

ISSN 1306-0007
e-ISSN 2651-4230

TARIM MAKİNALARI BİLİMİ DERGİSİ

Journal of Agricultural Machinery Science



2024

CİLT
VOLUME

20

SAYI
NUMBER

3

Tarım Makinaları Derneği Yayınıdır
Published by Agricultural Machinery Association

YIL (YEAR) 2024

CİLT (VOLUME) 20

SAYI (ISSUE) 3

Sahibi (President)

Tarım Makinaları Derneği Adına
(On Behalf of Agricultural Machinery Association)

Can ERTEKİN

Akdeniz Üniversitesi, Antalya

Editör Kurulu (Editorial Board)

Sayı Editörü (Issue Editor)

İlknur ALİBAŞ

Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa

Editörler (Editors)

Türkan AKTAŞ

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ

İlknur ALİBAŞ

Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa

Anıl ÇAY

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale

Alan Editörleri (Field Editors)

Yüksel AYDOĞAN

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın

Heinz BERNHARDT

Technical University of Munich, Germany

Sorin-Stefan BIRIS

Politehnica University of Bucharest, Romania

Zeynep DUMANOĞLU

Bingöl Üniversitesi, Bingöl

Ömer EREN

Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay

Shoojin JUN

Hawaii University, USA

Gürkan Alp Kağan GÜRDİL

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun

Aslı AYHAN ARSLAN

Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa

Gürkan Alp Kağan GÜRDİL

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun

Bernhard STREIT

Bern University of Applied Sciences, Switzerland

Shuichi YAMAMOTO

Yamaguchi University, Japan

Seher Yusnieva KADİROVA

University of Ruse "Angel Kanchev", Ruse, Bulgaria

Engin ÖZGÖZ

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat

Bahadır SAYINCI

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik

Mizanpaj Editörü (Layout Editor)

Ersen OKUR

Dergi Hakkında (About Journal)

**Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, Tarım Makinaları Derneği'nin bir yayınıdır.
Tarım Makinaları Bilimi Dergisi yılda üç sayı olarak yayınlanır.**

(Journal of Agricultural Machinery Science is published three times in a year by
Agricultural Machinery Association.)

Yayın Hakları (Copyright Policies)

**Bu derginin yayın hakları Tarım Makinaları Derneği'ne aittir. Derginin hiçbir
bölümü, yayıncının izni olmaksızın, herhangi bir şekilde çoğaltılamaz.**

(All rights reserved. No part of this publication may be reproduced in any form without the
prior permission of the publisher.)

Tarandığı İndeksler (Indexing)



**ROOT
INDEXING**



**Google
Scholar**



**Academic
Journal
Index**

ESJI

**Eurasian
Scientific
Journal Index**



**ASOS
INDEX**



Tarım Makinaları Derneği (TARMAKDER)

Yazışma Adresi (Correspondence Address)

Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve
Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Antalya
ertekin@akdeniz.edu.tr +90 505 257 90 80

Dernek Adresi (Association Address)

1462. Sok. No:33
Alsancak - İzmir / Türkiye
<https://www.tarmakder.org.tr>

İçindekiler (Contents)

Araştırma Makaleleri (Research Articles)

Sayfa (Page)

Buğday Üretiminde Fosil Yakıt Tüketim Kaynaklı Karbondioksit Emisyonu Ve Projeksiyon Tahmini-Sivas İli Örneği
Carbon dioxide emissions from fossil fuel consumption in wheat production and projection estimation-A Case in Sivas
Province
Ebubekir Altuntaş, Engin Özgöz

156-170

Arpa ve buğday bitkilerinin sınıflandırılmasında uzaktan algılama indislerinin karşılaştırılması
The comparison of remote sensing indices in the classification of barley and wheat crops
Aykut Durgut, Sarp Korkut Sümer, Emre Özelkan

171-197

Budama Artıklarının Değerlendirilmesinde Kullanılan Bazı Makinaların Maliyetlerinin Belirlenmesi: Akdeniz Üniversitesi Kampus Alanları Örneği

Determination of the Costs of Some Machinery Used on Valorization of Pruning Residues: A Case Study for Campus Areas of Akdeniz University
Murad Çanakçı, Mehmet Topakçı, Davut Karayel, Hasan Yılmaz, Mete Yiğit, Derya Ortaçesme

198-217

Derleme Makaleleri (Review Articles)

Sayfa (Page)

Tarımda Otonom Araçların Kullanımı

Use of Autonomous Vehicles in Agriculture
Mehmet Metin Özgüven, Maksut Barış Eminoğlu, Ahmet Çolak

218-234

Buğday Üretiminde Fosil Yakıt Tüketim Kaynaklı Karbondioksit Emisyonu Ve Projeksiyon Tahmini-Sivas İli Örneği

Carbon dioxide emissions from fossil fuel consumption in wheat production and projection estimation-A Case in Sivas Province

Ebubekir Altuntaş^{1,*} Engin Özgöz¹

¹; Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tokat, Türkiye.

* Corresponding author (Sorumlu Yazar): E. Altuntaş, e-mail (e-posta): ebubekir.altuntas@gop.edu.tr

Makale Bilgisi

Alınış tarihi : 16.09.2024
Düzeltilme tarihi : 12.12.2024
Kabul tarihi : 16.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Buğday,
Özgül yakıt tüketimi,
Özgül CO₂ emisyonu,
Projeksiyon

Altuntaş, E., Özgöz, E. "Buğday Üretiminde Fosil Yakıt Tüketim Kaynaklı Karbondioksit Emisyonu Ve Projeksiyon Tahmini-Sivas İli Örneği" Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 20(3): 156-170

ÖZET

Bu çalışmada, Sivas ilinde buğday üretiminde fosil yakıt tüketim kaynaklı karbondioksit emisyonunu belirlemek amaçlanmıştır. Çalışmada, Sivas ilinde, 2014-2023 yılları arasında ana ürün buğday üretim alanı, üretim miktarı ve verim değerleri Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarım istatistiklerinden alınmıştır. Sivas ilinde buğday üretiminde yakıt tüketim değeri olarak Altuntaş ve ark. (2019) tarafından açıklanan değerler kullanılmıştır. Sivas ilinde buğday üretimi için fosil (yakıt ve yağ) kaynaklı meydana gelen CO₂ emisyonlarının tespitine ait yapılan hesaplamalarda, Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC, 1996)'inde açıklanan yakıt ve yağ kaynaklı toplam CO₂ emisyonu hesaplamaları göz önüne alınmıştır. Bu amaçla, Sivas ilinde buğday üretiminde 2014-2023 yılları arasında oluşan toplam fosil yakıt kaynaklı ortalama CO₂ emisyonu, özgül yakıt tüketimi ve özgül CO₂ emisyonu değerleri sırasıyla 41.70 ktCO₂, 21.32 g_{yakıt} kg_{ürün}⁻¹ ve 72.87 g_{CO2} kg_{ürün}⁻¹ olarak belirlenmiştir. Sivas ilindeki buğday üretiminin 2024-2033 yıllarına ait projeksiyon tahminlerine göre, toplam CO₂ emisyonu, özgül yakıt tüketimi ve özgül CO₂ emisyon değerlerinin düşme eğilimi göstereceği tahmin edilmektedir.

Article Info

Received date : 16.09.2024
Revised date : 12.12.2024
Accepted date : 16.12.2024

Keywords:

Wheat,
Specific fuel consumption,
Specific CO₂ emission,
Projection

Altuntaş, E., Özgöz, E. "Buğday Üretiminde Fosil Yakıt Tüketim Kaynaklı Karbondioksit Emisyonu Ve Projeksiyon Tahmini-Sivas İli Örneği" Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 20(3): 156-170

ABSTRACT

In this study, it is aimed to determine the carbon dioxide emission from fossil fuel consumption in wheat production in Sivas province. In the study, the wheat production area, production amount and yield values in Sivas province between 2014-2023 were obtained from Turkish Statistical Institute (TurkStat). As fuel consumption value in wheat production in Sivas province, the values described by Altuntaş et al. (2019) were used. In the calculations for the determination of CO₂ emissions from fossil (fuel and oil) sources for wheat production in Sivas province, the total CO₂ emissions from fuel and oil as described in the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 1996) were taken into consideration. For this purpose, after the calculations made for the periods between 2014-2023 in Sivas province, the total fossil fuel-derived CO₂ emission, specific fuel consumption and specific CO₂ emission values were determined as 41.70 ktCO₂, 21.32 g_{fuel} crop⁻¹ and 72.87 g_{CO2} kg_{crop-1} in wheat production, respectively. According to the projection estimates for the years 2024-2033, total CO₂ emissions, specific fuel consumption and specific CO₂ emission values are estimated to show a decreasing trend in wheat production in Sivas province.

1. GİRİŞ

Küresel ısınma ve bu nedenle oluşan iklimsel değişiklikler, dünyadaki tüm ülkeler ve bu kapsamda Türkiye için de yakından takip edilmesi gereken en önemli sorunlardan birisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Sanayi devrimiyle başlayan yoğun üretim ve yoğun tüketim için ihtiyaç duyulan enerjinin tedarikinde yenilenemeyen fosil kaynaklı yakıtların kullanımının artışıyla meydana gelen ekonomik düzeydeki büyümeye paralel olarak, atmosfere salınan CO₂, CH₄ ve N₂O (diazot monotoksit) gibi sera gazlarının büyük oranda artışı küresel ısınmanın ve iklimsel değişiklik problemlerinin oluşumuna zemin oluşturmuştur (Massey ve ark., 2019). Bugün de iklimsel değişiklikler etkilerini artırarak ülkesel, bölgesel ve yerel bazda farklı şekillerde göstermektedir (Aydın, 2023).

Türkiye yarı kurak bölgede bulunduğu için iklimsel değişikliğinin etkilerine en hassas ülkelerden birisi olup, gelecek yıllarda da daha kurak ve daha sıcak aynı zamanda yağışlar bakımından da daha belirsiz bir iklim yapısına sahip olacağı düşünülmektedir (IPCC, 2013). Tarımsal üretim verimliliğini etkileyen iklim değişikliğinin etkisiyle yağış rejimindeki değişim, sıcaklıklarda artma (sıcak hava dalgaları), kuraklıkla birlikte çölleşme ve doğal afetlerin (seller ve fırtınalar) oluşturacağı olumsuz etkiler; tarım sektörünü, ekosistemi ve ekonomiyi önemli düzeyde tehdit etmektedir (Hayaloğlu, 2018). Türkiye, mevcut tarımsal ekosistemleriyle, iklimsel değişikliklerden önemli düzeyde olumsuz olarak etkilenmektedir. Bu etkinin sonuçları; Türkiye için hem ekolojik hem de ekonomik ve sosyal olarak gözlenebilmektedir (Aydın ve Aktuz, 2023). İklim değişikliğinin sebeplerini ortadan kaldırmadan sürdürülebilir bir kalkınmayı sağlayabilmek olası değildir (Smagulova ve ark., 2017).

Uluslararası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'nin raporunda; iklimsel değişikliğin %95 oranında insan kaynaklı olduğu ve iklimsel değişikliğin olumsuz etkilerini önlemeye yönelik olarak sera gazları emisyonlarının azaltılmasının gerekliliği vurgulanmaktadır (IPCC, 2014). Sera gazları emisyonlarını azaltmak, sadece belli başlı bazı ülkelerin değil, gelişimlerini tamamlayan ülkelerin üst düzey yatırımlarıyla mümkün olacağı görülmektedir (Aydın, 2023).

Tarımsal üretim sektöründe, tohum yatağı hazırlığı, ekim, bakım, çapalama, sulama, ilaçlama, hasat ve hasat sonrası ürünün depolanmasına kadar ki süreçte oluşan sera gazı emisyonları iklim değişikliğini tetikleyici bir rol oynamaktadır (Lal, 2004). Tarımsal üretimde enerji tüketimiyle verimlilik ve kârlılık birlikte değerlendirilir. Tarımsal üretim teknolojilerinin günümüzdeki hızlı değişimi ve gelişimiyle daha fazla kârlılık hedeflenmektedir. Buna karşın, güç kaynağı olan traktörler ve diğer tarım makinalarının yakıt ve motor yağı tüketimi kaynaklı egzoz emisyonları oldukça yüksektir (Küsek, 2018). Tarımsal üretim sisteminde yakıt ve motor yağının enerji kaynağı olarak kullanımı, traktör ile tarım alet ve makinalarının uyumlu olarak seçilmemesi ve aşırı yükte motor kullanımı gibi nedenlerle egzoz emisyonlarında duman, zehirli ve zararlı maddeler atmosfere salınabilmekte ve doğal ekosistem kirlenmektedir (Öztürk ve Vulkan, 2017). İklimsel değişikliğin gıdaya erişim ve gıda güvenliğini tehdit etmesine karşı atılabilecek en önemli adım, küresel ısınmaya neden olan sera gazları emisyonlarının azaltılmasıdır.

Tarımsal üretim sektörü, iklimsel değişikliklerden etkilenmekte ve bir yandan da iklimsel değişikliğe neden olmaktadır. Dünya ölçeğinde önemli oranda artan ve büyüyen endüstriyel tarım ve gıda üretim sistemi verimli olmasının yanı sıra sağlık, çevre ve ekonomik açıdan birçok soruna sebep olmaktadır (IFOAM, 1996; Vatansever ve ark., 2017).

Sera gazları emisyonlarını azaltmaya ilişkin yapılması düşünülen uygulamaların IPCC yöntemlerine uyumlu olmasının yanında, ülkesel, bölgesel ve yereli tam olarak yansıtacak verilerle emisyon tahminlerinin doğru bir şekilde yapıyor olması büyük önem arz etmektedir.

Sürdürülebilir tarım için tüm üretim periyotlarında enerjiyi daha etkin kullanmak ve fosil kaynaklı yakıt tüketiminin azaltılması gerekmektedir. Minimum düzeyde fosil kaynaklı yakıt tüketimi sera gazları emisyonlarının azaltılmasına ve daha etkin sürdürülebilir tarım sistemlerinin geliştirilmesine neden olacaktır (Öztürk, 2017). İklim değişikliğinin tarıma etkilerine yönelik olarak tarımsal üretimde yakıt kaynaklı sera gazı emisyonlarının tahmini, artışının kontrol altına alınabilmesi ve minimize edilmesine yönelik birçok il, bölge ve ülkesel bazda çalışmalar yapılmaktadır (Gořasa ve ark., 2021). Dolayısıyla birçok ürünün üretimine ait meydana gelecek sera gazları emisyonlarının belirlenmesi ve gelecek projeksiyonlarının ve buna göre analizler ve planlamaların yapılması için çalışmalardan elde edilen sonuçlar önemlidir. Bu çalışmada, Sivas ilinde yoğun olarak üretimi yapılan ana ürün buğday üretiminde fosil yakıt kaynaklı karbondioksit emisyon değerleri belirlenmeye çalışılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Sivas ili, 27 202 km²'lik alanıyla Türkiye'nin 2. büyük yüzölçümüne sahip ilidir. Sivas ilinde bitkisel üretim alanlarında tahıl üretimi ağırlıktadır. 2023 yılı istatistiklerine göre Sivas ilinde, tahıllar ve diğer bitkisel ürünler 526 887 ha, nadas alanları 250 674 ha, meyveler, içecek ve baharat bitkileri alanları 4 961 ha, sebze alanları ise 1 117 ha olmak üzere, toplam tarım alanlarının içinde buğday tarım alanı %31.42 oranla oldukça önemli bir yere sahiptir (TÜİK, 2024).

Sivas ilinde bitkisel üretimde genel olarak buğday ana ürün olup kuru tarım alanlarında yapılmaktadır. Buğday tarımında büyük oranda geleneksel toprak işleme yöntemi kullanılmaktadır. Bu uygulamanın doğal bir sonucu olarak ortaya çıkan rüzgâr ve su erozyonu ile il topraklarının sürdürülebilir tarımsal etkinliğinin azalması çok önemli bir sorundur. Birinci ve ikinci sınıf arazilerin büyük bir bölümü dışında tüm topraklar, toprak erozyonunun etkisi ve tehdidi altındadır (Anonim, 2014a). Dolayısıyla sürdürülebilir bir tarımsal üretimin sağlanması ve verim göz önüne alındığında toprak, su ve çevrenin muhafazasını sağlayan üretim planlamalarının yapılabilmesi önem arz etmektedir. Zira, Sivas ili tarım alanlarının 2.5 milyon hektardan fazla olan alanı su ve rüzgâr erozyonu etkisine maruz kalması nedeniyle, tarımsal üretimde sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi, su ve toprak kaynaklarını muhafazaya yönelik ve erozyonu minimize edecek alternatif toprak işleme sistemleri ve üretim planlamasının yapılmasını gerekli kılmaktadır (Anonim, 2014a). Sivas ilinde korumalı tarım uygulamaları, 2010 yılından itibaren ÇATAK (Çevre Amaçlı Tarım Arazilerinin Korunması) Projesi ile başlamıştır (Anonim, 2014b).

Sivas ilinde buğday ekimi, Eylül-Ekim aylarında yapılmakta olup, geleneksel üretimde toprak işlemede kulaklı pulluk ve diskli tırmık, ekim işleminde hububat ekim makinası kullanılmaktadır. Kulaklı pulluk ile 25-30 cm derinlikte esas sürüm yapıp, diskli tırmık ile 10 cm derinlikte yüzeysel işleme yapılmakta ve hububat ekim makinesi ile 5 cm derinlikte ve 20 kg da⁻¹ ekim normunda ekim yapılmakta olup, ekimde sıra arası uzaklığı 13-14 cm aralığında olabilmektedir. Tohumluk olarak Gerek-79, Bezostaja-1, Siyez buğdayı vb. çeşitler kullanılmaktadır. Ekimle birlikte, yöredeki çiftçi uygulaması olarak 15 kg da⁻¹ DAP gübresi yapılmakta ve ayrıca bitkilere kardeşlenme sonrası azot farklı formlarda verilebilmektedir. Çiftçiler, geleneksel olarak yabancı ot ilaçlaması yapmamaktadır (Bulut, 2015; Yılmaz, Şimşek, 2013).

TÜİK tarafından yapılan 'VII. Genel Tarım Sayımı Tarımsal İşletmeler Anketi'ne göre, Sivas'ta yer alan tarımsal işletme başına düşen ortalama alan 95 da olup, 60 da olan Türkiye ortalamasından 35 da daha fazladır (Anonim, 2024). Sivas ilinde 2023 yılında 218 adedi tek akslı traktörler ve 27 279 adet iki akslı traktörler olmak üzere toplam traktör sayısı 27 497 adettir. Traktör güçleri incelendiğinde, toplam iki akslı traktörlerin %49.5'inin, 51-70 BG grubunda olduğu ve ortalama traktör gücünün 59.35 BG olduğu belirlenmiştir. Buğday üretimine göre tarımsal mekanizasyon düzeyi kriterlerinde birim buğday üretim alanı başına gücün 7.13 BG ha⁻¹, 1000 ha işlenen alana düşen traktör sayısının 120.15 traktör 1000 ha⁻¹ ve birim traktör başına düşen buğday işlenen alanının da 8.32 ha traktör⁻¹ olduğu belirlenmiştir. Sivas ilinde, 2014-2023 yılları arasında ana ürün buğday üretim alanı, üretim miktarı ve verim değerleri Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarım istatistiklerinden alınmış (TÜİK, 2024) ve Çizelge 1'de verilmiştir. Sivas ilinde, 2014-2023 yılları arasında buğday ekili alanlarda %13.86 azalış görülürken, üretim miktarlarında %21.53 ve verim değerlerinde %39.18'lik bir artış kaydedilmiştir (Çizelge 1).

Bu çalışmada, Sivas ilinde buğday üretiminde yakıt tüketim değeri olarak Altuntaş ve ark. (2019) tarafından açıklanan değerler kullanılmıştır. Altuntaş ve ark. (2019) Sivas ili için buğday üretiminde çiftçinin uyguladığı geleneksel toprak işleme ve ekim makinalarının yakıt tüketimi değerlerini ASAE (1999), ASAE (2011) ve Heller ve ark. (2003)'de verilen eşitlikleri kullanılarak 45.07 l ha⁻¹, gübreleme için kullanılan santrifüj gübre dağıtma makinası ve biçerdöverin toplam yakıt tüketimi değerini ise Özden ve Soğancı (1996)'dan 55.92 l ha⁻¹ olarak hesaplamışlardır. Sivas ilinde buğday üretimi için yağ tüketimi değerleri ise toplam yakıt tüketiminin %4.5'i (Özcan, 1985 ve AlpKent, 1984) olacak şekilde hesap edilmiş ve tüketilen yağ miktarı 2.52 l ha⁻¹ olarak belirlenmiştir (Altuntaş ve ark., 2019). Buğday üretiminde kullanılan yakıt ve yağın ısı değerleri ile CO₂ emisyon faktörleri Çizelge 2'de verilmiştir (IPCC, 1996; Öztürk ve ark., 2017; Bilgili ve Aybek 2018; Küsek, 2018).

Çizelge 1. Sivas ilinde buğday üretim alanı, üretilen ürün miktarı ve ürün verim değerleri (TÜİK, 2024)

Yıllar	Ekili alanı (ha)	Üretim miktarı (ton)	Verim (ton ha ⁻¹)
2014	285 844	497 328	1.71
2015	296 708	751 925	2.68
2016	275 380	578 709	2.35
2017	284 213	569 158	2.49
2018	269 979	624 119	2.32
2019	249 766	550 805	2.44
2020	238 858	585 838	2.52
2021	237 085	391 692	1.81
2022	238 968	585 931	2.61
2023	246 199	604 399	2.38
Ortalama	262 300	573 990	2.33

Çizelge 2. Buğday üretiminde tüketilen dizel yakıt ve kullanılan motor yağının ısı değerleri ve CO₂ emisyon faktörleri

Yakıt	Yakıt Alt Isıl Değeri (GJ l ⁻¹)	CO ₂ Emisyon Faktörü (kg _{CO2} GJ ⁻¹)
Dizel	0.0371	74.01
Motor yağı	0.0382	73.28

Sivas ilinde buğday üretimi için fosil (yakıt ve yağ) kaynaklı meydana gelen CO₂ emisyonlarının tespitine ait yapılan hesaplamalarda, Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC, 1996)'inde açıklanan yakıt ve yağ kaynaklı toplam CO₂ emisyonu hesaplamaları göz önüne alınmıştır (Öztürk ve ark., 2017; Bilgili ve Aybek 2018; Küsek, 2018). Fosil kaynaklı CO₂ emisyonlarının hesaplanmasında kullanılan eşitlikler Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Fosil (yakıt ve yağ) kaynaklı meydana gelen CO₂ emisyonlarının tespitine ait yapılan hesaplamalarda kullanılan eşitlikler ((IPCC, 1996).

