün hale gelir.

Tüm bu gelişmelere rağmen kapsül endoskopide geliştirilmesi gereken birtakım noktalar mevcuttur. Örneğin Kapsül endoskopide, kapsülün hareket kabiliyeti sınırlıdır ve yalnızca vücuttaki peristaltik hareketlere güvenmektedir. Bu durum, ince bağırsak gibi dar ve karmaşık bölgelerin tam olarak görüntülenmesini zorlaştırabilir. Kapsüllerin daha hassas ve kontrol edilebilir hareket yeteneklerine sahip olması için geliştirmeler yapılması gerekmektedir.

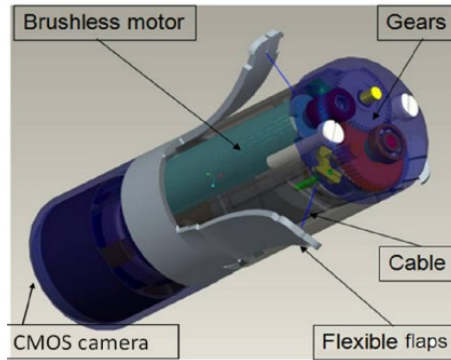
Pil ömrü ve gücü, uzun süreli incelemeler için önemlidir. Daha uzun pil ömrüne sahip kapsüller, daha geniş bir alanı kapsayabilir ve daha fazla veri toplayabilir. Ayrıca, daha güçlü piller, kapsülün ilerlemesini ve hareketini iyileştirerek incelenmek istenen bölgelerin daha etkili bir şekilde görüntülenmesini sağlayabilir.

Kapsül endoskopisi, genellikle görüntüleme amaçlı kullanılan bir yöntemdir ve doku örneği alabilme yeteneği sınırlıdır. Kapsül endoskopisinde biyopsi yeteneğinin geliştirilmesi, daha doğru teşhislerin yapılmasına ve tedavi planlarının belirlenmesine yardımcı olabilir. Özellikle şüpheli lezyonlar veya kanser tespiti gibi durumlarda, doğru bir biyopsi örneği almak, hastalığın doğru şekilde değerlendirilmesini sağlar ve tedaviye yönelik önemli bilgiler sunar.

2. Aktif Hareket Mekanizmaları İçin Yapılmış Çalışmalar

2.1. Özofagus Kapsül Endoskopisi İçin Durdurma Mekanizması

Kapsül endoskopi cihazları doğal peristaltizme bağlı olarak pasif şekilde hareket ettikleri için endoskopiye gerçekleştiren uzman tarafından kontrol edilemez ya da durdurulamazlar. Ancak özofagus hastalıklarının teşhisinde, kapsül yemek borusundan hızlı bir geçiş yaptığı için görüntülerin elde edilmesi zorlaşmaktadır. Bunun için özofagus kapsül endoskopisi durdurma mekanizması geliştirilmiştir.



Şekil 1. Kapsül tasarımının CAD çizimi.

Bu tasarımın bilgisayar destekli tasarım (CAD) modeli Şekil 1'de gösterilmektedir. Silindirik bir kabuk fırçasız bir aktüatör, bir kasnak, bazı rulmanlar ve dört düz diş bulunan silindirik dişli içerir. Esnek SMA kanatları, Kapsülün etrafına eşit aralıklarla yerleştirilen kanatlar, kapsül kabuğunda tasarlanmış üç özel oluk içine yerleştirilmiştir. Kanatlar, ince Kevlar teller (-0,15 mm) aracılığıyla iç kasnağa bağlanır.

Mekanizma, kapsüller sürtünmeyi artırmak için özofagus duvarlarına bastırılan uyumlu ayaklara sahip süperelastik malzemeden (SMA: Şekil Hafızalı Alaşım) 3 aktuatörlü bacadan oluşmaktadır. Ayaklar açık konfigürasyonda tasarlanmış ve elektromanyetik bir Doğru Akım (DC) fırçasız motor tarafından kontrol edilerek kuvvet sensörleri ile döngü kapatılmıştır. Özofagus anatomik boyutları ve mekanik kısıtlamalar nedeniyle, en uygun DC fırçasız mikromotorun 4 mm çapında, toplam uzunluğu 17,4 mm olan ve çıkış torku olarak 5,7 N sağlayan Namiki SBL 04 (Namiki, Japonya) olduğu görülmektedir. Bacaklar, özofagus duvarıyla istem dışı teması önlemek için kapsül kabuğu oluklarının içine hafifçe gömülmüştür.