$TCE = YKCE + YaKCE$ <p><i>Toplam CO₂ emisyonu = Yakıt kaynaklı CO₂ emisyonu + Yağ kaynaklı CO₂ emisyonu</i></p>
$YKCE = TTDM \times YAID \times YEF$ <p><i>Yakıt kaynaklı CO₂ emisyonları (kg_{CO2}) = Toplam tüketilen dizel miktarı (l) x Yakıtın alt ısıl değeri (0.0371 GJ l⁻¹) x Yakıt emisyon faktörü (74.01 kg_{CO2} GJ⁻¹)</i></p>
$YaKCE = TTYM \times YaAID \times YaEF$ <p><i>Yağ kaynaklı CO₂ emisyonları (kg_{CO2}) = Toplam tüketilen yağ miktarı (l) x Yağın alt ısıl değeri (0.0382 GJ l⁻¹) x Yağ emisyon faktörü (73.28 kg_{CO2} GJ⁻¹)</i></p>

Buğday üretimine yönelik olarak ürün bazlı yakıt tüketimi ve ürün bazlı CO₂ emisyonun belirlenmesinde, üretilen ürün miktarına düşen yakıt tüketimini ifade eden özgül yakıt tüketimi ve üretilen ürün miktarına düşen CO₂ emisyonu oluşumunu ifade eden özgül CO₂ emisyonu eşitlikleri dikkate alınmıştır (Öztürk ve ark., 2017; Bilgili ve Aybek 2018; Küsek, 2018).

$$YTÖ = \frac{TYT}{ÜÜM}$$

Burada;

- YTÖ : Özgül yakıt tüketimi (g_{yakıt} kg_{ürün}⁻¹),
 TYT : Tüketilen yakıt miktarı (g_{yakıt}) ve
 ÜÜM : Üretilen ürün miktarıdır (kg_{ürün}).

Toplam tüketilen yakıt miktarının litre biriminden gram birimine çevrilmesinde, toplam yakıt miktarı dizel yakıtın yoğunluk değeri olan 0.84 g cm⁻³ ile çarpılmıştır (Beşergil, 2009).

$$ÖzCE = \frac{TCE}{ÜÜM}$$

Burada;

- ÖzCE : Özgül CO₂ emisyonu (gCO₂ kg_{ürün}⁻¹),
 TCE : Toplam CO₂ emisyonu (gCO₂) ve
 ÜÜM : Üretilen ürün miktarıdır (kg_{ürün}).

Sivas ilinde buğday üretiminin 2014-2023 yılları arasını kapsayan 10 yıllık periyot için hesaplanan toplam CO₂ emisyonu, özgül yakıt tüketimi ve özgül CO₂ emisyonu değerleri dikkate alınarak, bu parametreler için değer artış ve azalışlarının yüzdelik oranları hesaplanmış, bu yüzdelik oranlarının projeksiyon ortalama katsayıları belirlenmiştir. 2014-2023 yılları arası için bir önceki yıla ait toplam CO₂ emisyonu, özgül yakıt tüketimi ve özgül CO₂ emisyonu değerleri ile o parametreye ait projeksiyon katsayısının çarpılıp, değerlerdeki azalış veya artışlar doğrultusunda Sivas ili buğday üretimindeki

gelecek 10 yıl (2024-2033) için toplam CO₂ emisyonu, özgül yakıt tüketimi ve özgül CO₂ emisyonu projeksiyon tahminleri yapılmıştır (Altuntaş, 2020).

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Sera gazı salınımıyla ilgili olarak incelenen toplam CO₂ emisyonu, özgül yakıt tüketimi ve özgül CO₂ emisyonu Sivas ili buğday üretim alanı, toplam üretim miktarı ve verim değerlerinden etkilenmektedir. Sivas ili için bu değerler 2014-2023 dönemi için Çizelge 1’de verilmiştir. Buna göre Sivas İlinde buğday üretiminde 2014-2023 yılları arasında ortalama üretim alanı 262 300 ha, üretilen ürün miktarı 573 990 ton ve verim ise 2.33 ton ha⁻¹ olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 1). Sivas ilinde buğday ekim alanı, üretim miktarı ve verim değerlerinin 10 yıllık dönemde 2015 yılında en yüksek ve 2021 yılında en düşük değeri almıştır. Buğday ekim alanı, üretim miktarı ve verim değerlerinin bir önceki yıla göre değişimi Şekil 1’de görülmektedir.

Üretim alanı değerlerinde çok büyük değişim olmamakla birlikte genel olarak azalma eğilimindedir ve son iki yılda küçükte olsa bir artış görülmektedir. Toplam üretim miktarında çok büyük değişim olduğu ve üretim alanındaki değişimden farklı olduğu görülmektedir. Üretim alanı değerleri 2017 yılında bir önceki yıla göre artarken üretim miktarının azaldığı, 2018 ve 2019 yıllarında ise üretim alanı azalırken üretim miktarının arttığı görülmektedir. Üretim alanı 2021 yılında %1 azalırken üretim miktarının %50 azalması ve 2022 yılında ise üretim alanı %1 artarken üretim miktarının %33 artıyor olması dikkat çekicidir. Verim değerlerindeki değişim de üretim miktarında olduğu gibi oldukça yüksektir.

Üretim alanı, üretim miktarı ve verim değerlerindeki değişim birlikte değerlendirildiğinde özellikle 2017 yılında sırasıyla %3 (artış), %2 (azalış) ve %5 (artış), 2018 yılında %5 (azalış), %9 (artış) ve %8 (azalış), 2019 yılında %8 (azalış), %13 (azalış) ve %5 (artış) ve 2023 yılında ise %3 (artış), %3 (artış) ve %10 (azalış) değişim olması verimdeki değişimin üretim alanı ve üretim miktarından doğrusal olarak etkilenmediğini göstermektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Sivas ili buğday üretim değerlerindeki yıllara göre değişim

Sivas ilinde son 10 yıllık dönemde (2014-2023 yılları arasında) buğday üretiminde hesaplanan ortalama toplam CO₂ emisyonu (TCE), özgül yakıt tüketimi (YTÖ) ve özgül CO₂ emisyonu (ÖzCE) değerleri Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Sivas ilinde buğday üretiminde 2014-2023 yılları arasındaki toplam CO₂ emisyonu, özgül yakıt tüketimi ve özgül CO₂ emisyonunun değişimi

Yıllar	TCE (Toplam CO ₂ emisyonu, ktCO ₂)	YTÖ (Özgül yakıt tüketimi, (gyakıt kgürün ⁻¹))	ÖzCE (Özgül CO ₂ emisyonu (gCO ₂ kgürün ⁻¹))
2014	45.90	27.00	92.30
2015	47.65	18.54	63.37
2016	44.22	22.35	76.42
2017	45.64	23.46	80.19
2018	43.36	20.32	69.47
2019	40.11	21.30	72.82
2020	38.36	19.15	65.47
2021	38.07	28.43	97.20
2022	38.38	19.16	65.49
2023	39.54	19.13	65.41
Ortalama	42.12	21.88	74.81

Sivas ili buğday üretiminin 2014-2023 yılları arasındaki fosil yakıt kaynaklı (dizel+yağ) toplam CO₂ emisyonu ortalaması 42.12 ktCO₂, özgül yakıt tüketimi ortalaması 21.88 gyakıt kgürün⁻¹ ve özgül CO₂ emisyonu ortalaması ise 74.81 gCO₂ kgürün⁻¹ olarak belirlenmiştir. Son 10 yıllık dönemde en düşük TCE (toplam CO₂ emisyonu) 2021 yılında 38.07 ktCO₂, en düşük YTÖ (Özgül yakıt tüketimi) 2014 yılında 18.54 gyakıt kgürün⁻¹ ve en düşük ÖzCE (Özgül CO₂ emisyonu)'nun ise 2015 yılında 63.37 gCO₂ kgürün⁻¹ olduğu görülmüştür. Son 10 yıldaki en yüksek TCE, YTÖ ve ÖzCE değerleri ise sırasıyla 2015 yılında 47.65 ktCO₂, 2021 yılında 28.43 gyakıt kgürün⁻¹ ve 2021 yılında 97.21 gCO₂ kgürün⁻¹ olarak hesap edilmiştir (Çizelge 4).

Üretim miktarı ile özgül CO₂ emisyonu değerlerinin 2014-2023 yılları arasındaki değişimine göre üretim miktarı azaldıkça özgül CO₂ emisyonunun arttığı anlaşılmaktadır (Çizelge 1 ve Çizelge 4). Üretim miktarındaki değişimin bir önceki yıla göre en fazla olduğu 2021 (%50 azalış) ve 2022 (%33 artış) yıllarında, özgül CO₂ emisyonundaki değişim sırasıyla %33 artış ve %48 azalış şeklinde olmuştur.

Son 10 yıllık dönemde Sivas ili buğday üretim alanı, üretim miktarı ve verim değerlerindeki ortalama değişim sırasıyla %2.45, %5.44 ve %3.24 azalma şeklinde olurken toplam CO₂ emisyonu, özgül yakıt tüketimi ve özgül CO₂ emisyonundaki değişim ise sırasıyla %2.45, %2.02 ve %2.02 azalma şeklinde olmuştur. Burada üretim alanı ile üretim miktarı arasındaki değişimin, iklimsel faktörlerin veya üretimle ilgili diğer faktörlerin etkisiyle farklılık gösterdiği söylenebilir.

Doğu Akdeniz bölgesi için yapılan çalışmada toplam CO₂ emisyonu değerlerinin Adana, Kahramanmaraş, Mersin, Hatay ve Osmaniye illeri için sırasıyla 50.64 ktCO₂, 44.39 ktCO₂, 26.92 ktCO₂, 17.48 ktCO₂ ve 15.07 ktCO₂ olduğu belirtilmiştir (Kuzu ve ark., 2024). Öztürk ve Vulkan (2017) ise

Türkiye geneli için 2010-2015 yılları arasındaki ortalama toplam fosil kaynaklı CO₂ emisyonunun buğday üretiminde 1.4 MtCO₂ yıl⁻¹ olduğunu belirtmektedir. Sivas ili için belirlediğimiz fosil yakıt kaynaklı toplam CO₂ emisyonu değerlerinin literatür sonuçları ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Ortalama özgül yakıt tüketim değerlerinin buğday üretiminde iller bazında değişimine ait Kuzu ve ark. (2024); Hatay için 154.27 g_{yakıt} kg_{ürün}⁻¹, Kahramanmaraş için 153.59 g_{yakıt} kg_{ürün}⁻¹, Mersin için 150.33 g_{yakıt} kg_{ürün}⁻¹, Osmaniye için 134.76 g_{yakıt} kg_{ürün}⁻¹ ve Adana için 107.81 g_{yakıt} kg_{ürün}⁻¹ olduğu açıklamışlardır. Öztürk ve Vulkan (2017) ise, Türkiye geneli için 2010-2015 yılları arasındaki değişimlerin ortalama özgül yakıt tüketiminin buğday üretiminde 20,7 g_{dizel} kg_{buğday}⁻¹ olduğunu açıklamıştır. Koga ve ark. (2003) Japonya'da geleneksel toprak işlemenin uygulandığı sistemde yakıt kaynaklı sera gazı emisyonunun 826.2 kg_{CO2} ha⁻¹ ve Khoshroo (2014) ise İran'da yürüttükleri çalışmada 2008, 2009 ve 2010 yılları için sırasıyla 69.12 kg_{CO2} ha⁻¹, 74.92 kg_{CO2} ha⁻¹ ve 83.17 kg_{CO2} ha⁻¹ olduğunu belirtmişlerdir. Bu sonuçlara göre çalışmada belirlenen Sivas için fosil yakıt kaynaklı özgül yakıt tüketimi değerlerinin hem iller bazında ve Türkiye geneli değerlerinin oldukça altında olduğu görülmektedir.

Ortalama özgül CO₂ emisyonun değerleri için buğday üretimi için Kuzu ve ark. (2024), Hatay ili için 327.49 g_{CO2} kg_{ürün}⁻¹, Kahramanmaraş için 326.05 g_{CO2} kg_{ürün}⁻¹, Mersin için 319.13 g_{CO2} kg_{ürün}⁻¹, Osmaniye için 286.07 g_{CO2} kg_{ürün}⁻¹, Adana için 228.87 g_{CO2} kg_{ürün}⁻¹ değerlerinin olduğunu açıklamışlardır. Öztürk ve Vulkan (2017) ise, Türkiye geneli için 2010-2015 yılları arasındaki dönem için ortalama özgül CO₂ emisyonunun buğday üretiminde 67.7 g_{CO2} kg_{buğday}⁻¹ olduğunu belirtmişlerdir. Bu sonuca göre çalışmada belirlenen Sivas için fosil yakıt kaynaklı özgül CO₂ emisyonunun hem iller bazında ve Türkiye geneli değerlerine göre biraz daha yüksek, ancak, iller bazındaki değerlere göre daha düşük değerde olduğu görülmektedir.

Sivas ili buğday üretiminde 2014-2023 yıllarına ait TCE, YTÖ ve ÖzCE değerleri dikkate alınarak 2024-2033 yıllarına ait projeksiyonları tahminleri hesaplanmış ve Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5'te, Sivas ilindeki buğday üretiminde 2014-2023 yıllar için TCE, YTÖ ve ÖzCE değerleri dikkate alınarak 2024-2033 yıllarına ait geçmiş yıllardaki değişim oranlarına göre elde edilen projeksiyon katsayıları incelendiğinde, TCE için -1.550, YTÖ için -0.975 ve ÖzCE için -0.971 olduğu görülmüştür. Gelecek yıllara göre toplam CO₂ emisyonunun, özgül yakıt tüketiminin ve özgül CO₂ emisyon değerlerinin düşme eğilimi göstereceği tahmin edilmektedir. 2033 yılında Sivas ilinde buğday üretiminde TCE, YTÖ ve ÖzCE değerlerinin sırasıyla 33.82 ktCO₂, 17.34 g_{yakıt} kg_{ürün}⁻¹ ve 59.33 g_{CO2} kg_{ürün}⁻¹ olacağı ön görülmektedir. Bu durum buğday üretiminde geçmiş yıllara göre gelecek yıllar açısından yakıt tüketimindeki azalmaya göre emisyon değerlerinde bir azalışın beklendiği sonucunu doğurmaktadır.

Sivas ilindeki buğday üretiminde yakıt tüketimi ve CO₂ emisyon değerleri dikkate alındığında, buğday üretiminde en fazla toprak işleme uygulamasında kullanılan ekipmanlardan kaynaklandığı, en düşük ise gübreleme işleminde olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5. Sivas ili buğday üretiminde 2014-2023 yıllarına ait TCE, YTÖ ve ÖzCE değerleri dikkate alınarak 2024- 2033 yıllarına ait projeksiyonları tahminleri.

Yıllar	TCE	YTÖ	ÖzCE
2014	45.90	27.00	92.30
2015	47.65	18.54	63.37
2016	44.22	22.35	76.42
2017	45.64	23.46	80.19
2018	43.36	20.32	69.47
2019	40.11	21.30	72.82
2020	38.36	19.15	65.47
2021	38.07	28.43	97.20
2022	38.38	19.16	65.49
2023	39.54	19.13	65.41
Geçmiş yılların değişim oranları			
2014-2015	3.813	-31.333	-31.343
2015-2016	-7.198	20.550	20.593
2016-2017	3.211	4.966	4.933
2017-2018	-4.996	-13.384	-13.368
2018-2019	-7.495	4.823	4.822
2019-2020	-4.363	-10.094	-10.093
2020-2021	-0.756	48.460	48.465
2021-2022	0.814	-32.606	-32.623
2022-2023	3.022	-0.157	-0.122
Projeksiyon katsayısı (%)	-1.550	-0.975	-0.971
Gelecek yıllara ait projeksiyon tahmini			
2024	38.93	18.94	64.78
2025	38.32	18.76	64.15
2026	37.73	18.58	63.52
2027	37.15	18.39	62.91
2028	36.57	18.22	62.30
2029	36.00	18.04	61.69
2030	35.44	17.86	61.09
2031	34.90	17.69	60.50
2032	34.35	17.52	59.91
2033	33.82	17.34	59.33

Khoshroo (2014) buğday üretiminde en yüksek enerji girdisinin sırasıyla kimyasal gübre enerjisi ve diesel yakıt enerji girdilerinin olduğunu ve toplam sera gazı emisyonuna da en büyük katkısı kimyasal gübre (%67) ve diesel yakıt (%24) tüketiminin yaptığını belirtmiştir. Yakıt tüketiminin büyük kısmının toprak işlemede olduğu ve azaltılmış toprak işleme ile toprak işlemez uygulamalarda geleneksel toprak işleme göre yakıt tüketiminin daha az olduğu bilinmektedir. Koga ve ark. (2003) buğday üretiminde yakıt kaynaklı sera gazı salınımının yaklaşık %23-24'ünün toprak işlemede olduğunu ve azaltılmış toprak işleme uygulandığında CO₂ emisyonunun %15-29 azaldığını belirlemişlerdir. Lu ve ark. (2018) buğday üretiminde en yüksek sera gazı emisyonunun azotlu

kimyasal gübre kullanımından sonra diesel yakıt tüketimi kaynaklı olduğunu, en yüksek sera gazı salınımının anızlı ve anızsız uygulamalarda sırasıyla geleneksel toprak işleme, çizelin kullanıldığı koruyucu toprak işleme ve toprak işlemez uygulamalarda olduğunu belirtmişlerdir.

Altuntaş ve ark. (2019) Sivas yöresinde buğday tarımında en yüksek enerji girdisinin kimyasal gübre, tohum ve yakıt enerji girdisi şeklinde sıralandığını belirlemişlerdir. Ayrıca, toprak işleme sistemlerine göre yakıt enerji girdisinin değiştiğini ve sistemlerin, geleneksel toprak işleme > azaltılmış toprak işleme > koruyucu toprak işleme ve toprak işlemez şeklinde sıralandığını ifade etmişlerdir. Bu sonuçlar; kimyasal gübrelerin etkin kullanımı ve yakıt tüketimini azaltmanın buğday üretiminde toplam sera gazı emisyonlarının azaltılmasına önemli katkı sağlayacağını (Koga ve ark., 2003; Khoshroo, 2014; Lu ve ark., 2018; Altuntaş ve ark., 2019) göstermektedir.

Tarım makina ve ekipmanlarının uygun kullanımı, tarım alanı büyüklüğü ile makina tarla kapasitesinin uygun eşleştirilmesi ve geleneksel toprak işlemeden koruyucu toprak işleme geçilmesinin fosil yakıt tüketimini azaltacak ve çevresel profili iyileştirecektir (Mohammadi ve ark., 2014). Tarımsal üretim faaliyetlerinde ortaya çıkan fosil kaynaklı CO₂ emisyonlarının küresel ısınma ve dolayısıyla iklim değişikliğine neden olduğu bilinmektedir. İklim değişikliği de kuraklık etkisiyle tarımsal üretimde azalmaya, verim ve kalite düşüklüğüne, gıda arzı azalmasına, gıda fiyatlarında artmaya, yetersiz beslenmeye dayalı problemlerin ve hatta üretimdeki istikrarsızlık nedeniyle ekonomik büyümeyi de etkileyebilecektir (Dellal 2014; Dellal ve ark., 2015).

4. SONUÇ

Yapılan çalışmada, Sivas ilinde buğday üretiminde fosil yakıt tüketim kaynaklı karbondioksit emisyonunu belirlenmiş, çalışmada belirlenen Sivas için fosil yakıt kaynaklı özgül CO₂ emisyonunun Türkiye geneli değerlerine göre biraz daha yüksek, ancak iller bazındaki değerlere göre daha düşük değerde olduğu görülmüştür.

Sanayi devriminin doğal bir sonucu olarak gerekli enerji ihtiyacının karşılanmasına yönelik fosil yakıtların kullanımı sera gazı emisyonlarının artışına neden olmuştur. Sera gazı emisyonlarını düşürmek ve sürdürülebilir tarımsal üretim için kurum ve kuruluşları aracılığı ile enerji, sanayi, ulaşım ve tarım sektörlerinde özellikle fosil yakıt kullanımını sınırlandırabilmek için politikalar veya yeniden yapılandırılmalar oluşturulmaktadır.

Buğday üretimi ve diğer tüm ürün üretim sistemlerinde CO₂ emisyon değerlerinin düşürülmesi için çevreyle dost yeni üretim planlamalarının yapılması ve bu konuda çiftçilerin yönlendirilmesi gerekmektedir. Türkiye ölçeğinde, üretimi yapılan ürünlerin il, yöre, bölge ve ülkesel bazda CO₂ emisyonlarının fosil yakıt kaynaklı üretimlerde yakıt tüketiminin azaltılmasına yönelik Tarım ve Orman Bakanlığı Teşkilatları, Üniversiteler ve Çiftçi Birliklerinin ortak bir çatı altında hem üretimi ve kaliteyi artıracak hem de karbondioksit emisyonlarının azaltılmasına yönelik önlemlerin alınması için daha ciddi çalışmalar ve planlamalar yapılmalıdır.

Sivas ilindeki buğday üretiminde elde edilen 2024-2033 yıllarına ait projeksiyon katsayılarına göre TCE, YTÖ ve ÖzCE değerlerinin düşme eğilimi göstereceği tahmin edilmektedir. Ancak, il düzeyinde traktör sayısındaki artışın içerisinde yüksek güç grubunda yer alan traktör sayısındaki artış daha fazladır. Büyük güçlü traktör sayısındaki artış, işletme büyüklüğü ve tarım alet ve makinası eşleşmesi olumsuz yönde bozulursa yakıt tüketiminin ve sera gazı emisyonunun artmasına neden olacağı açıktır. Dolayısıyla sürdürülebilir üretim ve mekanizasyon açısından arazi büyüklüğü-güç ve makinanın

uyumlu seçimi, traktör ve makinaların doğru kullanımı ve üretimde kullanılan yöntemlerin bölge şartları dikkate alınarak seçimi konusunda üreticilere gerekli bilgilendirmenin yapılması önem arz etmektedir.

Doğal çevreye zarar veren yenilenemeyen fosil kaynaklı yakıtlara alternatif verimli ve çevre dostu olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına ilaveten kimyasal gübre ve tarımsal ilaç kullanımının da sınırlandırılması gerekmektedir. Tarımsal üretimde lokomotif rolü olan traktör ve tarım makinalarının girdilerinin azaltılması, güç ve makina uyumunun sağlanması, üretimde özellikle en fazla yakıt tüketimine neden olan geleneksel toprak işleme sistemleri yerine korumalı toprak işleme sistemlerinin kullanılması ve parsel büyüklüklerini artırılmasıyla ilgili uygulamalar; bitkisel üretim için gerekli olan girdilerin daha etkin kullanılmasını ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasını sağlayacaktır. Bu şekilde, tarımsal üretimde Sivas, diğer iller, bölge ve Türkiye ölçeğinde enerji kullanımının etkinliği iyileşebilecek ve CO₂ emisyonunun azaltılması mümkün olabilecektir.

KAYNAKLAR

- Alpkent, N., (1984). Tarımda Enerji Kullanımı ve Enerji Tasarrufu. Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları No: 296. Ankara.
- Altuntaş, E. (2020). Türkiye'deki tarım makineleri kullanım projeksiyonunun tahmini. Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi (UTYHBD), 6 (3), 506-516.
- Altuntaş, E., Bulut, O.N., Özgöz, E. (2019). Kuru tarımda farklı toprak işleme sistemleri ile buğday üretiminin enerji kullanım etkinliği analizi. Anadolu Tarım Bilim. Dergisi, 34, 57-64.
- Anonim (2014a). Sivas İl Özel İdaresi Stratejik Plan. Bilgi İşlem Müdürlüğü, Kasım 2014. Sivas.
- Anonim (2014b). İstatistikî Bilgiler Raporu. İl Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü Koordinasyon ve Tarımsal Veriler Şube Müdürlüğü, Sivas.
- Anonim (2024). Sivas İli Tarım ve Orman İl Müdürlüğü 2018 Yılı Faaliyet Raporu, <https://sivas.tarimorman.gov.tr/Menu/21/Faaliyet-Raporu> (Erişim Tarihi: 11.12.2024).
- ASAE (1999). ASAE Standarts. D497.4 MAR99: Agricultural Machinery Data. pp. 350-357 ASAE 2950 Niles Rd., St. Joseph, MI, 49085-9659, USA.
- ASAE (2011). ASAE Standarts. D497.7 MAR2011 (R2015): Agricultural Machinery Data. pp. 1-14 ASABE 2950 Niles Rd., St. Joseph, MI, 49085-9659, USA.
- Aydın, A. (2023). Tarım sektöründen kaynaklı sera gazı emisyonlarının hesaplanması; enterik fermantasyon. Uluslararası Gıda Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi, 3 (1), 40-54.
- Aydın, A., Aktuz, N.C. (2023). Sürdürülebilir tarım için iklim değişikliğine ekosistem tabanlı uyum faaliyetleri. Çevre, Şehir ve İklim Dergisi, 2 (3), 132-157.
- Beşergil, B. (2009). Yakıtlar Yağlar. Gazi Kitabevi, 1. basım (1 Ocak 2009), 978-9754837933, s. 451, Ankara.
- Bilgili, M.E., Aybek, A. (2018). Doğu Akdenizde zeytin üretiminde yakıt tüketimi sonucunda oluşan karbondioksit emisyonu durumu. 3rd International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2018), Çukurova University, Congress Center, October 24-26, 2018, Adana.
- Bulut, O.N. (2015). Bulut, O.N. (2015). Buğday Tarımında Farklı Toprak İşleme Yöntemlerinin Toprak Özellikleri, Tarla Filiz Çıkışı ve Verim Üzerine Etkileri. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği A.B.D., Yüksek Lisans Tezi (Yayınlanmamış), s.88, Tokat.

- Dellal, İ., Engürülü B., Ulukan, H., Özevren A.Ş., Ünal, M. (2015). İklim değişikliğinin tarım sektörüne ekonomik yansımaları. Türkiye Ziraat Mühendisliği VIII. Teknik Kongresi, 12-16 Ocak 2015, Sayfa no:62-80, Ankara.
- Gołasa, P., Wysokiński, M., Bieńkowska-Gołasa, W., Gradziuk, P., Golonko, M., Gradziuk, B., Siedlecka, A., Gromada, A. (2021). Sources of greenhouse gas emissions in agriculture, with particular emphasis on emissions from energy used. *Energies*, 14 (13), 3784.
- Hayaloğlu, P. (2018). İklim değişikliğinin tarım sektörü ve ekonomik büyüme üzerindeki etkileri. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(25): 51-62.
- Heller, M.C., Keoleian, G.A., Volk, T.A. (2003). Life cycle assessment of a willow bioenergy cropping system. *Biomass and Bioenergy*, 25: 147-165.
- IFOAM (1996). IFOAM EU GROUP. Working for Organic Farming in Europe Annual Report 2009. https://www.organicseurope.bio/content/uploads/2021/04/ifoameu_comm_annual_report_2009.pdf (Erişim Tarihi: 04.08.2024).
- IPCC (1996). Intergovernmental Panel on Climate Change, GHG protokolü - mobil kılavuz (03/21/05) v1.3., 1996.
- IPCC (2013). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group to The Fifth Assessment Report of The Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, 2013.
- IPCC (2014). Intergovernmental Panel on Climate Change AR5-Fifth Assessment Report. Cambridge: Cambridge University Press.
- Khoshroo, A. (2014). Energy use pattern and greenhouse gas emission of wheat production: A case study in Iran. *Agricultural Communications*, 2 (2), 9-14.
- Koga, N., Tsuruta, H., Tsuji H., Nakano, H. (2003). Fuel consumption-derived CO₂ emissions under conventional and reduced tillage cropping systems in northern Japan. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 99, 213–219.
- Kuzu, H., Bilgili, M.E., Aybek, A., Özekin, M. (2024). Doğu Akdeniz Bölgesinde buğday ve mısır üretiminde yakıt tüketiminden kaynaklı karbondioksit emisyonunun belirlenmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7 (2), 684-693.
- Küsek, G. (2018). Güneydoğu anadolu bölgesinde mercimek üretiminde yakıt tüketimine bağlı olarak gerçekleşen karbondioksit emisyonlarının değerlendirilmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 22 (4), 572-584.
- Lal, R. (2004). Carbon emission from farm operations. *Environment International*, 30 (7), 981-990.
- Lu, X., Lu, X., Cui Y., Liao, Y. (2018). Tillage and crop straw methods affect energy use efficiency, economics and greenhouse gas emissions in rainfed winter wheat field of Loess Plateau in China. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 68 (6), 562-574.
- Massey, R., McClure, H., Schneider, R. (2019). Agriculture and greenhouse gas emissions. University of Missouri: Columbia-Extension Publication, 2019. <https://mospace.umsystem.edu/xmlui/bitstream/handle/10355/71743/> (Erişim Tarihi: 12.09.2024).
- Mohammadi, A., Rafiee, S., Jafari, A., Keyhani, A., Mousavi-Avval, S.H., Nonhebel, S. (2014). Energy use efficiency and greenhouse gas emissions of farming systems in north Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30: 724–733.

- Özcan, M.T. (1985). Mercimek Hasat ve Harman Yöntemlerinin İş Verimi Kalitesi. Enerji Tüketimi ve Maliyet Yönünden Karşılaştırılması ve Uygun Bir Hasat Makinası Geliştirilmesi Üzerine Araştırmalar. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Tarımsal Mekanizasyon Bölümü. Adana.
- Özden, M., Soğancı, A. (1996). Türkiye Tarım Alet ve Makinaları İşletme Değerleri Rehberi Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü A.P.K. Dairesi Başkanlığı Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Şube Müdürlüğü, Yayın No: 92, Ankara.
- Öztürk, H.H. (2017). Energetic and Environmental Comparison of Rapeseed Cultivation Systems. LAMBERT Academic Publishing, Deutschland, 2017.
- Öztürk, H.H., Gözübüyük, Z., Atay, U. (2017). Türkiye’de pamuk üretiminde yakıt tüketimine bağlı olarak gerçekleşen karbondioksit emisyonlarının değerlendirilmesi. 3. Uluslararası Tarım ve Çevre Kongresi, 16-18 Kasım 2017, Sayfa no: 21-30, Antalya.
- Öztürk, H.H., Vulkan, E.V. (2017). Türkiye’de buğday ve mısır üretiminde yakıt tüketimine bağlı olarak gerçekleşen karbondioksit emisyonlarının değerlendirilmesi. 4. Uluslararası Multidisipliner Avrasya Kongresi (IMCOFE), 23-25 Ağustos 2017, Sayfa no:13-23, Roma.
- Smagulova, S., Adil, J., Tanzharikova, A., Imashev, A. (2017). The economic impact of the energy and agricultural complex on greenhouse gas emissions in Kazakhstan. International Journal of Energy Economics and Policy, 7 (4), 252-259.
- TÜİK (2024). Türkiye İstatistik Kurumu, Bitkisel üretim istatistikleri, (2024). <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=134&locale=tr> (Erişim tarihi: 02.08.2024).
- Vatansever Deviren, N., Çelik, N. (2017). Dünyada ve Türkiye’de Organik Tarımın Ekonomik Açından Değerlendirilmesi, Uluslararası Sosyal Araştırmalar 201, <https://www.researchgate.net>, (17 Ağustos 2017).
- Yılmaz, N., Şimşek, S. (2013). Sivas ekolojik koşullarında ekmeklik buğdayda (*Triticum aestivum* L.) üst gübrelemede kullanılacak azotlu gübre form ve miktarının belirlenmesi. Akademik Ziraat Dergisi, 1(2), 91-96.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction and Research Questions & Purpose

In the agricultural production sector, greenhouse gas emissions generated in the process from seed bed preparation, sowing, maintenance, hoeing, irrigation, spraying, harvesting and storage of the product after harvesting play a triggering role in climate change (Lal, 2004). The agricultural production sector is affected by climatic changes and also causes climatic changes. For sustainable agriculture, it is necessary to use energy more efficiently and reduce fossil fuel consumption in all production periods. Minimal consumption of fossil fuels will lead to the reduction of greenhouse gas emissions and the development of more effective sustainable agricultural systems (Öztürk, 2017). For the effects of climate change on agriculture, many provincial, regional and national studies are carried out to estimate, control and minimize the increase of fuel-based greenhouse gas emissions in agricultural production (Gołasa et al., 2021). Therefore, the results obtained from the studies are important for determining the greenhouse gas emissions that will occur in the production of many products and making future projections and analysis and planning accordingly. In this study, it was tried to determine the fossil fuel-induced carbon dioxide emission values in wheat production, which is the main crop intensively produced in Sivas province.

Methodology

In this study, the values described by Altuntaş et al. (2019) were used as fuel consumption values for wheat production in Sivas province. In the calculations for the determination of CO₂ emissions from fossil (fuel and oil) sources for wheat production in Sivas province, the calculations of total CO₂ emissions from fuel and oil sources described in the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 1996) were taken into consideration (Öztürk et al., 2017; Bilgili and Aybek 2018; Küsek, 2018). Taking into account the total CO₂ emission, specific fuel consumption and specific CO₂ emission values of wheat production in Sivas province calculated for the 10-year period between 2014-2023, the percentage rates of increase and decrease of these parameters were calculated and the projection average coefficients of these percentage rates were determined. For the years 2014-2023, total CO₂ emission, specific fuel consumption and specific CO₂ emission values of the previous year were multiplied by the projection coefficient for that parameter and total CO₂ emission, specific fuel consumption and specific CO₂ emission projection estimates were made for the next 10 years (2024-2033) in Sivas province wheat production in line with the decreases or increases in values (Altuntaş, 2020).

Results and Conclusions

The average total CO₂ emission from fossil fuel (diesel + oil) of Sivas province wheat production between 2014 and 2023 is 42.12 ktCO₂, the average specific fuel consumption is 21.88 g_{fuel crop}⁻¹ and the average specific CO₂ emission is 74.81 g_{CO₂} kg_{crop}⁻¹. In the last 10-year period, the lowest total CO₂ emissions was 38.07 ktCO₂ in 2021, the lowest specific fuel consumption) was 18.54 g_{fuel crop}⁻¹ in 2014 and the lowest specific CO₂ emission was 63.37 g_{CO₂} kg_{crop}⁻¹ in 2015. The highest total CO₂ emissions, specific fuel consumption and specific CO₂ emission values in the last 10 years were calculated as 47.65 ktCO₂ in 2015, 28.43 g_{fuel crop}⁻¹ in 2021 and 97.21 g_{CO₂} kg_{crop}⁻¹ in 2021, respectively (Table 4). According to the change in production amount and specific CO₂ emission values between 2014 and 2023, it is understood that the specific CO₂ emission increases as the production amount decreases (Table 1 and Table 4). In 2021 (50% decrease) and 2022 (33% increase), when the change in production amount was the highest compared to the previous year, the change in specific CO₂ emission was 33% increase and 48% decrease, respectively. In the last 10 years, the average change in Sivas province wheat production area, production amount and yield values have decreased by 2.45%, 5.44% and 3.24% respectively, while the change in total CO₂ emission, specific fuel consumption and specific CO₂ emission has been 2.45%, 2.02% and 2.02% respectively. Here, it can be said that the change between production area and production amount differs due to the effect of climatic factors or other factors related to production.

Yazarların Biyografisi

Ebubekir ALTUNTAŞ



1967 yılında Sivas'ta doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sivas'ta yaptı. Lisans eğitimini 1985-1989 yılları arasında Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Mekanizasyon Bölümünde tamamladı. Yüksek lisans eğitimini 1992-1994 yılları arasında Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları A.B.Dalında; doktora eğitimini ise 1994-1998 yılları arasında Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları A.B.Dalında tamamladı. 1993 yılında Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Aynı bölüme 2000 yılında Yardımcı Doçent, 2006 yılında Doçent olarak ve 2012 yılında Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Tarımda Makine Sistemleri bilim dalına Profesör olarak atandı. Halen aynı üniversitede görev yapmaktadır. Birçok bilimsel ve akademik çalışma ve faaliyetlerde görev almış olup, 150'nin üzerinde bilimsel makale ve yayını bulunmaktadır. Evli ve iki çocuk babasıdır.

İletişim ebubekir.altuntas@gop.edu.tr

ORCID Adresi <https://orcid.org/0000-0003-3835-1538>

Engin ÖZGÖZ



1968 yılında Tokat'ta doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Tokat'ta yaptı. Lisans eğitimini 1987-1991 yılları arasında Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Mekanizasyon Bölümünde tamamladı. Yüksek lisans eğitimini 1992-1994 yılları arasında Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalında; doktora eğitimini ise 1995-1999 yılları arasında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalında tamamladı. 1992 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı ve aynı yıl Gaziosmanpaşa Üniversitesinin kurulmasıyla görevine Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümünde devam etti. Aynı bölüme 2003 yılında Yardımcı Doçent, 2007 yılında Doçent olarak atandı. 2013 yılında Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Tarımda Makine Sistemleri bilim dalına Profesör olarak atandı. Halen aynı üniversitede görev yapmaktadır. Tarım Makinaları konusunda yayınlanmış yurt içi ve yurt dışı birçok yayını, kitap bölüm yazarlığı ve Ulusal ve uluslararası projede yürütücü ve araştırmacı olarak görevi bulunmaktadır. Evli ve iki çocuk babasıdır.

İletişim engin.ozgoz@gop.edu.tr

ORCID Adresi <https://orcid.org/0000-0003-0615-9613>

Arpa ve buğday bitkilerinin sınıflandırılmasında uzaktan algılama indislerinin karşılaştırılması

The comparison of remote sensing indices in the classification of barley and wheat crops

Aykut Durgut^{1,*} Sarp Korkut Sümer¹ Emre Özelkan²

¹;Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Çanakkale, Türkiye.

²;Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Çanakkale, Türkiye.

* Corresponding author (Sorumlu Yazar): A. Durgut, e-mail (e-posta): aykutdurgut@gmail.com

Makale Bilgisi

Alınış tarihi : 06.11.2024
Düzeltilme tarihi : 13.12.2024
Kabul tarihi : 17.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Bitki indisleri
Buğday
NDVI

Durgut, A., Sümer, S. K., Özelkan, E. "Arpa ve buğday bitkilerinin sınıflandırılmasında uzaktan algılama indislerinin karşılaştırılması" Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 20(3): 171-197

ÖZET

Dünyadaki hızlı nüfus artışı ve küresel iklim değişikliği beraberinde gıda kıtlığı ve açlık gibi sorunlar getirmektedir. Dünya'da birçok ülkede olduğu gibi Türkiye'de kişi başına hububat ihtiyacı artmaktadır. Ülkemizde hububat yetiştirilen alanların büyük bölümünde birinci sırada buğday, ikinci sırada ise arpa yer almaktadır. Buğday ve arpa gibi kritik ürünlerin üretim miktarının önceden belirlenmesi, bitkinin üretiminde kayıp olmaması ve en yüksek verim elde edilebilmesi, ulusal ve uluslararası ekonomik planlamayı ve gıda güvenliğini etkilemektedir. Arpa ve buğday üretim alanlarının belirlenmesi ve izlenmesi için uzaktan algılama bitki indeksleri kullanılabilir. Ancak buğday ve arpanın benzer bitkiler olması ve yetiştirme zamanlarının da yakın olması uzaktan algılama yöntemleri ile ayrıştırılmasını güçleştirmektedir. Bu çalışmada, Balıkesir ili Edremit ve İvrindi ilçeleri, Çanakkale ili Ezine, Gelibolu ve Gökçeada ilçeleri, Manisa ili Turgutlu ilçesi, Samsun ili Yakakent ilçesi, Kayseri ili İncesu ilçesi, Eskişehir ili Sivrihisar ilçesi, Yozgat ili Sorgun ilçesinde 2022 ve 2023 yıllarında buğday ve arpa ekilen üretim alanları uzaktan algılama yöntemleri ile incelenmiştir. Belirlenen tarlaların 01 Ekim 2022 ve 31 Temmuz 2023 tarihleri arasındaki görüntüleri bulut tabanlı Google Earth Engine(GEE) platformu ile Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 ve Sentinel-2 MSI uydularından elde edilmiştir. Elde edilen görüntülerden NDVI (Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi), EVI (Geliştirilmiş Bitki İndeksi), LAI (Yaprak Alan İndeksi), SAVI (Toprak Düzeltilmiş Bitki İndeksi), GCI (Yeşil Klorofil İndeksi), GLI (Yeşil Yaprak İndeksi), GARI (Yeşil Atmosfer Dirençli İndeksi), DVI (Fark Bitki İndeksi), GNDVI (Yeşil Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi), RDVI (Oranlı Bitki İndeksi), TGI (Dönüştürülmüş Bitki İndeksi), VARI (Görünür Atmosfer Dirençli İndeksi), MCARI (Değiştirilmiş Klorofil Emilim Oranı İndeksi), TVI (Üçgen Bitki İndeksi), NDRE (Normalleştirilmiş Fark Kırmızı Kenar İndeksi), RECI (Kırmızı Kenar Klorofil İndeksi), CVI (Klorofil Bitki İndeksi) bitki indeksleri üretilmiştir. 2 farklı uydudan 17 farklı indisin karşılaştırmalı analizini içeren bu çalışmada, arpa ile buğdayı ayırt edebilecek en uygun indisin hangisi olduğu araştırılmıştır. Çalışma sonucunda buğday ve arpa ekilen tarlaların ayırımında t-testi, Anova ve Lojistik Regresyon analizleri sonucunda Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 uydusunda Haziran ayında GARI indeksi (f=4.98, p=0.03), Sentinel 2 uydusunda Mayıs ayında GLI indeksi (f=624.2, p=0.00) etkili olduğu belirlenmiştir.

Article Info

Received date : 06.11.2024
Revised date : 13.12.2024
Accepted date : 17.12.2024

Keywords:

Vegetation indices
Wheat
NDVI

Durgut, A., Sümer, S. K., Özelkan, E. "Arpa ve buğday bitkilerinin sınıflandırılmasında uzaktan algılama indislerinin karşılaştırılması" Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 20(3): 171-197

ABSTRACT

The rapid population growth and global climate change in the world bring about issues such as food scarcity and hunger. As in many countries, Turkey is also experiencing an increase in the per capita demand for cereals. In our country, wheat occupies the first rank and barley the second rank in terms of the area planted with cereals. Determining the production quantity of critical crops such as wheat and barley in advance, ensuring no loss in their production, and achieving maximum yield have significant impacts on both national and international economic planning and food security. Remote sensing vegetation indices are used to determine and monitor wheat and barley fields. However, since wheat and barley are similar crops and their growing periods are close, it becomes challenging to distinguish them using remote sensing methods. In this study, wheat and barley fields in the provinces of Balıkesir (Edremit and İvrindi districts), Çanakkale (Ezine, Gelibolu, and Gökçeada districts), Manisa (Turgutlu district), Samsun (Yakakent district), Kayseri (İncesu district), Eskişehir (Sivrihisar district), and Yozgat (Sorgun district) were investigated using remote sensing methods in the years 2022 and 2023. The images of the selected fields were obtained between October 1, 2022, and July 31, 2023, from the Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 and Sentinel-2 MSI satellites via the cloud-based Google Earth Engine (GEE) platform. From the obtained images, vegetation indices such as NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), EVI (Enhanced Vegetation Index), LAI (Leaf Area Index), SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index), GCI (Green Chlorophyll Index), GLI (Green Leaf Index), GARI (Green Atmospherically Resistant Index), DVI (Difference Vegetation Index), GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index), RDVI (Ratio Vegetation Index), TGI (Transformed Vegetation Index), VARI (Visible Atmospherically Resistant Index), MCARI (Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index), TVI (Triangular Vegetation Index), NDRE (Normalized Difference Red Edge Index), RECI (Red Edge Chlorophyll Index), and CVI (Chlorophyll Vegetation Index) were generated. This study, which includes a comparative analysis of 17 different indices from two different satellites, aimed to determine which index is the most suitable for distinguishing wheat from barley. As a result, it was found that in the differentiation of wheat and barley fields, the GARI index in June from the Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 satellite (f=4.98, p=0.03) and the GLI index in May from the Sentinel 2 satellite (f=624.2, p=0.00) were effective.