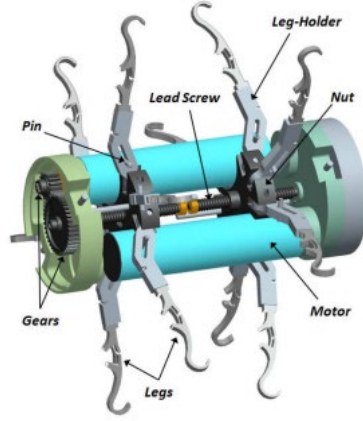
Bacaklar tarafından özofagus duvarlarında oluşturulan sürtünme kuvvetinin aktif kontrolü, DC motor ile döngüyü kapatan kuvvet sensörleri ile sağlanmıştır. Mekanizmanın çevre dokuya uyguladığı kuvveti ölçmek için her bir bacağı iki gerinim ölçer yerleştirildi. Bu, önemli bir rahatsızlığa neden olmadan hastanın özofagusuna göre ayarlanabilen bacak açıklığının küçük ayarlamalarını mümkün kılacaktır. Yutma sırasında ve sonrasında bacaklar kapanır ve kapsül ihmal edilebilir bir sürtünmeyle lümeninden geçer. Endoskopist cihazı durdurmak istediği anda, kullanıcı arayüzü tarafından kablosuz olarak bir serbest bırakma komutu gönderilir ve kapsülün içine yerleştirilmiş mekanizma serbest bırakılır. Bu, bacakların aniden açılmasını sağlar, böylece özofagus duvarları ile sürtünme artar (S. Tognarelli vd., 2009).

2.2. 12 Bacaklı Kapsüller Endoskopi Mekanizması

Bağırsaklar kalın bir kayganlaştırıcı mukus tabakası ile kaplıdır. Sürtünme katsayısı 10^{-3} ve 10^{-4} mertebesinde. Bu da kapsül bağırsak ortamında görüntü alırken birtakım zorluklar meydana getirir. Bu mekanizmada bulunan bacaklar sayesinde kapsül kaygan ve elastik bir alt tabaka üzerinde rahatça hareket edebilmektedir.

Bu mekanizmanın en önemli noktası, kapsülün içermesi gereken bacak sayısıdır. Daha fazla bacak, kapsülü itmek için gereken kuvveti daha fazla temas noktasına dağıtarak, tek bir ayak kaymasının etkisini azaltacak ve her bir ayağı kolon duvarına daha nazik hale getirecektir (Şekil-2). Daha fazla bacak, kolonu daha homojen bir şekilde distanse edecek ve iç yüzeyin görselleştirilmesini iyileştirecektir.

Başka bir önemli noktası da aktüatör seçimidir. Bacaklı kapsüllerin test edilmesi ve modellenmesi deneyimi, 12-bacaklı bir kapsül robot tasarımı için her bir bireysel ayağın yaklaşık olarak 2/3 N kuvvetin yeterli olacağını göstermektedir. Kapsül dışında, içine kıyasla oldukça uzun bir kolu vardır, bu nedenle bu kuvvet gereksinimi, aktüatörlerin hem güçlü hem de kompakt olması gerektiği anlamına gelir (Pietro Valdastrı vd.,2009).



Şekil 2. Kapsülün iç bileşenleri ve yandan görünüşü.

3. Pil Ömrü ve Gücü İçin Yapılmış Çalışmalar

Güç kaynağı, endoskopik kapsül sistemi entegrasyonunda kritik bir konudur. Piyasada bulunan endoskopik kapsüllerin çoğunda kapsül kabuğuna gümüş oksit madeni para piller entegre edilmiştir ve bu piller 3 V 55 mAh voltajda yaklaşık 8- 10 saat çalışarak ortalama 20 mW güç sağlar. Gümüş oksit piller, en verimli güç çözümü olmamalarına rağmen klinik kullanım için onaylanmış tek pil türü oldukları için seçilmiştir.

Pil ömrünü ve gücünü artırmak hem teşhis hem de tedavi işlevlerini entegre eden aktif hareket cihazlarının geliştirilmesi için temel teknolojik hedeflerdir. Güç kaynağı için umut verici bir çözüm lityum iyon polimer (LiPo) teknolojisi ile temsil edilmektedir. Bu kullanıma hazır şarj edilebilir piller yaklaşık 200 Wh/kg gibi yüksek bir enerji yoğunluğuna sahiptir ve normal nominal akımlarının 20 katına kadar tepe akımları sağlayabilirler. Yüksek güç ve küçük ve özel şekilli paket, LiPo pilleri endoskopik kapsüllere entegre edilmek için iyi adaylar haline getirmektedir.