1. GİRİŞ

Dünyadaki hızlı nüfus artışı ve küresel iklim değişikliği birçok sorun oluşturmaktadır. Bu sorunların başında açlık gelmektedir. Geri kalmış ve gelişmekte olan ülkelerin büyük bir bölümünün açlıkla karşı karşıya oldukları bir gerçektir (Sevinç, 2023). Dünya'daki birçok ülke, nüfus artışının üretilen gıda maddeleri miktarından daha fazla olması nedeniyle kendi kendine yetebilecek durumda değildir. Aynı zamanda her toplumun coğrafi ve ekonomik yapısına, yetiştirdikleri ürünlere, ülkelerin gelişmişliğine, kişilerin istek ve zevklerine bağlı bir beslenme şekli bulunmaktadır. Türkiye'de kişi başına hububat tüketimi, Çin, Hindistan, ABD, Pakistan, Rusya, Mısır, İran'dan sonra 8. sıradadır (Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), 2022). Ülkemizde hububat yetiştirilen alanların büyük bölümünde buğday, ikinci sırada ise arpa üretimi yapılmaktadır. Buğday ülkemizde ekmek, kadayıf, yufka, bulgur, kuskus, eriş, makarna, keşkek gibi insan beslenmesinde, arpa ise hayvancılıkta yem olarak ve malt sanayisinde kullanılmaktadır (İmamoğlu vd., 2016; Özberk vd., 2016; Atar vd., 2017;)

Ülkemizde 2019 yılında buğday üretimi 19 milyon ton, arpa üretimi 7,6 milyon ton, 2020 yılında buğday üretimi 20,5 milyon ton, arpa üretimi 8,3 milyon ton, 2021 yılında bir önceki yıla göre buğday üretimi 17,7 milyon ton, arpa üretimi 5,8 milyon ton, 2022 yılında ise buğday üretimi 19,8 milyon ton, arpa üretimi 8,5 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. 2023 yılında ülkemizde ekilen buğday, yaklaşık 68 milyon dekar ekim alanı ve 22 milyon ton üretim ile ilk sırada yer alırken, arpa yaklaşık 32 milyon dekar ekim alanı ve 9,2 milyon tonluk üretim ile buğdayı izlemektedir (TUİK, 2024). 2023 yılında üretilen buğdayın tüketimi karşılama derecesi %95,9, arpanın yeterlilik derecesi %90,0 olarak gerçekleşmiştir (TUİK, 2024).

Buğday ve arpa gibi önemli ürünlerde nüfus artışına oranla artan ihtiyacı karşılamak ve ihracatı arttırmak için ekim alanlarının çoğaltılması ya da verimliliğin artırılması gerekmektedir (Erenstein vd., 2022). Aynı zamanda Ukrayna-Rusya savaşı gibi bir durumda oluşabilecek tahıl krizini engellemek için ürün takibi ve verim artışı da önemlidir (Sezer, 2024). Bu nedenle buğday ve arpa gibi kritik tarla ürünlerinin hastalıklarının izlenmesi, rekoltesinin tahminlenmesi ve ürünün takip edilmesi ile sorunlarının giderilmesi sonucunda yüksek verim elde edilmesi, ulusal ve uluslararası ekonomik planlamayı ve gıda güvenliğini etkileyebileceğinden önem arz etmektedir.

Buğday ve arpa üretiminde verimi arttırabilmek için bitki sağlığının takip edilmesi, hastalıklarla mücadele edilmesi, rekolte ve verim tahmini yapılmasında uzaktan algılama, sıklıkla ve giderek artarak kullanılan yöntemlerdendir (Sishodia vd., 2020; Khanal vd., 2020; Zhou vd., 2022; Nduku vd., 2023; Wu vd., 2023). Uzaktan algılama, insansız hava araçları (İHA), uydu görüntüleme sistemleri gibi yöntemler ile büyük alanları tek seferde tarayarak sonuç elde edilmesini sağlamaktadır. Uzaktan algılama ile buğday ve arpanın verimini etkileyen iklim, sulama, gübreleme gibi birçok etmen takip edilebilmektedir (Liliane ve Charles, 2020). Bitki sağlığını uzaktan algılama ile takibi için NDVI, EVI, LAI gibi indeks görüntüleri çok sıklıkla kullanılmaktadır (Xue ve Su, 2017).

Uzaktan algılama verileri ile üretilen bitki örtüsü indekleri, istenilen konumdan elde edilen yeşil bitkilerin spektral özelliklerini iki veya daha fazla görüntü bandından çeşitli matematiksel modeller ile hesaplanarak anlamlı bir değer elde edilmesidir (Xue ve Su, 2017). Bitki örtüsü indeksi ile bitkinin fotosentetik aktivitesi belirlenerek mekansal ve zamansal karşılaştırmalar yapılabilmektedir. Bitkilerin sağlığının takip edilmesi için Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü İndeksini (NDVI) (Rouse vd., 1973), Geliştirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (EVI) (Huete, 2002), yaprak alan indeksi (LAI) (Boegh vd., 2002), Toprak Ayarlı Bitki İndeksi(SAVI) (Huete, 1988), Yeşil Klorofil İndeksi (GCI) (Gitelson vd., 2003), Yeşil

Yaprak İndeksi (GLI) (Louhaichi vd., 2001), Yeşil Atmosferik Direnç İndeksi (GARI) (Gitelson vd., 1996), Farklı Bitki İndeksi (DVI) (Tucker, 1979), Yeşil Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi (GNDVI) (Gitelson ve Merzlyak, 1998), Oransal Farklı Bitki İndeksi(RDVI) (Roujean ve Breon, 1995), Üçgen Yeşillik İndeksi(TGI) (Hunt vd., 2011), Görünür Atmosferik Direnç İndeksi (VARI) (Gitelson, 2002), Modifiye Klorofil Absorbsiyon Oranı İndeksi (MCARI) (Daughtry, 2000), Üçgen Bitki İndeksi (TVI) (Broge ve Leblanc, 2000), Normalleştirilmiş Fark Kırmızı Kenar İndeksi (NDRE) (Barnes vd., 2000), Kırmızı Kenar Klorofil İndeksi (RECI) (Gitelson ve Merzlyak, 1994), Bitki Örtüsü İndeksi (CVI) (Vincini vd., 2008), Klorofil İndeksi(CI) (Gitelson vd., 1996) gibi çeşitli bitki indeksleri geliştirilmiştir ve bu indeksler ile çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Google Earth Engine (GEE), Google tarafından geliştirilen bulut tabanlı coğrafi veri işleme platformu olup, dünya çapında büyük miktardaki coğrafi verilerin işlenmesi, analiz edilmesi ve görselleştirilmesi için kullanılmaktadır. GEE, 2010 yılında, uydu görüntülerini ve diğer coğrafi verileri kullanarak çevresel süreçleri analiz etmek, modellemek ve karar vermeye yardımcı olmak amacıyla geliştirildi. GEE'nin en büyük avantajlarından biri uzaktan algılamadaki büyük veri setlerini depolamaya gerek olmadan hızlı bir şekilde işleme kabiliyetidir. GEE platformu ile Landsat, Sentinel ve MODIS gibi çeşitli uydu görüntülerine erişim sağlayarak ormanlar, su kaynakları, şehir alanları, tarım alanları incelenebilmektedir (Mutanga, ve diğerleri, 2019).

Bu çalışmada, Balıkesir ili Edremit ve İvrindi ilçeleri, Çanakkale ili Ezine, Gelibolu ve Gökçeada ilçeleri, Manisa ili Turgutlu ilçesi, Samsun ili Yakakent ilçesi, Kayseri ili İncesu ilçesi, Eskişehir ili Sivrihisar ilçesi, Yozgat ili Sorgun ilçesinde 2022 ve 2023 yıllarında buğday ve arpa ekilen tarlalar kullanılmıştır. Belirlenen tarlaların 01 Ekim 2022 ve 31 Temmuz 2023 tarihleri arasındaki görüntüleri bulut tabanlı Google Earth Engine(GEE) platformu ile Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 ve Sentinel-2 MSI uydularından elde edilmiştir. Elde edilen görüntülerin NDVI, EVI, LAI, SAVI, GCI, GLI, GARI, DVI, GNDVI, RDVI, TGI, VARI, MCARI, TVI, NDRE, RECI, CVI bitki indekslerine ait en yüksek değerleri belirlenmiştir.

Buğday ve arpanın yetiştirme zamanlarının yakın olmasından dolayı uzaktan algılama ile ayrıştırılması güç olmaktadır (Qader vd., 2018). Literatürdeki çalışmalarda arpa ve buğday ayrımı yapılmadan ve NDVI, LAI gibi çok bilinen birkaç indeks ile rekolte tahmini, bitki sağlığı izlenmesi gibi çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Hamid ve Ali, 2024; TaehWan vd., 2022; Yasamin vd., 2021; Isabella vd., 2020). Bu çalışma, uzaktan algılama ile buğday gibi önemli bir ürünün arpadan ayrılarak sağlığını takip etmek ve rekoltesini tahmin edebilmek için en uygun indisin hangi ay kullanılabileceğini belirlemek için yapılmıştır.

Bu çalışmada amaçlananlar aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir;

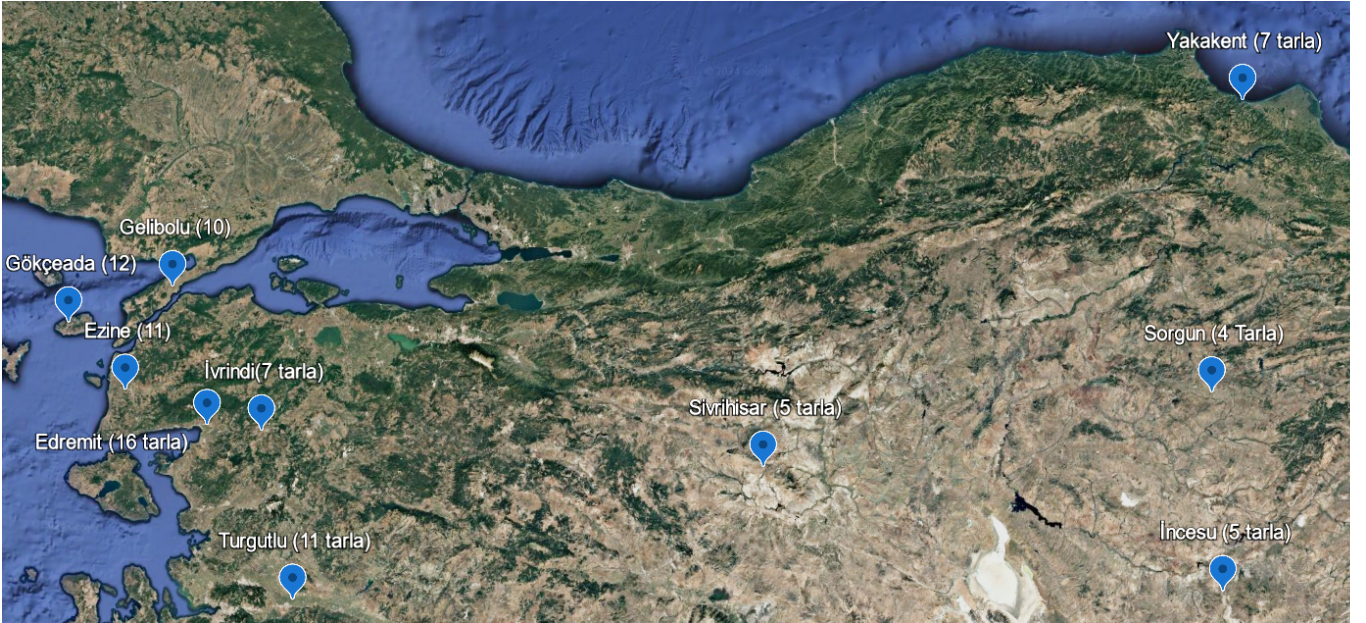
- Bitkinin en sağlıklı olduğu dönemin belirlenmesi için hangi indisin daha uygun olduğunu belirlemek,
- Uydu görüntülerinden arpa ve buğdayı ayırt edebilecek en uygun indisi ve zamanı belirlemek,
- Uydu tercihi için aynı tarlada hangi uyduda indekslerin daha yüksek değere ulaştığını belirlemektir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı

Çalışmada, Balıkesir ili Edremit ve İvrindi ilçeleri, Çanakkale ili Ezine, Gelibolu ve Gökçeada ilçeleri, Manisa ili Turgutlu ilçesi, Samsun ili Yakakent ilçesi, Kayseri ili İncesu ilçesi, Eskişehir ili Sivrihisar ilçesi, Yozgat ili Sorgun ilçesinde 01 Ekim 2022 ve 31 Temmuz 2023 tarihleri arasında 45 adet buğday ve 43 adet arpa ekili üretim alanı kullanılmıştır (Şekil 1).

Çanakkale ili ortalama sıcaklık 15.2°C ve yıllık yağış toplamı 625.3 mm, Balıkesir ili ortalama sıcaklık 14.8°C ve yıllık yağış toplamı 604.5 mm, Samsun ili ortalama sıcaklık 14.6°C ve yıllık yağış toplamı 723.2 mm, Kayseri ili karasal iklim özelliğinde ortalama sıcaklık 10.7°C ve yıllık yağış toplamı 390.5 mm, Yozgat ili ortalama sıcaklık 9.2°C ve yıllık yağış toplamı 571.4 mm, Eskişehir ili ortalama sıcaklık 11°C ve yıllık yağış toplamı 355.9 mm, Manisa ili ortalama sıcaklık 16.9°C ve yıllık yağış toplamı 743.6 mm'dir.



Şekil 1. Çalışma yapılan üretim alanları

2.2. Uzaktan Algılama Verisi

Çalışma alanında bulunan ilçe tarım müdürlüklerinden ve çiftçilerden elde edilen çiftçi kayıt sistemine (ÇKS) ait verilerden buğday ve arpa ekili alanlar belirlenmiştir (Şekil 2). Çalışmada 43 buğday ve 45 arpa tarlası kullanılmıştır. Tarlalarda ekim ve hasat dönemleri 01 Ekim 2022 ve 31 Temmuz 2023 tarihleri arasındadır. Bu nedenle kullanılacak uydu görüntüleri bu tarihler arasında bulut tabanlı Google Earth Engine(GEE) platformu ile Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 ve Sentinel-2 MSI uydularından elde edilmiştir (Tablo 1 ve Tablo 2). Uydu görüntüleri, bulut oranı %20'den az olan günlerden 30 m çözünürlüğünde seçilmiştir. GEE ile tarlalar işaretlenirken tarlada bulunan su yolu, kadastral yol, ağaç vb alanlar seçime dahil edilmemiştir.

GEE, atmosfere bağlı düzeltme ve verilerin düzgün bir şekilde coğrafi koordinat sistemine yerleştirilmesi için gerekli coğrafi düzeltmeleri EPSG veri seti ile otomatik olarak yapabilmektedir.

Tablo 1. Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 uydusu bandları

Band ismi	Çözünürlük	Dalga Boyu	Tanım
B1	30 metre	0.43 - 0.45 μm	Kıyı aerosolü
B2	30 metre	0.45 - 0.51 μm	Mavi
B3	30 metre	0.53 - 0.59 μm	Yeşil
B4	30 metre	0.64 - 0.67 μm	Kırmızı
B5	30 metre	0.85 - 0.88 μm	Yakın Kızılötesi
B6	30 metre	1.57 - 1.65 μm	Kırsadalga Kızılötesi 1
B7	30 metre	2.11 - 2.29 μm	Kırsadalga Kızılötesi 2
B8	15 metre	0.52 - 0.90 μm	Band 8 renklere duyarlı (pankromatik)
B9	30 metre	1.36 - 1.38 μm	Sirrus (Cirrus)
B10	30 metre	10.60 - 11.19 μm	Termal Kızılötesi 1, 100m - 30m
B11	30 metre	11.50 - 12.51 μm	Termal kızılötesi 2, 100m - 30m
QA_PIXEL	30 metre		Landsat Collection 2 QA Bitmask

Tablo 2. Sentinel-2 uydusu bandları

Sentinel-2 Bandı	Merkezi dalga boyu (μm)	Çözünürlük (m)
Bant-1 Kıyı Aerosolü	0,433	60
Bant-2 Mavi	0,490	10
Bant-3 Yeşil	0,560	10
Bant-4 Kırmızı	0,665	10
Bant-5 Vegetasyon kırmızı kenar	0,705	20
Bant-6 Vegetasyon kırmızı kenar	0,740	20
Bant-7 Vegetasyon kırmızı kenar	0,783	20
Bant-8 NIR	0,842	10
Bant-8B Vegetasyon kırmızı kenar	0,865	20
Bant-9 Su buharı	0,945	60
Bant-10 SWIR - Cirrius	1,375	60
Bant-11 SWIR	1,610	20
Bant-12 SWIR	2,190	20



Şekil 2. Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) parsel sorgulama sitesinden alınan örnek parseller (Balıkesir-Edremit)

Çalışma kapsamında elde edilen görüntülerin bitki indeks değerleri hesaplanılmıştır. Çalışmada kullanılan indislerin formülleri Tablo 3’de listelenmiştir.

Tablo 3. Kullanılan bitki indisleri

Bitkisel İndeks	Formül	Referans
NDVI	$NDVI = \frac{NIR - Kırmızı}{NIR + Kırmızı}$	(Rouse vd., 1973)
EVI	$EVI = 2.5 * \frac{NIR - Kırmızı}{NIR + 6 * Kırmızı - 7.5 * Mavi + 1}$	(Huete, 2002)
LAI	$LAI = 3.618 * EVI - 0.118$	(Boegh vd., 2002)
SAVI	$SAVI = \frac{1.5 * (NIR - Kırmızı)}{NIR + Kırmızı + 0.5}$	(Huete, 1988)
GCI	$GCI = \frac{NIR}{Yeşil} - 1$	(Gitelson vd., 2003)
GLI	$GLI = \frac{(Yeşil - Kırmızı) + (Yeşil - Mavi)}{(2 * Yeşil) + Mavi + Kırmızı}$	(Louhaichi vd., 2001)
GARI	$GARI = \frac{NIR - (Yeşil - (Mavi - Kırmızı))}{NIR + (Yeşil - (Mavi - Kırmızı))}$	(Gitelson vd., 1996)
DVI	$DVI = NIR - Kırmızı$	(Tucker, 1979)
GNDVI	$GNDVI = \frac{NIR - Yeşil}{NIR + Yeşil}$	(Gitelson ve Merzlyak, 1998)
RDVI	$RDVI = \frac{NIR - Kırmızı}{\sqrt{NIR + Kırmızı}}$	(Roujean ve Breon, 1995)
TGI	$TGI = \frac{(\lambda_{kırmızı} - \lambda_{kırmızı})(\rho_{kırmızı} - \rho_{yeşil}) - ((\lambda_{kırmızı} - \lambda_{yeşil})(\rho_{kırmızı} - \rho_{mavi}))}{2}$	(Hunt vd., 2011)

VARI	$VARI = \frac{Yeşil - Kırmızı}{Yeşil + Kırmızı - Mavi}$	(Gitelson, 2002)
MCARI	$MCARI = [(\rho_{700} - \rho_{670}) - 0.2(\rho_{700} - \rho_{550})] * (\rho_{700}/\rho_{670})$	(Daughtry, 2000)
TVI	$TVI = \frac{120(\rho_{750} - \rho_{550}) - 200(\rho_{670} - \rho_{550})}{2}$	(Broge ve Leblanc, 2000)
NDRE	$NDRE = (NIR - Kırmızı Kenar)/(NIR + KırmızıKenar)$	(Barnes vd., 2000)
RECI	$ReCI = (NIR / Kırmızı) - 1$	(Gitelson ve Merzlyak, 1994)
CVI	$CVI = (NIR/Yeşil) * (Kırmızı/Yeşil)$	(Vincini vd., 2008)
CI	$CI = NIR/Kırmızıkenar - 1$	(Gitelson vd., 1996)

NDVI (Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi - Normalized Difference Vegetation Index) sağlıklı yetişen bitki, yakın kızılötesi (NIR) ve yeşil ışığı yansıtmakta ve bu nedenle gözümüze yeşil görünmektedir. Sağlıksız bitki ise yakın kızılötesi ve yeşil ışığı daha az yansıtmaktadır. Görüntüden elde edilen NDVI değerleri -1 ile +1 arasında değişmektedir. Sağlıklı bitkinin olduğu yerlerde NDVI değerleri +1'e yaklaşırken, sağlıksız bitkinin olduğu yerlerde ise NDVI değeri -1'e doğru yaklaşmaktadır (Rouse, 1973).

SAVI/MSAVI (Değiştirilmiş Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü Endeksi), bitki sağlığını belirlemek için toprak yansımalarını hesaba katarak etkisi en aza indirilmiştir. Bitkinin erken büyüme aşamaları veya meyve bahçeleri gibi bitki örtüsü yoğun olmayan alanlarda kullanımı daha uygundur. SAVI indeksi, -1 ile +1 arasında bir değer alabilmektedir. SAVI değeri, 0'dan küçük ise bitki örtüsü olmayan bölgeler ya da su alanlarını, 0 ise bitki örtüsü çok seyrek ya da hiç yoktur. 0.2 - 0.3 aralığında bitki örtüsü seyrek ya da stres altında, 0.5'den büyük değer ise yoğun ve sağlıklı bitki örtüsü anlamına gelmektedir. SAVI indisinde, bitki örtüsü ile toprak farkını ortaya koymak için bir L katsayısı (toprak düzeltme faktörü) kullanılmaktadır. Bu katsayı, topraktan gelen ışık yansımalarının bitki örtüsü üzerindeki etkisini azaltmaya yardımcı olmaktadır (Huete, 1988).

EVI (Geliştirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi), atmosferik etkiler ve toprağın yansıtması gibi çevresel faktörlerin olumsuz etkileri azaltılmıştır. EVI değeri 0 ise bitki örtüsü yok ya da çok seyrek, 0.2 - 0.5 arasında seyrek ve stres altında bitki örtüsü, 0.5 - 1 arasında sağlıklı ve yoğun bitki örtüsü, 1'in üzerinde ise çok yoğun ve sağlıklı bitki örtüsü anlamına gelmektedir. EVI, NDVI'dan farklı olarak atmosferik etkileri ve toprak arka planının etkisini azaltarak bitki örtüsünün sağlığını daha hassas bir şekilde izlemeyi amaçlamıştır (Huete, 2002).

LAI (Yaprak alan indeksi- Leaf Area Index), belli alana düşen yaprak alanı miktarını ölçmek için kullanılmaktadır. Bitki yapraklarının kapladığı alanın toprağın alanına oranı olarak tanımlanabilmektedir. Bitki gelişim oranını ve biyokütle üretim miktarını belirlemek için kullanılır. LAI'nin değeri genellikle 0 ile 10 arasında değişir. Ancak çok yoğun ormanlık alanlarda bu değer 10'un üzerine de çıkabilmektedir. LAI değeri 0 ise yaprak ya da bitki örtüsü yok, 0 - 1 arasında çok seyrek bitki örtüsü, 1 - 3 arasında orta derecede bitki örtüsü, 3 - 5 arasında yoğun bitki örtüsü, 5'ten büyük ise çok yoğun bitki örtüsünü ifade etmektedir. LAI, yaprakların toplam yüzey alanının, üzerinde büyüdüğü toprağın yüzey alanına oranıdır. Örneğin, yaprakların toplam alanı toprak alanının iki katıysa, LAI = 2 olmaktadır (Boegh, 2002).

TGI (Triangular Greenness Index), yaprak alanı etkisinden arındırarak bitki klorofilini değerlendirmekte ve bitki azot ihtiyaçlarını ölçmektedir. TGI, multispektral sensörlerin kullanılmadığı yerlerde kullanılabilir. TGI değeri, 0 ise bitki örtüsü yok, 0 - 0.5 arasında seyrek bitki örtüsü, 0.5 - 1.0 arasında orta yoğunlukta bitki örtüsü, 1'den büyükse yoğun bitki örtüsü anlamına gelmektedir (Hunt, 2011).

NDRE (Normalized Difference Red Edge), bitki yapraklarındaki klorofil miktarını ve bitki sağlığını ölçmektedir. NDRE, toprak azotundan bağımsız olarak bitki azot stresini değerlendirmek için kullanılmaktadır. NDRE'de kullanılan bantlar bitkilerin alt kanopisini görüntülediğinden, NDRE genellikle orta ve geç evre mahsullerini değerlendirmek için kullanılmaktadır. NDRE, gübre gereksinimlerini veya yaprak azotundaki değişkenliği takip etmek için kullanılabilir. NDRE değeri 0'dan düşük ise bitki örtüsü yok, 0 - 0.2 arasında seyrek bitki örtüsü, 0.2 - 0.5 arasında orta yoğunlukta bitki örtüsü, 0.5'den yüksek ise yoğun bitki örtüsü anlamına gelmektedir. NDRE'de kullanılan kırmızı kenar bandı, bitkilerin fotosentez etkinliğini ve sağlık durumunu değerlendirmede daha duyarlıdır, böylece NDRE'nin hassasiyeti artmaktadır (Barnes, 2000).

RECI (Kırmızı-kenar Klorofil Bitki Örtüsü İndeksi - Red-Edge Chlorophyll Vegetation Index), azotla beslenen yapraklardaki klorofil miktarını belirlemeye yarar. RECI, hasat zamanı için uygun değildir. RECI değeri 0'ın altında ise bitki örtüsü yok, 0 - 0.2 arasında klorofil içeriği düşük, 0.2 - 0.5 değerleri arasında orta derecede klorofil içeriği, 0.5'den büyük değerlerde yüksek klorofil içeriği anlamındadır. RECI, kırmızı kenar dalga boyu ile bitkinin klorofil seviyelerini belirlemeyi amaçlamıştır (Gitelson ve Merzlyak, 1994).

GNDVI (Yeşil Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü Endeksi - Green Normalized Difference Vegetation Index), NDVI indeksinin değiştirilmiş halidir. Bitkinin fotosentez durumunu değerlendirmek ve klorofil yoğunluğunu ölçmek için kullanılmaktadır. GNDVI, yoğun bitki örtüsünde veya olgunluk aşamasındaki bitkilerde solmuş mahsulleri belirlemek ve azot içeriğini ölçmek için kullanılmaktadır. GNDVI değeri negatif ise bitki örtüsü yok, 0 - 0.2 arasında düşük bitki örtüsü yoğunluğu, 0.2 - 0.5 arasında orta yoğunlukta bitki örtüsü, 0.5'den büyük değerler yüksek klorofil içeriği anlamına gelmektedir. GNDVI, klorofil içeriğini yeşil ve yakın kızılötesi bandlarla hesaplayarak bitki sağlığını daha hassas bir şekilde izlemeye çalışmaktadır (Gitelson, 1998; Ahamed ve diğerleri, 2011).

VARI (Visible Atmospherically Resistant Index), görünür RGB bandlarını kullanmaktadır. Atmosferik etkilerden etkilenmediği için bitki sağlığını ve stresini değerlendirmek için kullanılmaktadır. VARI indisi görünür spektrumdaki bandları aracılığıyla bitkilerin yeşillik seviyesini belirler. VARI indisi -1 ile +1 arasında değerler almaktadır (Gitelson, 2002).

GCI (Green Chlorophyll Vegetation Index), çeşitli bitki türlerinde klorofil miktarını tahmin etmek için kullanılmaktadır. GCI indeksi, klorofilin NIR bandındaki yansımalarının yeşil banttaki yansımalarına oranı olarak hesaplanır. Mevsimselliğin, çevresel streslerin veya uygulanan pestisitlerin bitki örtüsü sağlığı üzerindeki etkisini izlemek için kullanılır. GCI, -1 - +1 arasında değer almakta ve değerlerin yüksek olması, bitki sağlığının iyi olduğunu göstermektedir. GCI, bitkiler tarafından yoğun bir şekilde yansıtılan NIR ve klorofil tarafından emilen yeşil bandı kullanarak bitkilerin klorofil içeriğini hesaplamayı amaçlamaktadır (Gitelson, 2003).

MCARI (Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index), bitki stresi ve hastalıkların erken tespitini bitkinin klorofil içeriğini değerlendirerek gerçekleştirmektedir. MCARI, yeşil yansıma değerlerini kullanarak, arka plandaki toprak etkisini en aza indirmeye çalışmaktadır (Daughtry, 2000).

TVI (Triangular Vegetation Index), bitki sağlığını ve fotosentez aktivitesini takip ederek verimliliği ve bitki sağlığını izlemek için kullanılmaktadır. Sağlıklı bitki örtüsü fotosentez yaparken kırmızı bandı emdiğinden ve kızılötesi ışığı yansıttığından TVI'da bu bantlar ile hesaplama yapılmıştır. TVI genelde 0 ile 1.12 arasında değer almaktadır (Broge, ve diğerleri, 2000).

DVI (Bitki Ayrım İndeksi - Difference Vegetation Index), yakın kızılötesi yansımadan, görünür kırmızıyı çıkarmakla elde edilmektedir. DVI, toprak ve bitki örtüsü arasında ayrım yapar, fakat gölgelerin oluşturduğu yansıma ve parlaklık arasındaki farkı hesaplamaz. NIR bantı sağlıklı bitkilerde yüksek değerler, kırmızı bandı bitkiler emdiği için düşük değerler göstermektedir. Yüksek DVI değerleri, bitkilerin sağlıklı olduğunu ve fotosentetik aktivitenin iyi olduğunu gösterirken, düşük DVI değerleri bitki stresini veya hastalığını işaret etmektedir (Tucker, 1979).

RDVI (Renormalized Difference Vegetation Index), yoğun bitki örtüsü alanlarında biyofiziksel parametreler arasındaki ilişkileri doğrusallaştırmayı amaçlamaktadır. 0 ile 1 arasında RDVI değerleri sağlıklı bitki örtüsünü, 0'ın altındaki değerler bitki sağlığının düşük olduğunu veya toprak gibi bitki örtüsü bulunmayan alanları belirtmektedir (Roujean, 1995).

GARI (Green Atmospherically Resistant Index), NDVI'dan daha geniş bir klorofil aralığını değerlendirebilir ve atmosferik durumlardan daha az etkilenir. GARI, atmosferik etkileri azaltarak bitki sağlığını daha doğru bir şekilde değerlendirmeye olanak tanır. 0 ile 1 arasında GARI değerleri, yüksek fotosentetik aktiviteyi temsil eder. Daha yüksek değerler, daha yoğun ve sağlıklı bitki örtüsünü işaret etmektedir (Gitelson, 1996).

CVI (Chlorophyll vegetation index), bitkinin klorofil içeriğine karşı artan bir duyarlılığa sahiptir. Bitkilerin fotosentetik aktivitesini ve genel sağlık durumunu değerlendirmek amacıyla kullanılır. Sayısal değer aralığı genellikle 0 ile 1 arasında değişmektedir. Ancak bazı sistemlerde daha yüksek değerler de görülebilmektedir (Vincini, 2008).

CI (Chlorophyll index rededge), bitkideki klorofil seviyesini ölçmektedir. Besin ihtiyaçları ile verimi belirlemek için kullanılmaktadır. Formülünde kullanılan kırmızı kenar bandı, bitki örtüsünün yansıma spektrumunda kırmızıdan yakın kızılötesine geçiş arasındaki dar bir banttır. CI, klorofil içeriği, bitki sağlığı ve verim potansiyeli hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır. Düşük klorofil seviyeleri, besin eksiklikleri, su stresi veya zararlılar gibi sorunların göstergesi olabilmektedir. CI değer aralığı 0 ile 2 arasında değişmekte ve daha yüksek değerler daha sağlıklı bitkileri göstermektedir (Gitelson, 1996).

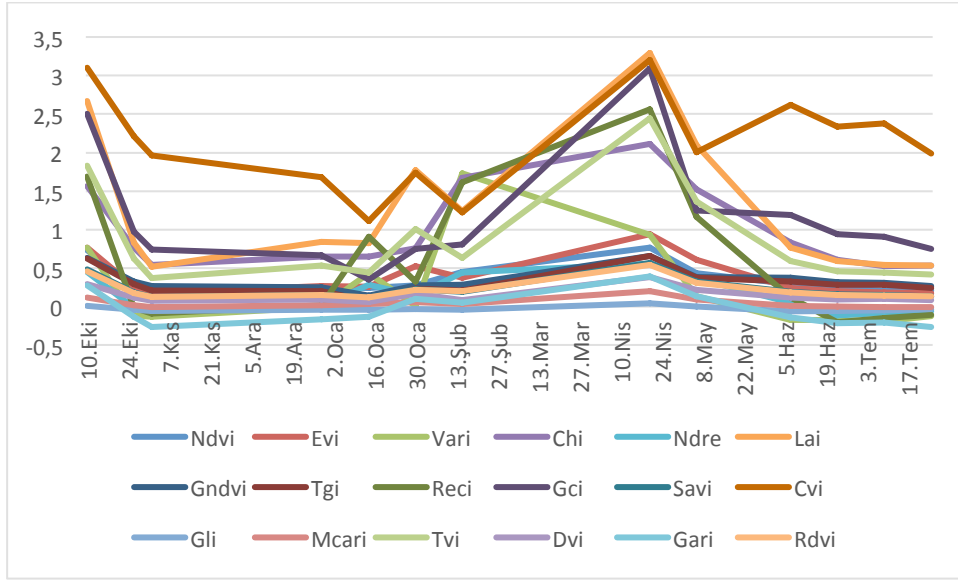
GLI (Green Leaf Index): RGB görüntüler ile buğday alanını ölçmek için geliştirilmiştir. GLI, yeşil bitkilerin varlığını toprak veya su gibi bitki harici yüzeylerden ayırmaya yardımcı olmaktadır. GLI, değerleri -1 ile +1 arasında değişmektedir (Hunt Jr., ve diğerleri, 2011).

Bitki örtüsü indeksleri hesaplanırken uydudan alınan tarlanın görüntüsüne ilgili indeks formülü uygulandıktan sonra elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır ve bu değer görüntünün elde edildiği tarihteki bitki örtüsü indeksi olarak kabul edilmiştir. Bitkinin klorofil düzeyinin en yüksek, dolayısıyla en sağlıklı olduğu dönemde bitki görünür yeşil ve yakın kızılötesi ışığı yansıtmaktadır (Lee, 2015). Arpa ve buğdayın en yüksek klorofil düzeyine sahip olduğu tarihler yakındır. Bu nedenle çalışmada kullanılan tarlaların Ekim-Temmuz ayları arasındaki görüntü değerlerinin aylık ortalaması alınarak

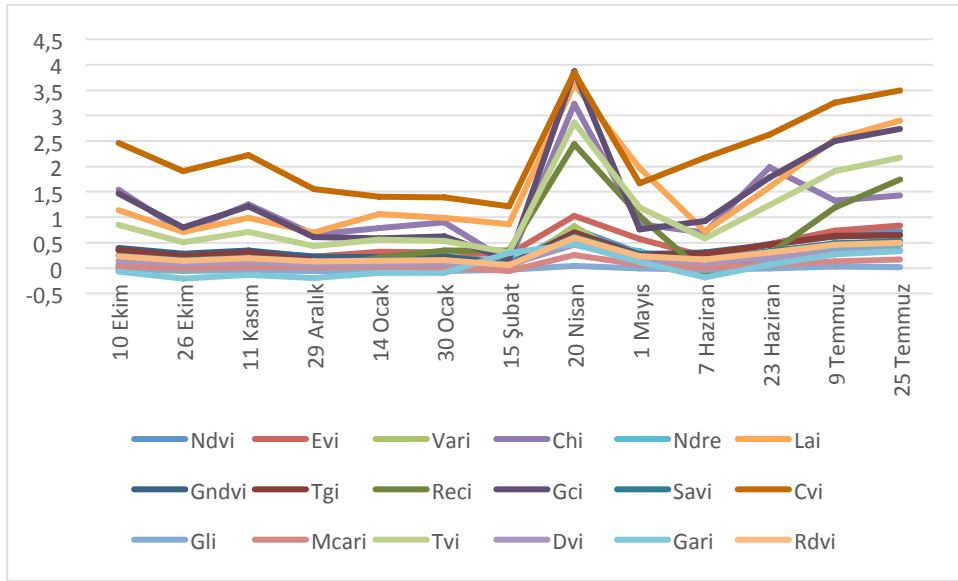
indeks değerleri aylık olarak hesaplanmıştır. Aynı zamanda arpa ve buğdayın indekslerdeki en yüksek değerleri karşılaştırılmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Çalışmada kullanılan buğday ve arpa tarlalarının Landsat 9 uydusundan 01 Ekim 2022 – 31 Temmuz 2023 tarihleri arasında belirlenen indislere ait zaman çizelgeleri elde edilmiştir. Şekil 3 ve Şekil 4'te Balıkesir ili Edremit ilçesinde bulunan buğday ve arpa tarlasına ait zaman çizelgeleri görülmektedir.



Şekil 3. Buğday için bitki indeksleri grafiği (Balıkesir-Edremit)



Şekil 4. Arpa için bitki indeksleri grafiği (Balıkesir-Edremit)

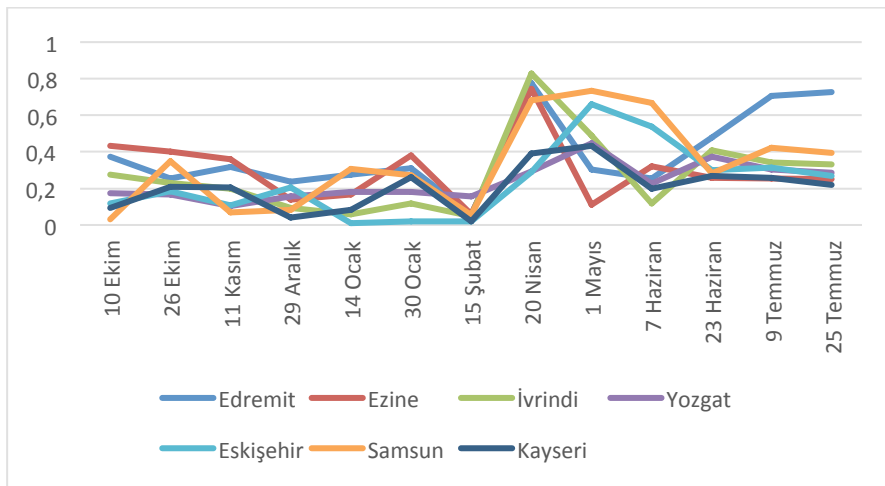
2022-2023 ekim sezonunda Balıkesir ili Edremit ilçesinde bulunan buğday tarlasının Landsat 9 uydusu kullanılarak elde edilen bazı bitki indislerine ait zaman grafiklerindeki değerler Tablo 4' de de listelenmiştir.

Tablo 4. Balıkesir ili Edremit ilçesi 2023 yılı buğday tarlası bitki örtüsü indisleri

Tarih	NDVI	EVI	GNDVI	TGI	SAVI	DVI
10 Ekim	0.729	0.770	0.633	0.622	0.484	0.290
26 Ekim	0.274	0.262	0.327	0.291	0.188	0.116
11 Kasım	0.206	0.176	0.265	0.213	0.127	0.073
29 Aralık	0.241	0.266	0.247	0.198	0.155	0.091
14 Ocak	0.240	0.260	0.142	0.072	0.119	0.060
30 Ocak	0.274	0.523	0.272	0.232	0.226	0.167
15 Şubat	0.453	0.375	0.286	0.213	0.190	0.088
20 Nisan	0.766	0.944	0.656	0.659	0.569	0.386
06 Mayıs	0.431	0.612	0.384	0.372	0.323	0.216
07 Haziran	0.293	0.245	0.372	0.324	0.192	0.114
23 Haziran	0.233	0.197	0.319	0.28	0.156	0.094
09 Temmuz	0.207	0.182	0.311	0.284	0.152	0.099
25 Temmuz	0.210	0.179	0.271	0.246	0.138	0.082

Tablo 4'te görüldüğü gibi Balıkesir-Edremit ilçesinde belirlenen buğday tarlası için Landsat uydusunda tüm indislerin en yüksek değeri 20 Nisan'da elde edilmiştir. 10 Ekim'de elde edilen değerin yüksek olmasının nedeni bu tarlada yaz aylarında ekili olan mısır ürünüdür. Aynı ilçede bulunan diğer buğday tarlalarında da aynı tarihte en yüksek değer elde edilmiştir.

Şekil 5'te çalışmada kullanılan şehirlerde ekilen arpa tarlalarının NDVI değerlerinin zaman serileri görülmektedir. Zaman serilerinde şehirlerin konumları, iklim koşullarından dolayı bitkinin gelişim zamanlarının farklı tarihlerde gerçekleştiği ve batı bölgelerde doğu bölgelere göre bitkinin bir ay daha erken olgunlaştığı belirlenmiştir.



Şekil 5. Belirlenen tarlalardaki arpa tarlalarının NDVI indis değerleri

Tablo 5 ve Tablo 6’da çeşitli bölgelerde ekili olan arpanın Landsat ve Sentinel uydularından elde edilen bitki indislerinin en yüksek olduğu tarihler listelenmiştir. Arpa ve buğdayın ayırımında indislerin en yüksek olduğu tarih klorofil seviyesinin en yüksek olduğu tarih olup bu da arpa ve buğdayın ayırımını kolaylaştırabilmektedir (Abad, ve diğerleri, 2018). Sentinel uydusunda Edremit şehri için NDRE ve CVI indisleri hariç diğer tüm indislerde Landsat uydusundan yaklaşık bir ay daha erken en yüksek değerin elde edildiği görülmektedir. Diğer şehirlerde VARI, CVI ve GARI indisleri hariç diğer indisler her iki uyduda da yakın tarihlerde yüksek değerlere ulaştığı belirlenmiştir.

Tablo 5. Çeşitli alanlardaki arpa tarlalarının bitki örtüsü indislerinin en yüksek olduğu tarihler (Landsat uydusu)

	Edremit	Ezine	Yakakent	İncesu	Gelibolu	Sivrihisar	Sorgun	İvrindi	Gökçeada	Turgutlu
NDVI	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	04 Nis	01 May	03 May	20 Nis	04 Nis	15 Nis
EVI	20 Nis	20 Nis	03 May	26 Nis	04 Nis	01 May	03 May	20 Nis	04 Nis	15 Nis
VARI	20 Nis	20 Nis	01 Nis	03 May	04 Nis	02 Haz	29 Haz	20 Nis	04 Nis	30 Mart
CI	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	04 Nis	01 May	03 May	20 Nis	04 Nis	15 Nis
NDRE	20 Nis	20 Nis	03 May	12 May	04 Nis	02 Haz	26 Nis	20 Nis	04 Nis	15 Nis
LAI	20 Nis	20 Nis	03 May	26 Nis	04 Nis	01 May	03 May	20 Nis	04 Nis	15 Nis
GNDVI	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	04 Nis	01 May	03 May	20 Nis	04 Nis	15 Nis
TGI	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	04 Nis	01 May	03 May	20 Nis	04 Nis	15 Nis
RECI	20 Nis	20 Nis	03 May	12 May	04 Nis	02 Haz	26 Nis	20 Nis	04 Nis	30 Mart
GCI	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	04 Nis	01 May	03 May	20 Nis	04 Nis	15 Nis
SAVI	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	04 Nis	01 May	03 May	20 Nis	04 Nis	15 Nis
CVI	20 Nis	26 Mar	03 May	03 May	04 Nis	01 May	03 May	20 Nis	04 Nis	15 Nis
GLI	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	04 Nis	01 May	03 May	13 Nis	04 Nis	15 Nis
MCARI	20 Nis	26 Mart	03 May	26 Nis	04 Nis	01 May	03 May	20 Nis	04 Nis	15 Nis
TVI	20 Nis	20 Nis	03 May	26 Nis	04 Nis	01 May	03 May	20 Nis	04 Nis	15 Nis
DVI	20 Nis	26 Mart	03 May	26 Nis	04 Nis	01 May	03 May	20 Nis	04 Nis	15 Nis
GARI	20 Nis	06 May	03 May	26 Nis	04 Nis	01 May	26 Nis	20 Nis	04 Nis	15 Nis
RDVI	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	04 Nis	01 May	03 May	20 Nis	04 Nis	15 Nis

Tablo 6. Çeşitli alanlardaki arpa tarlalarının bitki örtüsü indislerinin en yüksek olduğu tarihler (Sentinel uydusu)

	Edremit	Ezine	Yakakent	İncesu	Gelibolu	Sivrihisar	Sorgun	İvrindi	Gökçeada	Turgutlu
NDVI	23 Mart	23 Mart	03 May	03 May	20 Nis	01 May	02 Haz	23 Mart	12 Nis	22 Nis
EVI	23 Mart	23 Mart	03 May	03 May	07 Nis	01 May	02 Haz	23 Mart	12 Nis	22 Nis
VARI	23 Mart	23 Mart	03 May	03 May	07 Nis	01 May	02 Haz	23 Mart	12 Nis	22 Nis
CI	23 Mart	23 Mart	03 May	03 May	20 Nis	01 May	02 Haz	23 Mart	12 Nis	22 Nis
NDRE	22 Nis	23 Mart	03 May	03 May	20 Nis	01 May	02 Haz	23 Mart	12 Nis	22 Nis
LAI	23 Mart	23 Mart	03 May	03 May	07 Nis	01 May	02 Haz	23 Mart	12 Nis	22 Nis
GNDVI	23 Mart	23 Mart	03 May	03 May	20 Nis	01 May	02 Haz	23 Mart	12 Nis	22 Nis
TGI	23 Mart	23 Mart	03 May	03 May	20 Nis	01 May	02 Haz	23 Mart	12 Nis	22 Nis
RECI	22 Nis	23 Mart	03 May	03 May	20 Nis	01 May	02 Haz	23 Mart	12 Nis	22 Nis
GCI	23 Mart	23 Mart	03 May	03 May	20 Nis	01 May	02 Haz	23 Mart	12 Nis	22 Nis
SAVI	23 Mart	23 Mart	03 May	03 May	20 Nis	01 May	02 Haz	23 Mart	12 Nis	22 Nis
CVI	22 Nis	23 Mart	03 May	03 May	25 Nis	01 May	02 Haz	23 Mart	05 May	22 Nis
GLI	23 Mart	23 Mart	03 May	03 May	07 May	01 May	02 Haz	23 Mart	12 Nis	22 Nis
MCARI	23 Mart	23 Mart	03 May	03 May	25 Nis	01 May	02 Haz	23 Mart	12 Nis	22 Nis
TVI	23 Mart	23 Mart	03 May	03 May	25 Nis	01 May	02 Haz	23 Mart	12 Nis	22 Nis
DVI	23 Mart	23 Mart	03 May	03 May	25 Nis	01 May	02 Haz	23 Mart	12 Nis	22 Nis
GARI	23 Mart	23 Mart	22 Tem	12 Şub.	25 Nis	01 May	22 Haz	23 Mart	12 Nis	22 Nis
RDVI	23 Mart	23 Mart	03 May	03 May	25 Nis	01 May	02 Haz	23 Mart	12 Nis	22 Nis

Tablo 5 ve Tablo 6'dan görüleceği üzere Landsat 9 uydusu ile arpa tarlalarından elde edilen indeks verilerden Balıkesir-Edremit ve Çanakkale-Ezine 20 Nisan, Çanakkale-Gelibolu 04 Nisan, Yozgat-Sorgun ve Samsun Yakakent 03 Mayıs, Eskişehir-Sivrihisar 01 Mayıs, Kayseri-İncesu 03 Mayıs tarihinde bitkisel indekslerin en yüksek değerlere ulaştığı görülmüştür. Sentinel 2 uydusundan elde edilen verilerden ise Balıkesir-Edremit ve Çanakkale-Ezine 23 Mart, Çanakkale-Gelibolu 25 Nisan, Samsun-Yakakent ve Kayseri-İncesu 03 Mayıs, Yozgat-Sorgun 02 Haziran, Eskişehir-Sivrihisar 01 Mayıs tarihlerinde en yüksek değerlere ulaştığı belirlenmiştir. Landsat 9 ve Sentinel 2 uydularından elde edilen bitki indekslerinin en yüksek tarihleri arasında çok fark olmadığı görülmektedir. Balıkesir-Edremit, Çanakkale-Ezine'de Landsat ve Sentinel uyduları arasındaki tarih farkının nedeni, bulutlanma oranının yüksek olmasıdır. Bu nedenle Mart ayında Landsat 9 uydusundan görüntü elde edilememiştir.