Bir başka çalışmada indüktif güçlendirme teknolojisini entegre eden bir video kapsülü aynı şekilde Lenaerts ve arkadaşları tarafından vücut içi uygulamalar için geliştirilmiştir. Bir solenoid bobin tarafından üretilen harici bir manyetik alan, kapsül üzerindeki üç dahili bobini besler ve böylece 150 mW'a kadar güç sağlar. Bu sayede belirtilen eksiklikler girelimiş olmaktadır (Gastone Ciuti vd. 2011).

4. Kapsül Endoskopide Biyopsi İçin Yapılmış Çalışmalar

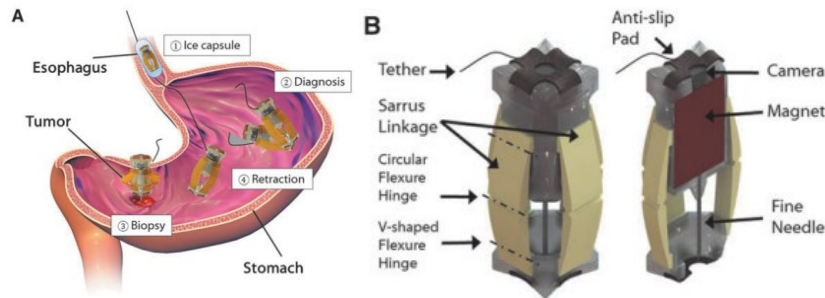
"İnce iğne kapiller biyopsi için manyetik olarak aktive edilen yumuşak kapsül endoskop", başlangıçta Son ve diğerleri tarafından kavramsallaştırılmıştır ve mide endoskopik ince iğne biyopsisi yapmak üzere tasarlanmıştır. Robotun işlevsel gereksinimleri, hareket, kamera açısı kontrolü ve biyopsi için örnek toplama içermektedir. Gastrointestinal sistemin peristaltizmi, bir kapsülü tüm sistemin içinden hareket ettirebilir.

Ancak, örneklerin doğru bir şekilde toplanması aktif hareket gerektirir. Ayrıca, mide serbest bir alan içerdiği için kapsülün yönelimi, örnek hedeflerini görsel olarak belirlemek için aktif bir şekilde kontrol edilmelidir. Uzaktan manyetik kapsül manipülasyon yöntemleri üzerinde yapılan çalışmalar, böyle

manyetik olarak aktif kapsül endoskoplarının olduğunu göstermiştir, burada manyetik kuvvet ve tork dışarıdan uygulanan manyetik alan aracılığıyla robota iletilir. Ayrıca, hareket için robota zaten dahil edilen kalıcı mıknatıs, robotun konumunu dışarıda yer alan manyetik alan sensörleri tarafından tespit etmek için kullanılabilir.

Şekil 3A, uygulama senaryosunu göstermektedir. İlk olarak, robot buz veya jelatin gibi bir koruyucu madde ile kaplanır ve hasta bunu yutar. Ardından, magnetik manipülasyon sistemiyle donatılmış bir yatağa yatar. Robot mide içinde yerleştirildiğinde ve koruyucu madde çözündüğünde, bir doktor televizyon operasyonu ile mideyi yönlendirir. Doktor, şüpheli lezyonları bulmak için kapsülü konumlandırabilir ve yeniden yönlendirebilir. Bir lezyon bulunduğunda, doktor robotu lezyona yaklaştırmak ve biyopsi yapmak için kontrol edebilir. Görsel endoskopi ve biyopsi yapıldıktan sonra, robot ince bir ip ile geri çekilir. Biyopsi örneklerini almak için robotu tüm gastrointestinal sistemden geçirmek yerine, ip kullanılarak robotun geri çekilmesi, örnek kontaminasyonunu ve bağırsakta güvenlik sorunlarını önlemek için gereklidir.

Şekil 3B, robotun tasarımını açıklar. Robot hap şeklindedir ve biyopsi iğnesi, Sarrus bağlantısı, kalıcı mıknatıs, endoskopik kamera, üst gövde kasa, alt gövde, kaymaz pedler ve bir ip içerir. İç mıknatıs, hem manyetik olarak hareket edilebilen gövde hem de lokalizasyon için manyetik alan kaynağı olarak işlev görür. Mıknatıs, dışarıdan oluşturulan manyetik alan ve manyetik alan gradienti varlığında manyetik tork ve kuvvet deneyimler. Manyetik alanı ve gradientini hassas bir şekilde kontrol ederek, robot istenen bir yönelime hizalayabilir ve istenen bir kuvvet uygulayabilir. İnce iğne, ince iğne işlevi için kullanılır. İğne hızlı bir şekilde bir tümöre nüfuz ettiğinde, kapiller kuvvet biyopsi örneğini içi boş iğnenin içine hapseder. Hapsedilen örnek daha sonra sitolojik bir testle incelenir (Donghoon Son vd.,2019).