Tablo 7 ve Tablo 8'de Landsat ve Sentinel uydularından elde edilen buğday tarlalarına ait bitki indekslerinin en yüksek olduğu tarihler verilmiştir.

Tablo 7. Buğday tarlalarının bitki örtüsü indekslerinin en yüksek olduğu tarihler (Landsat uydusu)

	Edremit	Gelibolu	Ezine	Yakakent	İncesu	Sivrihisar	Sorgun	İvrindi	Gökçeada	Turgutlu
NDVI	20 Nis	20Nis	20 Nis	03 May	19 May	01 May	13 Haz	20 Nis	10 May	13 Nis
EVI	20 Nis	20 Nis	20 Nis	19 May	19 May	17 May	13 Haz	20 Nis	10 May	13 Nis
VARI	20 Nis	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	01 May	13 Haz	20 Nis	24 Nis	13 Nis
CI	20 Nis	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	01 May	13 Haz	20 Nis	10 May	13 Nis
NDRE	20 Nis	20 Nis	13 May	03 May	12 May	02 haz	13 Haz	20 Nis	10 May	13 Nis
LAI	20 Nis	20 Nis	20 Nis	19 May	19 May	17 may	13 Haz	20 Nis	10 May	13 Nis
GNDVI	20 Nis	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	01 May	13 Haz	20 Nis	10 May	13 Nis
TGI	20 Nis	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	01 May	13 Haz	20 Nis	10 May	13 Nis
RECI	20 Nis	20 Nis	13 May	03 May	12 May	02 haz	13 Haz	20 Nis	10 May	13 Nis
GCI	20 Nis	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	01 May	13 Haz	20 Nis	10 May	13 Nis
SAVI	20 Nis	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	01 May	13 Haz	20 Nis	10 May	13 Nis
CVI	20 Nis	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	01 May	06 Tem	20 Nis	10 May	13 Nis
GLI	20 Nis	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	01 May	13 Haz	13 Nis	24 Nis	13 Nis
MCARI	20 Nis	20 Nis	20 Nis	19 May	19 May	17 May	13 Haz	20 Nis	10 May	13 Nis
TVI	20 Nis	20 Nis	20 Nis	03 May	19 May	17 May	13 Haz	20 Nis	10 May	13 Nis
DVI	20 Nis	20 Nis	20 Nis	03 May	19 May	17 May	13 Haz	20 Nis	10 May	13 Nis
GARI	20 Nis	20 Nis	20 Nis	03 May	12 May	17 May	10 Nis	20 Nis	10 May	13 Nis
RDVI	20 Nis	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	01 May	13 Haz	20 Nis	10 May	13 Nis

Tablo 7'de Landsat 9 uydusu ile elde edilen buğday tarlalarına ait bitki indislerinin en yüksek değerlerinin tarihleri listelenmektedir. Landsat 9 uydusundan buğday ekili tarlalarda elde edilen en yüksek değerler Çanakkale-Gelibolu ve Ezine ile Balıkesir-Edremit ve İvrindi 20 Nisan, Manisa-Turgutlu 13 Nisan tarihinde elde edilmiştir. Samsun-Yakakent şehrinde ise LAI, EVI ve MCARI indeksleri dışındaki tüm indekslerden 03 Mayıs tarihi elde edilmiştir. Kayseri-İncesu şehrindeki bitki örtüsü indeks değerleri 03-19 Mayıs tarihleri arasında değişmektedir. Yozgat-Sorgun ilçesi buğdayın en geç olduğu yer olarak belirlenmiştir.

Çanakkale, Balıkesir, Manisa illerinin bulunduğu batı bölgelerde bitki indisleri 13-20 Nisan tarihlerinde en yüksek değerlere ulaşırken, doğu bölgelere gidildikçe en yüksek değerlerin Mayıs ve Haziran aylarında elde edildiği görülmektedir. GARI ve NDRE indekslerinin, diğer bitki indekslerinden daha farklı tarihlerde yüksek değere ulaştığı görülmektedir.

Tablo 8. Buğday tarlalarına ait bitki örtüsü indekslerinin en yüksek olduğu tarihler (Sentinel uydusu)

	Edremit	Gelibolu	Ezine	Yakakent	İncesu	Sivrihisar	Sorgun	İvrindi	Gökçeada	Turgutlu
NDVI	07 Nis	20 Nis	20 Nis	07 Haz	03 May	01 May	02 Haz	22 Nis	12 Nis	22 Nis
EVI	22 Nis	07 Nis	25 Nis	07 Haz	03 May	26 May	02 Haz	22 Nis	12 Nis	07 May
VARI	23 Mart	07 Nis	07 Nis	07 Haz	03 May	01 May	02 Haz	22 Nis	07 Nis	22 Nis
CI	07 Nis	20 Nis	20 Nis	07 Haz	03 May	01 May	02 Haz	22 Nis	12 Nis	22 Nis
NDRE	07 Nis	20 Nis	20 Nis	07 Haz	03 May	01 May	02 Haz	22 Nis	12 Nis	22 Nis
LAI	22 Nis	07 Nis	25 Nis	07 Haz	03 May	26 May	02 Haz	22 Nis	12 Nis	07 May
GNDVI	07 Nis	20 Nis	20 Nis	07 Haz	03 May	16 May	02 Haz	22 Nis	12 Nis	22 Nis
TGI	07 Nis	20 Nis	20 Nis	07 Haz	03 May	16 May	02 Haz	22 Nis	12 Nis	22 Nis
RECI	07 Nis	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	01 May	02 Haz	22 Nis	26 Mart	22 Nis
GCI	07 Nis	20 Nis	20 Nis	07 Haz	03 May	01 May	02 Haz	22 Nis	12 Nis	22 Nis
SAVI	07 Nis	20 Nis	20 Nis	07 Haz	03 May	01 May	02 Haz	22 Nis	12 Nis	22 Nis
CVI	07 Nis	20 Nis	20 Nis	03 May	03 May	16 May	02 Haz	22 Nis	12 Nis	22 Nis
GLI	07 Nis	07 Nis	20 Nis	07 Haz	03 May	01 May	07 Haz	22 Nis	07 May	07 May
MCARI	22 Nis	20 Nis	07 May	07 Haz	03 May	16 May	02 Haz	22 Nis	12 Nis	07 May
TVI	22 Nis	07 Nis	07 May	07 Haz	03 May	16 May	02 Haz	22 Nis	12 Nis	07 May
DVI	22 Nis	20 Nis	07 May	07 Haz	03 May	16 May	02 Haz	22 Nis	12 Nis	07 May
GARI	22 Nis	25 Nis	25 Nis	17 Haz	23 Nis	16 May	02 Haz	22 Nis	12 Nis	07 May
RDVI	22 Nis	20 Nis	20 Nis	07 Haz	03 May	16 May	02 Haz	22 Nis	12 Nis	07 May

Tablo 8'de buğday tarlalarına ait bitki indekslerinin en yüksek değere ulaştığı tarihler Sentinel 2 uydusundan elde edilmiştir. Landsat 9 ve Sentinel 2 uydularının bölgeler üzerinden geçme tarihleri aynı zamana denk gelmediği için tarih farklılıkları oluşabilmektedir. Uydulardan görüntüleri elde ederken bulutluluk oranı %20'den az olan günlerin görüntüleri kullanılmıştır. Sentinel 2 uydusunda bitki indekslerinin en yüksek değerli tarihleri Landsat uydusuna göre daha değişkendir. Bunun nedeni Sentinel uydusundan daha yakın tarihli ve daha fazla görüntü elde edilmesidir.

Buğdaya ait Sentinel 2 uydusundan elde edilen verilere göre Balıkesir-Edremit 7 Nisan, Çanakkale-Ezine ve Gelibolu 20 Nisan, Manisa-Turgutlu 22 Nisan-7 Mayıs, Eskişehir-Sivrihisar 1 Mayıs-16 Mayıs, Kayseri-İncesu 03 Mayıs, Yozgat-Sorgun 2 Haziran, Samsun-Yakakent 7 Haziran tarihlerinde bitki indisleri en yüksek değerlere ulaşmıştır.

Balıkesir-Edremit, Çanakkale-Ezine, Çanakkale-Gelibolu şehirleri birbirlerine yakın konumlarda olduğundan, en yüksek bitki indisleri değerleri yakın tarihlerde elde edilmiştir. Tablo 8 ve Tablo 9'da görüldüğü gibi buğday ve arpa için en geç tarih Yozgat-Sorgun şehrinde elde edilmiştir.

Bitkilerin farklı tarihlerde en yüksek değere ulaşmasında sulama, gübreleme, iklim koşulları gibi etmenlerin etkisi de bulunmaktadır. Bu nedenle çalışmada kullanılan tarlaların Ekim 2022 ile Temmuz 2023 ayları arasındaki tüm ayların NDVI, EVI, VARI, CI, NDRE, LAI, GNDVI, TGI, RECI, GCI, SAVI, CVI, GLI, MCARI, TVI, DVI, GARI, RDVI indekslerinin değerleri alınarak buğday ve arpa tarlalarını ayırt etme performansları değerlendirilmiştir. Bitki indekslerinin performanslarını değerlendirmek için t-testi, tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve Lojistik regresyon uygulanmıştır. Tablo 9'da buğday ve arpa tarlalarının aylık bitki indeks değerlerinin buğday ve arpa ayırımındaki performansı gösterilmektedir.

Tablo 9. Buğday ve arpa tarlalarının ayırımı bitki örtüsü indekslerinin performansı ANOVA sonuçları (Landsat uydusu)

İndeks	Kasım		Aralık		Ocak		Şubat		Mart		Nisan		Mayıs		Haziran		Temmuz	
	f	p	f	p	f	p	f	p	f	p	f	p	f	p	f	p	f	p
NDVI	4.09	0.06	1.93	0.18	0.00	1.00	0.72	0.40	0.01	0.94	3.48	0.07	0.07	0.80	0.26	0.61	1.02	0.32
EVI	2.18	0.16	0.32	0.58	0.21	0.65	0.00	0.96	0.04	0.84	3.80	0.06	0.84	0.37	0.34	0.56	0.56	0.46
VARI	6.46	0.02	0.51	0.48	1.49	0.23	2.28	0.14	1.39	0.25	3.86	0.06	0.01	0.93	0.61	0.44	1.56	0.22
CI	3.45	0.08	1.75	0.20	0.47	0.50	0.56	0.46	0.38	0.55	3.58	0.07	0.15	0.70	0.23	0.63	1.10	0.30
NDRE	0.07	0.80	4.73	0.04	4.67	0.04	0.03	0.85	1.68	0.21	0.31	0.58	1.12	0.30	3.20	0.08	0.27	0.61
LAI	2.19	0.15	0.32	0.58	0.20	0.66	0.00	0.96	0.04	0.84	3.80	0.06	0.84	0.37	0.34	0.56	0.56	0.46
GNDVI	1.76	0.20	1.16	0.29	0.20	0.66	0.29	0.60	0.12	0.73	3.34	0.08	0.06	0.81	0.39	0.54	0.56	0.46
TGI	1.37	0.26	0.67	0.42	0.16	0.69	0.11	0.74	0.12	0.73	3.44	0.07	0.15	0.70	0.49	0.49	0.46	0.50
RECI	0.01	0.93	3.72	0.06	4.14	0.05	0.02	0.88	1.55	0.22	0.06	0.80	0.62	0.44	2.95	0.10	0.17	0.69
GCI	1.72	0.20	1.47	0.24	0.04	0.84	0.46	0.51	0.08	0.78	3.51	0.07	0.15	0.70	0.28	0.60	0.75	0.39
SAVI	1.85	0.19	1.06	0.31	0.08	0.78	0.16	0.69	0.05	0.83	3.86	0.06	0.40	0.53	0.10	0.75	0.46	0.51
CVI	0.16	0.69	1.10	0.30	0.44	0.52	0.20	0.66	0.08	0.78	3.06	0.09	0.07	0.79	0.07	0.79	0.02	0.89
GLI	0.00	0.98	0.95	0.34	1.01	0.33	0.18	0.67	0.21	0.65	3.58	0.07	1.02	0.32	0.23	0.63	0.29	0.59
MCARI	1.45	0.24	3.35	0.08	0.67	0.42	0.72	0.40	1.41	0.25	4.49	0.04	0.47	0.50	0.19	0.66	0.31	0.58
TVI	1.50	0.24	0.40	0.53	0.21	0.65	0.03	0.86	0.21	0.65	4.16	0.05	0.80	0.38	0.02	0.88	0.27	0.61
DVI	0.69	0.42	0.04	0.84	0.16	0.70	0.00	0.98	0.12	0.73	4.06	0.05	0.98	0.33	0.09	0.76	0.06	0.80
GARI	0.00	0.98	1.29	0.27	2.08	0.16	0.65	0.43	0.02	0.90	0.07	0.79	2.62	0.12	4.98	0.03	0.35	0.56
RDVI	2.06	0.17	0.97	0.33	0.06	0.81	0.18	0.67	0.05	0.83	3.86	0.06	0.40	0.53	0.05	0.82	0.45	0.51

ANOVA analizinde p-değeri 0.05 değerinden küçükse anlamlı bir fark olduğu, buğday ve arpa tarlalarının ayırımının yapılabildiği anlamına gelir. P değeri 0.05 değerine eşit ya da büyükse, indeksin buğday ve arpa ayırımı yapamadığı anlamına gelmektedir. F istatistik değeri daha yüksek olanlar grupların arasında daha büyük bir fark olduğunu göstermektedir. Diğer bir deyişle F değerinin yüksek olması, buğday ve arpa arasında önemli bir fark olduğunu gösterir. Buna göre Tablo 9'daki Landsat uydusuna ait ANOVA sonuçlarından Kasım ayında VARI, Aralık ve Ocak aylarında NDRE, Nisan ayında MCARI, Haziran ayında ise GARI indeksinin anlamlı olduğu, buğday ve arpa tarlalarının ayırımında etkili olduğu belirlenmiştir. Tablo 10'da ise Sentinel uydusuna ait aylık bitki indekslerinin buğday ve arpa ayırma doğrulukları gösterilmektedir.

Tablo 10. Buğday ve arpa tarlalarının ayırımı bitki örtüsü indekslerinin performansı ANOVA sonuçları (Sentinel uydusu)

İndeks	Kasım		Aralık		Ocak		Şubat		Mart		Nisan		Mayıs		Haziran		Temmuz	
	f	p	f	p	f	p	f	p	f	p	f	p	f	p	f	p	f	p
NDVI	1.24	0.27	0.03	0.87	1.34	0.26	0.55	0.46	0.88	0.36	0.06	0.81	0.22	0.64	0.04	0.85	0.13	0.72
EVI	0.31	0.58	0.03	0.86	0.03	0.87	0.40	0.53	0.26	0.61	0.26	0.61	0.50	0.48	0.31	0.58	0.20	0.65
VARI	0.00	0.98	3.18	0.08	6.16	0.02	1.44	0.24	1.03	0.32	0.19	0.67	0.11	0.74	0.03	0.86	0.05	0.82
CI	1.73	0.20	0.84	0.37	1.64	0.21	0.84	0.37	0.71	0.41	0.10	0.75	0.73	0.40	0.00	0.95	0.08	0.78
NDRE	1.12	0.30	0.01	0.93	1.19	0.28	0.59	0.45	0.98	0.33	0.02	0.89	0.24	0.63	0.03	0.86	0.12	0.73
LAI	0.32	0.58	0.03	0.86	0.03	0.87	0.40	0.53	0.26	0.61	0.26	0.61	0.50	0.48	0.31	0.58	0.21	0.65
GNDVI	2.16	0.15	0.12	0.73	0.37	0.55	0.27	0.60	0.57	0.46	0.03	0.87	0.33	0.57	0.14	0.71	0.58	0.45
TGI	1.22	0.28	0.30	0.58	0.11	0.74	0.29	0.59	0.52	0.48	0.05	0.82	0.36	0.55	0.05	0.82	0.62	0.44
RECI	0.27	0.61	0.01	0.94	0.64	0.43	0.03	0.87	0.00	0.97	4.54	0.04	4.97	0.03	1.10	0.30	1.90	0.18
GCI	3.93	0.06	1.62	0.21	0.01	0.92	3.02	0.09	12.55	0.00	35.10	0.00	52.72	0.00	10.40	0.00	7.67	0.01
SAVI	15.00	0.00	10.04	0.00	10.93	0.00	27.63	0.00	25.62	0.00	59.13	0.00	141.6	0.00	59.26	0.00	21.48	0.00
CVI	24.24	0.00	11.57	0.00	18.63	0.00	38.20	0.00	27.77	0.00	70.54	0.00	196.0	0.00	136.7	0.00	45.71	0.00
GLI	47.79	0.00	48.55	0.00	23.19	0.00	51.35	0.00	622.7	0.00	624.2	0.00	564.8	0.00	307.5	0.00	178.2	0.00
MCARI	2.24	0.14	0.18	0.67	0.04	0.85	4.34	0.05	2.58	0.12	26.00	0.00	22.64	0.00	0.47	0.50	10.63	0.00
TVI	12.67	0.00	8.07	0.01	0.00	0.97	0.36	0.55	0.02	0.90	19.53	0.00	5.08	0.03	1.75	0.19	0.14	0.71
DVI	12.50	0.00	9.12	0.00	0.09	0.77	0.22	0.64	0.00	0.98	22.74	0.00	6.51	0.02	3.21	0.08	0.98	0.33
GARI	7.47	0.01	6.98	0.01	0.01	0.91	0.35	0.56	0.00	1.00	1.94	0.17	7.16	0.01	0.01	0.94	4.41	0.04
RDVI	10.15	0.00	7.29	0.01	0.01	0.94	0.28	0.60	0.08	0.78	18.86	0.00	5.37	0.03	1.69	0.20	0.77	0.39

Tablo 10'daki Sentinel uydusundan elde edilen ANOVA sonuçlarına göre Kasım ve Aralık aylarında SAVI, CVI, GLI, TVI, DVI, GARI, RDVI, Ocak ayında SAVI, CVI, GLI, VARI, Şubat ayında SAVI, CVI, GLI, MCARI, Mart ve Haziran aylarında GCI, SAVI, CVI, GLI, Nisan ayında RECI, GCI, SAVI, CVI, GLI, MCARI, TVI, DVI, RDVI, Mayıs ayında RECI, GCI, SAVI, CVI, GLI, MCARI, TVI, DVI, GARI, RDVI indekslerinin anlamlı olduğu, buğday ve arpayı ayırabildiği görülmüştür.

Elde edilen indeks değerlerinin buğday ve arpa tarlalarının ayırımının performans değerlendirmesi Lojistik Regresyon koordinat inişi algoritması ile de yapılmış ve Tablo 11 ile Tablo 12'de gösterilmektedir. Lojistik regresyon sonucunda elde edilen her indekse ait faktör (koefisyan), o indeksin buğday ve arpa arasındaki ayırımında ne kadar etkili olduğunu göstermektedir. Pozitif koefisyan, buğday ve arpa ayırımını daha yüksek olasılıkla yapılabildiğini, negatif koefisyan ise iki bitki arasındaki ayırımın olmadığını göstermektedir. Lojistik regresyonda 0.5 karar sınırı olarak alınabilir, 0.5 üzerindeki değerler buğday ve arpa ayırımını daha iyi yapabilmektedir.

Tablo 11. Buğday ve arpa tarlalarının ayırımı bitki örtüsü indekslerinin performansı Lojistik Regresyon sonuçları (Landsat uydusu)

İndeks	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz
CI	0.39672	0.16504	-0.20784	0.25914	0.52761	-0.19274	0.47915	-0.17446	1.00220
CVI	-0.50946	-0.13714	0.01020	0.26325	0.03318	0.28321	0.13510	-0.58068	-0.05126
DVI	-0.02887	-0.00380	0.00436	-0.01901	-0.01101	-0.0031	-0.02759	0.01682	-0.04356
EVI	-0.04964	0.06418	-0.03818	-0.05620	-0.02651	0.03927	0.02056	0.06402	0.03274
GARI	-0.26453	0.18772	0.01833	-0.19476	-0.30639	0.02153	-0.37547	0.74329	-0.47367
GCI	0.07935	0.01326	-0.17145	0.35722	0.52941	0.12042	0.11046	-0.33775	0.54452
GLI	-0.00135	0.02525	-0.01160	-0.01512	-0.00905	-0.00486	-0.01298	-0.00618	-0.00054
GNDVI	0.03649	0.02328	-0.05885	0.11152	0.15384	0.04595	0.12445	-0.13066	0.09898
LAI	-0.14808	0.22659	-0.15528	-0.19231	-0.02829	0.13320	0.03938	0.27053	0.13218
MCARI	0.05925	-0.06126	0.00040	0.01922	0.02794	-0.01583	0.01374	0.00307	0.01961
NDRE	-0.22566	0.15439	0.01987	-0.10306	-0.12649	0.16122	-0.16904	0.17244	-0.08066
NDVI	0.14364	0.04589	-0.06433	0.14026	0.11613	0.05747	0.20319	-0.07377	0.16905
RDVI	0.02357	0.00589	-0.02177	0.03615	0.03504	0.01635	0.05010	-0.02974	0.03209
RECI	-0.5537	0.59064	0.24612	-0.12487	-0.01658	0.74506	-0.41260	0.40044	-0.29078
SAVI	0.01822	-0.00099	-0.02556	0.03564	0.04164	0.01840	0.04944	-0.04664	0.03594
TGI	0.01498	0.04467	-0.07257	0.09299	0.15668	0.03263	0.09604	-0.14424	0.08461
TVI	0.00101	-0.16374	-0.25846	-0.20557	-0.09719	-0.13476	-0.14991	0.25285	-0.25730
VARI	0.26002	-0.38549	-0.06270	0.31465	-0.11596	-0.06159	0.28032	0.34670	0.16414

Tablo 11'deki Lojistik Regresyon sonuçlarına göre, Aralık ayında RECI, Mart ayında CHI, Haziran ayında GARI, Temmuz ayında GCI, CHI indekslerinin buğday ve arpa ayırımını daha iyi yapabileceği belirlenmiştir.

Tablo 12. Buğday ve arpa tarlalarının ayırımı bitki örtüsü indekslerinin performansı Lojistik Regresyon sonuçları (Sentinel uydusu)

İndeks	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz
CI	-2.6E-07	-2E-05	-3.3E-07	-6.3E-08	-1.7E-07	-3.1E-09	-2.4E-08	-3.7E-08	-1.9E-07
CVI	9.2E-05	-0.00134	3.6E-05	2.69E-05	-8E-06	1.15E-05	1.15E-05	5.06E-05	0.000105
DVI	-4.1E-05	0.00085	2.33E-05	-2.9E-05	-0.0003	-3.8E-05	-4.2E-05	-4.5E-05	-0.00012
EVI	-9.5E-08	-5.7E-06	-2.2E-07	-3.8E-08	-1.2E-07	-4.9E-09	-1.1E-08	-2.6E-08	-9.8E-08
GARI	-0.00155	-0.0079	-0.0017	-0.00127	-0.00088	-0.00038	-0.00057	-0.00112	-0.00166
GCI	-5.4E-05	-0.0027	-0.00028	-0.00011	-0.00027	4.56E-07	-8.2E-06	6.21E-07	-8.8E-05
GLI	0.001447	0.003807	0.002885	0.001393	0.00223	0.000116	0.00019	0.000602	0.002175
GNDVI	-1E-07	-8.1E-06	-1.4E-07	-3E-08	-1.1E-07	-1.3E-09	-1.4E-08	-1.1E-08	-7.5E-08
LAI	-2.7E-07	-1.9E-05	-7.5E-07	-1.2E-07	-4.3E-07	-1.6E-08	-3.2E-08	-8.2E-08	-3.3E-07
MCARI	-4E-05	-0.00789	-0.00028	7.28E-07	-1.9E-06	2.06E-05	-8.7E-06	-1.3E-05	-0.0002
NDRE	-7.3E-08	-5.5E-06	-7.4E-08	-1.7E-08	-5.2E-08	-7E-10	-7.7E-09	-1.2E-08	-5.4E-08
NDVI	-1E-07	-8E-06	-1.1E-07	-2.6E-08	-7.1E-08	-1.1E-09	-1E-08	-1.5E-08	-6.9E-08
RDVI	-2E-06	-6.5E-05	-8.1E-07	-5.2E-07	9.26E-08	-8.6E-08	-2.4E-07	-3E-07	-1.5E-06
RECI	-1.8E-07	-1.3E-05	-1.9E-07	-3.8E-08	-1.1E-07	-2.2E-09	-1.8E-08	-2.8E-08	-1.4E-07
SAVI	0.003143	0.011462	0.000872	0.000211	0.001921	0.000572	0.000644	0.00071	0.00045
TGI	-7.9E-08	-7.7E-06	-1.6E-07	-2.6E-08	-1.2E-07	-9.2E-10	-1.3E-08	-9.8E-09	-7.3E-08
TVI	-0.00019	0.000309	7.81E-06	-4.5E-05	-4.7E-05	-0.00011	-0.00011	-7.6E-05	5.64E-06
VARI	-8.1E-09	4.49E-05	1.41E-07	7.77E-09	8.98E-08	4.39E-10	8.15E-09	-6.5E-09	1.12E-08

Tablo 12'deki Lojistik regresyon sonuçlarına göre eşik değeri olarak alınan 0.5 değerini hiçbir indeks geçmemektedir. Pozitif olan değerlerin ayırım yaptığı göz önüne alınırsa Kasım ayında CVI ve GLI, Aralık, Ocak, Nisan, Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında GLI, Şubat ve Mart aylarında GLI ve GNDVI indeksleri iki bitki arasında ayırımı yapabilmektedir. Ancak lojistik regresyon sonucuna göre buğday ve arpayı çok iyi ayırt edemedikleri görülmektedir.

Çalışmada indeks performansları t-testi ile de değerlendirilmiştir. T-testinde p değeri, 0.05'ten küçükse istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır. Bu değer 0.05'ten büyükse istatistiksel olarak anlamlı değildir. Tablo 13 ve Tablo 14'te görülen p değerleri 0.05 değerinden küçükse bu değere sahip olan indeks değerinin bulunduğu ayda buğday ve arpa ayırımını yapabildiği anlamına gelmektedir.

Tablo 13. Buğday ve arpa tarlalarının ayırımı bitki örtüsü indekslerinin performansı t-testi sonuçları (Landsat uydusu)

İndeks	Kasım		Aralık		Ocak		Şubat		Mart		Nisan		Mayıs		Haziran		Temmuz	
	t	p	t	p	t	p	t	p	t	p	t	p	t	p	t	p	t	P
NDVI	2.023	0.057	-1.388	0.176	0.000	1.000	0.851	0.403	-0.075	0.941	-1.865	0.073	-0.255	0.800	-0.510	0.614	1.012	0.320
EVI	1.477	0.155	0.566	0.576	-0.453	0.655	-0.051	0.960	-0.200	0.843	-1.949	0.061	-0.918	0.367	0.585	0.563	0.747	0.461
VARI	2.541	0.019	-0.717	0.479	1.220	0.234	1.508	0.144	-1.180	0.249	-1.966	0.059	-0.095	0.925	0.781	0.442	1.251	0.221
CI	1.857	0.078	-1.323	0.196	0.684	0.501	0.745	0.463	-0.613	0.546	-1.892	0.069	-0.385	0.703	-0.485	0.632	1.050	0.302
NDRE	-0.257	0.800	2.175	0.038	2.160	0.041	0.185	0.854	-1.296	0.206	-0.555	0.583	-1.057	0.300	1.790	0.084	0.522	0.606
LAI	1.481	0.154	0.566	0.576	-0.452	0.655	-0.052	0.959	-0.198	0.845	-1.948	0.061	-0.919	0.366	0.586	0.562	0.746	0.462
GNDVI	1.328	0.199	-1.079	0.290	-0.443	0.662	0.536	0.596	0.353	0.727	-1.828	0.078	-0.246	0.807	-0.622	0.539	0.750	0.459
TGI	1.170	0.256	-0.819	0.419	-0.402	0.691	0.336	0.739	0.354	0.727	-1.854	0.074	-0.390	0.700	-0.702	0.488	0.678	0.503
RECI	-0.087	0.932	1.930	0.063	2.034	0.053	0.152	0.880	-1.244	0.225	-0.252	0.803	-0.789	0.437	1.719	0.097	0.407	0.687

İndeks	Kasım		Aralık		Ocak		Şubat		Mart		Nisan		Mayıs		Haziran		Temmuz	
	t	p	t	p	t	p	t	p	t	p	t	p	t	p	t	p	t	P
GCI	1.311	0.205	-1.210	0.236	0.199	0.844	0.676	0.505	-0.279	0.783	-1.872	0.072	-0.393	0.697	-0.529	0.601	0.863	0.395
SAVI	1.362	0.188	-1.031	0.311	-0.279	0.782	0.405	0.689	-0.215	0.831	-1.964	0.060	-0.629	0.534	-0.324	0.749	0.675	0.505
CVI	0.406	0.689	-1.050	0.302	-0.661	0.515	0.446	0.659	0.277	0.784	-1.748	0.091	-0.269	0.790	-0.270	0.789	0.142	0.888
GLI	-0.031	0.976	0.975	0.338	1.004	0.326	-0.425	0.674	-0.463	0.647	-1.892	0.069	-1.008	0.322	-0.482	0.633	0.541	0.592
MCARI	1.205	0.242	-1.832	0.077	-0.815	0.423	0.849	0.404	-1.186	0.247	-2.119	0.043	-0.689	0.496	-0.438	0.665	0.555	0.583
TVI	1.224	0.235	-0.635	0.531	-0.453	0.654	0.177	0.861	-0.460	0.649	-2.039	0.051	-0.896	0.378	0.148	0.883	0.516	0.609
DVI	0.832	0.415	-0.199	0.844	-0.394	0.697	-0.026	0.979	-0.352	0.728	-2.014	0.054	-0.990	0.330	0.305	0.763	0.252	0.803
GARI	-0.022	0.983	1.136	0.265	1.443	0.162	-0.807	0.427	-0.123	0.903	-0.267	0.791	-1.618	0.117	2.231	0.034	-0.591	0.559
RDVI	1.436	0.166	-0.984	0.333	-0.238	0.814	0.428	0.673	-0.217	0.830	-1.964	0.059	-0.629	0.535	-0.226	0.823	0.671	0.507

Tablo 13'te Kasım ayında VARI, Aralık ve Ocak aylarında NDRE, Nisan ayında MCARI, Haziran ayında GARI indeksinin Landsat uyusunda buğday ve arpa ayrımı yapabildiği görülmektedir.

Tablo 14. Buğday ve arpa tarlalarının ayrımı bitki örtüsü indekslerinin performansı t-testi sonuçları(Sentinel uyduyu)

İndeks	Kasım		Aralık		Ocak		Şubat		Mart		Nisan		Mayıs		Haziran		Temmuz	
	t	p	t	p	t	p	t	p	T	p	t	p	t	p	t	P	t	P
NDVI	1.11	0.27	0.16	0.86	1.15	0.25	0.74	0.46	0.93	0.35	-0.24	0.81	-0.46	0.64	0.19	0.84	-0.35	0.72
EVI	0.56	0.58	0.17	0.86	0.16	0.86	0.630	0.53	0.51	0.61	-0.51	0.61	-0.70	0.48	0.55	0.58	-0.45	0.65
VARI	0.02	0.98	1.783	0.08	2.48	0.01	1.201	0.23	1.01	0.32	-0.43	0.66	-0.33	0.73	-0.18	0.85	0.23	0.81
CI	1.31	0.19	0.915	0.36	1.28	0.20	0.917	0.36	0.84	0.40	-0.32	0.74	-0.85	0.39	-0.06	0.95	-0.28	0.78
NDRE	1.05	0.29	0.08	0.93	1.09	0.28	0.77	0.44	0.99	0.33	-0.14	0.88	-0.48	0.62	0.17	0.86	-0.35	0.72
LAI	0.56	0.57	0.17	0.86	0.16	0.86	0.62	0.53	0.51	0.61	-0.51	0.61	-0.70	0.48	0.56	0.57	-0.45	0.65
GNDVI	1.46	0.15	-0.34	0.73	0.60	0.54	0.52	0.60	0.75	0.45	-0.15	0.87	-0.57	0.56	0.37	0.71	-0.75	0.45
TGI	1.10	0.27	-0.55	0.58	0.33	0.74	0.54	0.59	0.72	0.47	-0.22	0.82	-0.60	0.55	0.23	0.81	-0.78	0.43
RECI	0.52	0.60	-0.07	0.93	0.80	0.42	-0.16	0.87	-0.03	0.97	-2.13	0.04	-2.22	0.03	-1.05	0.30	-1.37	0.17
GCI	1.98	0.05	1.27	0.21	0.10	0.91	1.73	0.09	3.54	0.00	5.92	0.00	7.26	0.00	3.22	0.00	2.76	0.00
SAVI	3.87	0.00	3.16	0.00	3.30	0.00	5.25	0.00	5.06	0.00	7.69	0.00	11.90	0.00	7.69	0.00	4.63	0.00
CVI	4.92	0.00	3.40	0.00	4.31	0.00	6.18	0.00	5.27	0.00	8.39	0.00	14.00	0.00	11.69	0.00	6.76	0.00
GLI	6.91	0.00	6.96	0.00	4.81	0.00	7.16	0.00	24.95	0.00	40.30	0.00	23.76	0.00	17.53	0.00	34.32	0.00
MCARI	-1.4	0.14	-0.42	0.67	0.18	0.85	-2.08	0.04	-1.60	0.12	-5.09	0.00	-4.75	0.00	-0.68	0.49	-3.26	0.00
TVI	3.55	0.00	2.84	0.00	-0.3	0.97	-0.60	0.55	0.13	0.89	-4.41	0.00	-2.25	0.03	-1.32	0.19	-0.38	0.70
DVI	3.53	0.00	3.02	0.00	0.30	0.76	-0.47	0.64	-0.02	0.97	-4.76	0.00	-2.55	0.01	-1.79	0.08	-0.99	0.32
GARI	2.73	0.01	2.64	0.01	-0.1	0.91	0.59	0.55	0.00	0.99	-1.39	0.17	-2.67	0.01	0.07	0.94	-2.10	0.04
RDVI	3.18	0.00	2.70	0.01	0.07	0.94	-0.52	0.60	0.28	0.77	-4.34	0.00	-2.31	0.02	-1.29	0.20	-0.87	0.38

Tablo 14'de Kasım ve Aralık aylarında SAVI, CVI, GLI, TVI, DVI, GARI, RDVI, Ocak ayında VARI, SAVI, CVI, GLI, Şubat ayında SAVI, CVI, GLI, MCARI, Nisan ayında RECI, GCI, SAVI, CVI, GLI, TVI, DVI, RDVI, Mayıs ayında RECI, GCI, SAVI, CVI, GLI, MCARI, TVI, DVI, GARI, RDVI, Haziran ve Mart aylarında GCI, SAVI, CVI, GLI indekslerinin buğday ve arpa ayrımı yapabildiği görülmüştür.

Bazı araştırmacıların buğday ve arpa tarlalarını beraber değerlendirdikleri çalışmalarda karşılaştırılan indeks sayısı az olmasına rağmen NDVI indeksinden en doğru sonucu elde etmişlerdir (Peştemalci vd., 1995; Huete vd., 1997; Payero vd., 2004; Qader vd., 2018; Morlin Carneiro vd., 2020). Na vd. çalışmalarında arpa ve buğday büyüme tahmini gerçekleştirebilmek için farklı bitki indeksleri ile çalışmışlar ve RVI, NDVI, NGRDI ve GLI indekslerinin daha başarılı olduğunu belirlemişlerdir (Na vd., 2016). RGB görüntüler ile çalışmada GLI, VARI, TGI indeksleri kullanılmıştır. Fuentes-Peailillo vd., 2018 yılındaki çalışmalarına benzer olarak TGI indeksi RGB görüntüleri için en uygun indeks olduğu görülmüştür (Fuentes-Peailillo vd., 2018). Buğday ve arpa tarlalarını indeksler ile ayırt edebilmek için araştırmacılar buğday ve arpa tarlalarını makine öğrenmesi yöntemleri ile sınıflandırmışlardır ve

çalışmalarında çeşitli indeksler ile zaman serileri kullanmışlardır (Faqe Ibrahim vd., 2023; Ibrahim vd., 2022; Nitze vd., 2012; Sun vd., 2020; Zheng vd., 2015; Ashourloo vd., 2022; Viña vd., 2011).

Sağlıklı bitkilerde klofil düzeyi yüksek olduğundan yakın kızılötesi bandı ve görünür spektrumda yeşil band yansıtılmaktadır. Bu nedenle bu bandları kullanan indislerin daha iyi sonuç verdiği düşünülmektedir.

Çalışmada Landsat uydusunda, Anova ve t-testi sonuçlarına göre Kasım ayında VARI, Aralık ve Ocak aylarında NDRE, Nisan ayında MCARI, Haziran ayında ise GARI indeksinin anlamlı olduğu, Lojistik Regresyon sonuçlarına göre Aralık ayında RECI, Mart ayında CHI, Haziran ayında GARI, Temmuz ayında GCI, CHI indekslerinin buğday ve arpa ayırımını daha iyi yapabileceği belirlenmiştir. Sentinel uydusunda ise Anova ve t-testi sonuçlarına göre Kasım ve Aralık aylarında SAVI, CVI, GLI, TVI, DVI, GARI, RDVI, Ocak ayında SAVI, CVI, GLI, VARI, Şubat ayında SAVI, CVI, GLI, MCARI, Mart ve Haziran aylarında GCI, SAVI, CVI, GLI, Nisan ayında RECI, GCI, SAVI, CVI, GLI, MCARI, TVI, DVI, RDVI, Mayıs ayında RECI, GCI, SAVI, CVI, GLI, MCARI, TVI, DVI, GARI, RDVI indeksleri, Lojistik regresyon sonuçlarına göre eşik değerini geçen bir indeks olmadığı fakat Kasım ayında CVI ve GLI, Aralık, Ocak, Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz aylarında GLI, Şubat ve Mart aylarında GLI ve GNDVI indeksleri pozitif değer aldığı ve çok iyi olmasa da iki bitki arasında ayırımı yapabilecekleri belirlenmiştir.

Anova, t-testi ve lojistik regresyon sonuçları beraber değerlendirildiğinde, Landsat uydusunda GARI indeksi Haziran ayında buğday ve arpa ayırımını en yüksek koefisyan (0.74) ve en düşük p değeri ($p=0.03$) ile gerçekleştirebileceği görülmüştür ($t=2.231$, $f=4.98$).

Sentinel uydusunda ise Anova ve t-testi sonuçlarına göre buğday ve arpa farkını GLI indeksi Mayıs ayında daha iyi ayırabilmektedir ($p=0.00$, $f=624.2$, $t=40.3$). Lojistik regresyon sonuçlarına göre SAVI ve GLI indeksleri ayırım yapabilmesine rağmen çok başarılı olmadıkları belirlenmiştir.

GARI indeksinin yeşil alan ve su içeriği gibi özellikleri belirleyebildikleri için Landsat uydusunda daha iyi sonuç verdiği, Sentinel uydusunda ise GLI indeksi yeşil yaprak alanına odaklandığından arpa ve buğdayı ayırabildiği görülmüştür.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kritik bir ürün olan buğday ve arpanın ürün sınıflandırması ile ekim alanlarının belirlenmesi, iki ürünün yetiştirme zamanları yakın olduğundan güç olabilmektedir. Uydu görüntülerini elde ederken bulut etkisi olduğundan ve uyduların görüntü elde etme aralığı uzun olduğundan klorofil seviyeleri tespitinde farklılıklar oluşmuştur. Bu nedenle hangi uydunun en yüksek klorofil miktarını tespit ettiği belirlenmemiştir. Her indeksin bir bitkiye ya da bitkinin bir özelliğine odaklanması, indekslerin doğru amaçla kullanılması için gereklidir.

Bölgesel olarak arpa ve buğdayın ekim ve yetiştirme zamanları farklılık gösterdiği indekslerin zaman serilerinden anlaşılabilir. Batı bölgelerinde (Balıkesir, Çanakkale) iki bitki de Mart-Nisan aylarında en yüksek klorofil seviyesine ulaşırken, İç Anadolunun batısında (Yozgat, Kayseri) batı bölgelerine göre 10-15 gün fark ile Mayıs ayında klorofil seviyesi en yüksek değerine ulaşmıştır. Bu nedenle indeksleri kullanırken bölgesel olarak değerlendirmek önemlidir.

Aynı bölgede yetişen arpanın buğdaydan 10-15 gün önce en yüksek klorofil düzeyine ulaştığı belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar:

- Arpanın en yüksek klorofil miktarının olduğu dönemin belirlenmesi için Landsat 9 uydusunda GCI, NDVI, TGI indeksleri, Sentinel 2 uydusunda NDVI, TGI, SAVI indeksleri,
 - Buğdayın en yüksek klorofil miktarının olduğu dönemin belirlenmesi için Landsat 9 uydusunda NDVI, CI, TGI indeksleri, Sentinel 2 uydusunda NDVI, GCI, SAVI indeksleri,
 - Her iki uydu için buğday tarlaları için NDVI, SAVI, GCI, arpa tarlaları için TGI, NDVI, GNDVI indeksleri,
 - Buğday ve arpa tarlalarının ayırt edilmesinde Landsat uydusunda Haziran ayında GARI indeksi, Sentinel uydusunda Mayıs ayında GLI indeksleri,
- en iyi sonuçları verdiği için ilgili çalışmalarda kullanılmak için uygun olduğu düşünülmektedir.