Şekil 3. A-Uygulama senaryosu, B- Robot tasarımı.

5. Sonuç

Bu çalışmalar, kapsül endoskopisinin geliştirilmesi ve daha etkili bir şekilde kullanılması için önemli ipuçları sağlamaktadır. Örneğin, özofagus kapsül endoskopisi durdurma mekanizması üzerine yapılan araştırmalar, kapsülün özofagustaki hareketini kontrol etmek ve daha hassas bir şekilde görüntü elde etmek için yeni tekniklerin geliştirilmesine olanak tanımaktadır.

İnce bağırsaklarda kapsül hareketini kontrol etme yeteneği üzerine yapılan çalışmalar, kapsülün ilerlemesini optimize etmek ve geçiş sırasında mümkün olan en fazla görüntü alımını sağlamak için yeni stratejilerin belirlenmesine yardımcı olmaktadır.

Bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar, kapsül endoskopisinin geliştirilmesi ve daha etkili bir şekilde kullanılması için önemli ipuçları sağlamaktadır. Özofagus kapsül endoskopisi durdurma mekanizması, ince bağırsaklarda kapsül hareketini kontrol edebilme yeteneği, pil ömrü ve gücü gibi alanlarda yapılan çalışmalar, kapsül endoskopisinin iyileştirilmesine ve hastalıkların daha doğru teşhis edilmesine yardımcı olabilir.

6. Teşekkür

Bizden hiçbir desteğini esirgemeyen çok değerli hocamız Prof. Dr. Ahmet KOLUMAN'a çok teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Ciuti, G., Menciassi, A., & Dario, P. (2011). Capsule endoscopy: from current achievements to open challenges. *IEEE reviews in biomedical engineering*, 4, 59-72.
- [2] Çamlıdağ İ. BT ve MR enterografi/enteroklizis; hasta hazırlığı, teknik, sekanslar ve protokoller. *Trd Sem 2022*;10(3):275-285.
- [3] Akın, F. E. & Ersoy, O., (2011). Sebebi bulunamayan gastrointestinal kanamalarda kapsül endoskopinin rolü. *Güncel Gastroenteroloji*; 15(3),167-173.
- [4] Kapsül Endoskopi - Dr. Enver AKBAŞ. (n.d.). Dr. Enver AKBAŞ - Gastroenteroloji ve İç Hastalıkları Uzmanı. <https://www.drenverakbas.com/hizmetlerimiz/kapsul-endoskopi>, Erişim: 15.05.2023.
- [5] Kapsül Endoskopi – Prof. Dr Ahmet DOBRUCALI. (n.d.). Prof. Dr Ahmet DOBRUCALI – reflü, Gastroskopi, Endoskopi, Kapsül Endoskopi, ERCP, PEG. <https://drahmetdobrucali.com/kapsul-endoskopi>, Erişim:15.05.2023.
- [6] Li, Z., & Chiu, P. W. Y. (2018). Robotic endoscopy. *Visceral medicine*, 34(1), 45-51.
- [7] ORMAN, S., & GÜLTEKİN, O. S. (2018). Gastrointestinal semptomlara göre kapsül endoskopinin açıklayıcı gücü ve önemi. *Endoskopi Gastrointestinal*, 26(1), 17-26.
- [8] Son, D., Gilbert, H., & Sitti, M. (2020). Magnetically actuated soft capsule endoscope for fine-needle biopsy. *Soft robotics*, 7(1), 10-21.
- [9] Tekin, A. (2006). Gastrointestinal görüntüleme bir yenilik: Kapsül endoskopi. *Selçuk Tıp Dergisi*, 23(1), 39-43.
- [10] Tognarelli, S., Quaglia, C., Valdastrı, P., Susilo, E., Menciassi, A., & Dario, P. (2009). Innovative stopping mechanism for esophageal wireless capsular endoscopy. *Procedia Chemistry*, 1(1), 485-488.
- [11] Valdastrı, P., Webster, R. J., Quaglia, C., Quirini, M., Menciassi, A., & Dario, P. (2009). A new mechanism for mesoscale legged locomotion in compliant tubular environments. *IEEE Transactions on Robotics*, 25(5), 1047-1057.



Afyon Kocatepe Üniversitesi Yayınevi