- Uydu görüntülerinden arpa ve buğdayı ayırt edebilecek en uygun indeksler: Landsat 9 uydusunda GARI, Sentinel 2 uydusu için CLI indeksleri olarak belirlenmiştir. Elde edilen verilerden Landsat 9 uydusunda tarlaların daha iyi ayırt edilebildiği saptanmıştır.

Çalışmanın devamında, makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleri ile buğday ve arpa tarlalarının belirlenmesi ve ayırt edilmesinde kullanılarak doğruluk oranı arttırılabilir. Aynı zamanda indeks değerleri ile rekolte arasında ilişki olabileceği varsayılarak rekolte tahmini gerçekleştirilebilir.

TEŞEKKÜR

Bu makale, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisans Üstü Eğitim Enstitüsü'nde, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı doktora programında yürütülmekte olan " Uzaktan Algılama ve Makine Öğrenmesi Yöntemleri Kullanılarak Ürün Rekolte Tahmini" başlıklı Doktora Tezi kapsamında hazırlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Abad M.S.J., Abkar A.A. ve Mojaradi B. (2018). Effect of the Temporal Gradient of Vegetation Indices on Early-Season Wheat Classification Using the Random Forest Classifier. *Applied Sciences*. 8(8):1216. <https://doi.org/10.3390/app8081216>
- Ahamed, T., Tian, L., Zhang, Y., ve Ting, K. C. (2011). A review of remote sensing methods for biomass feedstock production. *Biomass and bioenergy*, 35(7), 2455-2469. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.02.028>
- Amani M., Ghorbanian, A., Ahmadi, S. A., Kakooei, M., Moghimi, A., Mirmazloumi, S. M., Brisco, B. (2020). Google earth engine cloud computing platform for remote sensing big data applications: A comprehensive review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 5326-5350. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3021052>
- Ashourloo D., Nematollahi, H., Huete, A., Aghighi, H., Azadbakht, M., Shahrabi, H. S., ve Goodarzashti, S. (2022). A new phenology-based method for mapping wheat and barley using time-series of Sentinel-2 images *Remote Sensing of Environment*, 280, 113206. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113206>

- Atar B. Gıdamız buğdayın, geçmişten geleceğe yolculuğu. Yalvaç Akademi Dergisi, 2017. - Cilt 2(1), 1-12.
- Barnes, E. M., Clarke, T. R., Richards, S. E., Colaizzi, P. D., Haberland, J., Kostrzewski, M., ve Moran, M. S. (2000, July). Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground based multispectral data. In *Proceedings of the fifth international conference on precision agriculture, Bloomington, MN, USA* (Vol. 1619, No. 6).
- BM Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS> . 2022.
- Boegh, E., Soegaard, H., Broge, N., Hasager, C. B., Jensen, N. O., Schelde, K., ve Thomsen, A. (2002). Airborne multispectral data for quantifying leaf area index, nitrogen concentration, and photosynthetic efficiency in agriculture. *Remote sensing of Environment*, 81(2-3), 179-193. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00342-X](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00342-X)
- Broge, N. H., ve Leblanc, E. (2001). Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. *Remote sensing of environment*, 76(2), 156-172. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00197-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00197-8)
- Daughtry, C. S., Walthall, C. L., Kim, M. S., De Colstoun, E. B., ve McMurtrey Iii, J. E. (2000). Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. *Remote sensing of Environment*, 74(2), 229-239. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00113-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00113-9)
- Erenstein, O., Jaleta, M., Mottaleb, K. A., Sonder, K., Donovan, J., ve Braun, H. J. (2022). Global trends in wheat production, consumption and trade. In *Wheat improvement: food security in a changing climate* (pp. 47-66). Cham: Springer International Publishing.
- Faqe Ibrahim, G. R., Rasul, A., ve Abdullah, H. (2023). Improving crop classification accuracy with integrated Sentinel-1 and Sentinel-2 data: a case study of barley and wheat. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 7(2), 22.
- Fuentes-Peailillo, F., Ortega-Farias, S., Rivera, A., Bardeen, M., ve Moreno, M. (2018, October). Comparison of vegetation indices acquired from RGB and Multispectral sensors placed on UAV. In *2018 IEEE International Conference on Automation/XXIII Congress of the Chilean Association of Automatic Control (ICA-ACCA)* (pp. 1-6). IEEE.
- Gitelson, A. A., Gritz, Y., ve Merzlyak, M. N. (2003). Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. *Journal of plant physiology*, 160(3), 271-282. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00887>.
- Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., ve Merzlyak, M. N. (1996). Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote sensing of Environment*, 58(3), 289-298. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00072-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00072-7).
- Gitelson, A. A., Stark, R., Grits, U., Rundquist, D., Kaufman, Y., ve Derry, D. (2002). Vegetation and soil lines in visible spectral space: A concept and technique for remote estimation of vegetation fraction. *International Journal of Remote Sensing*, 23(13), 2537-2562. <https://doi.org/10.1080/01431160110107806>.

- Gitelson, A. A., ve Merzlyak, M. N. (1998). Remote sensing of chlorophyll concentration in higher plant leaves. *Advances in space research*, 22(5), 689-692. [https://doi.org/10.1016/S0273-1177\(97\)01133-2](https://doi.org/10.1016/S0273-1177(97)01133-2).
- Hamid, B. Y. ve Ali, S. H. . (2024). Integration Between Satellite Images and Spectral Analysis Using The ASD Device to Distinguish Wheat and Barley Plants. *Journal Port Science Research*, 6(special), 118-126. <https://doi.org/10.36371/port.2023.special.15>
- Huete, A. R., Liu, H. Q., Batchily, K. V., ve Van Leeuwen, W. J. D. A. (1997). A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote sensing of environment*, 59(3), 440-451. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00112-5).
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., ve Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote sensing of environment*, 83(1-2), 195-213. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2).
- Hunt Jr, E. R., Daughtry, C. S. T., Eitel, J. U., ve Long, D. S. (2011). Remote sensing leaf chlorophyll content using a visible band index. *Agronomy journal*, 103(4), 1090-1099. <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0395>.
- Ibrahim, G. R. F., Rasul, A., Abdullah, H. (2022). Integration of Sentinel 1 and Sentinel 2 Data for Crop Classification Improvement: Barley and Wheat as an Example. Preprints 2022, 2022090169. <https://doi.org/10.20944/preprints202209.0169.v1>.
- İmamoğlu, A., ve SARI, Z. M. N. (2016). Arpa yetiştiriciliği. *Çiftçi Broşürü*, (125).
- Isabella, P., Felix, R., Mariette, V., Claudio, N. ve Wolfgang, W. (2020). Classification of Wheat and Barley Fields Using Sentinel-1 Backscatter. *IGARSS 2020-2020 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. 140-143. doi: 10.1109/IGARSS39084.2020.9323560
- Khanal, S., Kc, K., Fulton, J. P., Shearer, S., ve Ozkan, E. (2020). Remote sensing in agriculture—accomplishments, limitations, and opportunities. *Remote Sensing*, 12(22), 3783. ; <https://doi.org/10.3390/rs12223783>.
- Lee, W. S. (2015). Plant health detection and monitoring. *Hyperspectral Imaging Technology in Food and Agriculture*, 275-288
- Liliane, T. N., ve Charles, M. S. (2020). Factors affecting yield of crops. *Agronomy-climate change ve food security*, 9
- Louhaichi, M., Borman, M. M., ve Johnson, D. E. (2001). Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat. *Geocarto International*, 16(1), 65-70. <https://doi.org/10.1080/10106040108542184>.
- Mancino, G., Ferrara, A., Padula, A., ve Nolè, A. (2020). Cross-comparison between Landsat 8 (OLI) and Landsat 7 (ETM+) derived vegetation indices in a Mediterranean environment. *Remote Sensing*, 12(2), 291. <https://doi.org/10.3390/rs12020291>.
- Morlin Carneiro, F., Angeli Furlani, C. E., Zerbato, C., Candida de Menezes, P., da Silva Gírio, L. A., ve Freire de Oliveira, M. (2020). Comparison between vegetation indices for detecting spatial and temporal variabilities in soybean crop using canopy sensors. *Precision Agriculture*, 21, 979-1007

- Mutanga O. ve Kumar L. Google Earth Engine Applications. *Remote Sensing*. 2019; 11(5):591. <https://doi.org/10.3390/rs11050591>
- Na, S. I., Park, C. W., Cheong, Y. K., Kang, C. S., Choi, I. B., ve Lee, K. D. (2016). Selection of optimal vegetation indices for estimation of barley ve wheat growth based on remote sensing-An application of unmanned aerial vehicle and field investigation data. *Korean Journal of Remote Sensing*, 32(5), 483-497. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2016.32.5.7>.
- Nduku, L., Munghemezulu, C., Mashaba-Munghemezulu, Z., Kalumba, A. M., Chirima, G. J., Masiza, W., ve De Villiers, C. (2023). Global research trends for unmanned aerial vehicle remote sensing application in wheat crop monitoring. *Geomatics*, 3(1), 115-136. <https://doi.org/10.3390/geomatics3010006>.
- Nitze, I., Schulthess, U., ve Asche, H. (2012). Comparison of machine learning algorithms random forest, artificial neural network and support vector machine to maximum likelihood for supervised crop type classification. *Proceedings of the 4th GEOBIA, Rio de Janeiro, Brazil*, 79, 3540.
- Özberk, F., Karagöz, A., Özberk, İ., ve Atlı, A. (2016). Buğday genetik kaynaklarından yerel ve kültür çeşitlerine; Türkiye'de buğday ve ekmek. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25(2), 218-233 .
- Payero, J. O., Neale, C. M. U., ve Wright, J. L. (2004). Comparison of eleven vegetation indices for estimating plant height of alfalfa and grass. *Applied Engineering in Agriculture*, 20(3), 385-393 .
- Peştemalci, V., Dinc, U., YEG'İNGİL, İ., Kandirmaz, M., Cullu, M. A., Öztürk, N., ve Aksoy, E. (1995). Acreage estimation of wheat and barley fields in the province of Adana, Turkey. *Remote Sensing*, 16(6), 1075-1085.
- Qader, S. H., Dash, J., ve Atkinson, P. M. (2018). Forecasting wheat and barley crop production in arid and semi-arid regions using remotely sensed primary productivity and crop phenology: A case study in Iraq. *Science of the total Environment*, 613, 250-262. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.057>.
- Roujean, J. L., ve Breon, F. M. (1995). Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements. *Remote sensing of Environment*, 51(3), 375-384. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)00114-3](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)00114-3).
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., ve Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA Spec. Publ*, 351(1), 309.
- Sevinç, M. Y., ve Aktuğ, S. S. (2023). *Nüfus artışının yol açtığı sorunlara küresel bakış*, Uluslararası Sosyal Bilimler Programları Değerlendirme ve Akreditasyon Derneği (USDAD)).
- Sezer, S. (2024). Rusya-Ukrayna Savaşı'nın jeopolitik sonuçları. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 17(1), 158-180. <https://doi.org/10.25287/ohuibf.1331462>.
- Sishodia, R. P., Ray, R. L., ve Singh, S. K. (2020). Applications of remote sensing in precision agriculture: A review. *Remote sensing*, 12(19), <https://doi.org/10.3390/rs12193136>.
- Sun, Z., Di, L., Fang, H., ve Burgess, A. (2020). Deep learning classification for crop types in north dakota. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 2200-2213 .

- Taehwan, S., Jong, H, Ko., Seungtaek, J., Jiwoo, K., Kyung-Do, L. ve Sangin, S. (2022). Assimilation of Deep Learning and Machine Learning Schemes into a Remote Sensing-Incorporated Crop Model to Simulate Barley and Wheat Productivities. *Remote sensing*, 14(21):5443-5443. doi: 10.3390/rs14215443
- Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L., Adeli, S., ve Brisco, B. (2020). Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 164, 152-170. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001>.
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote sensing of Environment*, 8(2), 127-150
- TUİK. 2024. - <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111&dil=1>.
- Viña, A., Gitelson, A. A., Nguy-Robertson, A. L., ve Peng, Y. (2011). Comparison of different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops. *Remote sensing of environment*, 115(12), 3468-3478. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.010>.
- Vincini, M., Frazzi, E. R. M. E. S., ve D'Alessio, P. A. O. L. O. (2008). A broad-band leaf chlorophyll vegetation index at the canopy scale. *Precision Agriculture*, 9, 303-319.
- Wikipedia- Nisan 2024. - https://en.wikipedia.org/wiki/Vegetation_index.
- Wu, B., Zhang, M., Zeng, H., Tian, F., Potgieter, A. B., Qin, X., ve Loupian, E. (2023). Challenges and opportunities in remote sensing-based crop monitoring: A review. *National Science Review*, 10(4), nwac290. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwac290>.
- Xue, J., ve Su, B. (2017). Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. *Journal of sensors*, 2017(1), 1353691. <https://doi.org/10.1155/2017/1353691>.
- Yasamin, A., Hamideh, N., Ali, M., Maryam, N., Farrokh, P. ve Parisa, H. (2021). Effects of spatial, temporal, and spectral resolutions on the estimation of wheat and barley leaf area index using multi- and hyper-spectral data (case study: Karaj, Iran). *Precision Agriculture*, 22(3):1-29. doi: 10.1007/S11119-020-09749-9
- Zhao, Q., Yu, L., Li, X., Peng, D., Zhang, Y., ve Gong, P. (2021). Progress and trends in the application of Google Earth and Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 13(18), 3778. <https://doi.org/10.3390/rs13183778>
- Zheng, B., Myint, S. W., Thenkabail, P. S., ve Aggarwal, R. M. (2015). A support vector machine to identify irrigated crop types using time-series Landsat NDVI data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 34, 103-112 . <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.07.002>.
- Zhou, W., Liu, Y., Ata-Ul-Karim, S. T., Ge, Q., Li, X., ve Xiao, J. (2022). Integrating climate and satellite remote sensing data for predicting county-level wheat yield in China using machine learning methods. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 111, 102861 <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102861>.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction and Research Questions & Purpose

Rapid population growth and global climate change in the world create many problems. One of the biggest of these problems is hunger. It is a fact that a large part of underdeveloped and developing countries are facing hunger. Wheat stands out as the main food product in these countries.

It is necessary to follow the development status and health of wheat and barley, which are in critical condition, from planting to harvest. Since it would be difficult to physically follow large areas of land, remote sensing methods such as unmanned aerial vehicles (UAV) and satellite imaging systems are used. Remote sensing methods are used in agricultural areas for land cover determination, agricultural product monitoring, and yield estimation. Various plant indices such as Normalized Vegetation Index (NDVI) and Leaf Area Index (LAI) have been developed to follow the health of plants, and various studies have been carried out with these indices. However, due to the close growing seasons of wheat and barley, it is difficult to separate them with remote sensing.

In this study, it was tried to determine the most suitable index for the discrimination of wheat and barley by comparing the various vegetation indices of wheat and barley grown in various cities in Turkey for the year 2023. At the same time, it was tried to determine which of the Landsat and Sentinel satellites gave better results.

Methodology

In the study, various fields planted with wheat and barley in 2022 and 2023 in Balıkesir Edremit and İvrindi, Çanakkale Ezine, Gelibolu and Gökçeada, Manisa Turgutlu, Samsun Yakakent, Kayseri İncesu, Eskişehir Sivrihisar, Yozgat Sorgun were used. The images of the determined fields between October 01 and July 31 were obtained from the cloud-based Google Earth Engine (GEE) platform and Landsat and Sentinel satellites. Wheat planted areas were determined from the data of the farmer registration system obtained from the district agricultural directorates and farmers. Various vegetation indices of the determined areas were obtained using Landsat and Sentinel satellites. Satellite images were selected from the days with less than 20% cloud ratio between October 01 and July 31 via GEE.

When calculating vegetation indices, the average of the values obtained after applying the relevant index formula to the field image taken from the satellite was taken and this value was accepted as the vegetation index on that date. The highest value of vegetation is obtained when the plant is the healthiest and most mature. According to the data obtained from the Sentinel 2 satellite for wheat, vegetation indices reached their highest values on April 7 in Balıkesir-Edremit, April 20 in Çanakkale-Ezine and Gelibolu, April 22 in Manisa-Turgutlu - May 7, May 1 in Eskişehir-Sivrihisar - May 16, May 3 in Kayseri-İncesu, June 2 in Yozgat-Sorgun, and June 7 in Samsun-Yakakent. Since Balıkesir-Edremit, Çanakkale-Ezine, and Çanakkale-Gelibolu cities are located close to each other, the highest values of vegetation indices were obtained on recent dates. The latest date for wheat and barley was obtained from Yozgat-Sorgun city.

Results and Conclusions

The period when wheat and barley had the highest vegetation index was determined with time graphs obtained from various vegetation indices and the separation of the two plants was attempted.

In the Landsat satellite, Evi and Lai indices were determined to be at a significant level in 4 different cities, namely Samsun, Kayseri, Eskişehir and Yozgat. Since the growing times in Çanakkale and Balıkesir provinces were very close, the highest values of the indices were obtained on the same dates. With the Mcari index, it was determined that the highest index values for wheat and barley were obtained on different dates in all cities except Edremit.

It is understood from the time series of the indices that the planting and growing times of barley and wheat differ regionally. In the western regions (Balıkesir, Çanakkale), both plants reach the highest chlorophyll level in March-April, while in the west of central Anatolia (Yozgat, Kayseri), the chlorophyll level reached the highest value in May with a difference of 10-15 days compared to the western regions. Therefore, it is important to evaluate the indices regionally. It was determined that barley grown in the same region reached the highest chlorophyll level 10-15 days before wheat. Regionally, the sowing and growing periods of wheat and barley vary, which can be observed from the time series of the indices. In the western regions (Balıkesir, Çanakkale), both crops reach their highest chlorophyll levels in March-April, while in the western part of Central Anatolia (Yozgat, Kayseri), chlorophyll levels peak in May, 10-15 days later than in the western regions. Therefore, it is important to consider regional factors when using indices. It has been determined that barley in the same region reaches its highest chlorophyll level 10-15 days earlier than wheat.

The results obtained in the study are as follows:

- To determine the period when barley has the highest chlorophyll content, the GCI, NDVI, and TGI indices from Landsat 9, and the NDVI, TGI, and SAVI indices from Sentinel 2 were used.
- To determine the period when wheat has the highest chlorophyll content, the NDVI, CI, and TGI indices from Landsat 9, and the NDVI, GCI, and SAVI indices from Sentinel 2 were used.
- For both satellites, the NDVI, SAVI, and GCI indices were used for wheat fields, and the TGI, NDVI, and GNDVI indices for barley fields.
- In distinguishing wheat and barley fields, the GARI index in June from the Landsat satellite and the GLI index in May from the Sentinel satellite gave the best results, and they are considered suitable for use in related studies.

Yazarların Biyografisi



Aykut DURGUT

1985 yılında Balıkesir’de doğdu. İlk orta ve lise eğitimini Balıkesir’de yaptı. Lisans eğitimini 2003-2007 yılları arasında Muğla Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümünde tamamladı. Yüksek lisans eğitimini 2014-2016 yılları arasında Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Öğretimi Anabilim Dalında tamamladı. Doktora eğitimine Çanakkale 18 Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tarım Makineleri ve Teknolojileri alanında devam etmektedir.

İletişim

aykutdurgut@gmail.com

ORCID Adresi

<https://orcid.org/0000-0002-4589-9350>



Sarp Korkut SÜMER

1972 yılında Adana’da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Ceyhan’da tamamladı. Lisans eğitimini 1990-1994 yılları arasında Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Mekanizasyon Bölümünde tamamladı. Yüksek lisans eğitimini 1997 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalında; doktora eğitimini ise 2005 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalında tamamladı. 1997 yılında Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2005 yılında Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümünde Yardımcı Doçent kadrosuna atandı. Aynı bölümde 2011 yılında Doçent olarak ve 2017 yılında Profesör olarak atandı. Halen aynı bölümde görevini sürdürmektedir.

İletişim

sarpksumer@comu.edu.tr

ORCID Adresi

<https://orcid.org/0000-0001-7679-6154>



Emre ÖZELKAN

1982 yılında Adana’da doğdu. Lisans eğitimini İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Meteoroloji Mühendisliği Bölümü’nde (2005), yüksek lisans (2008) ve doktora (2014) eğitimini İTÜ Bilişim Enstitüsü Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Programı’nda tamamladı. İTÜ’de çalıştığı süre boyunca Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Uygulama ve Araştırma Merkezi (UHUZAM) ve Tarım ve Çevre Bilişimi Uygulama ve Araştırma Merkezi (TARBİL) birimlerde görevler aldı. Bir yıl süre ile Amerika Birleşik Devletleri, Kuzey Karolayna Üniversitesi – Charlotte (UNC-Charlotte), Coğrafya ve Yer Bilimleri Bölümü’nde post doktora (2015) yaptı. Sonrasında İstanbul Piri Reis Üniversitesi Denizcilik Fakültesi ve Meslek Yüksekokulu’nda öğretim görevlisi (2016) olarak görev aldı. 2017 itibariyle Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama öğretim üyesi olarak görev almaktadır. İklim, hidrometeoroloji, tarım, meteorolojik kökenli doğal afetler, şehir-bölge planlama, coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama alanlarında çalışmalarını sürdürmektedir.

İletişim

emreozelkan@comu.edu.tr

ORCID Adresi

<https://orcid.org/0000-0002-2031-1610>

Budama Artıklarının Değerlendirilmesinde Kullanılan Bazı Makinaların Maliyetlerinin Belirlenmesi: Akdeniz Üniversitesi Kampus Alanları Örneği

Determination of the Costs of Some Machinery Used on Valorization of Pruning Residues: A Case Study for Campus Areas of Akdeniz University

Murad Çanakcı^{1,*}  Mehmet Topakcı¹  Davut Karayel¹  Hasan Yılmaz¹  Mete Yiğit²  Derya Ortaçesme³ 

¹ ; Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye.

² ; Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Burdur, Türkiye.

³ ; Akdeniz Üniversitesi Rektörlüğü Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı, Antalya, Türkiye.

* Corresponding author (Sorumlu Yazar): M. Çanakcı, e-mail (e-posta): mcanakci@akdeniz.edu.tr

Makale Bilgisi

Alınış tarihi : 04.10.2024
Düzeltilme tarihi : 17.12.2024
Kabul tarihi : 19.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Atık yönetimi
Dal parçalama makinaları
Pelet
Ağaç yongası
Maliyet hesapları

Çanakcı, M., Topakcı, M., Karayel, D., Yılmaz, H., Yiğit, M., Ortaçesme, D. "Budama Artıklarının Değerlendirilmesinde Kullanılan Bazı Makinaların Maliyetlerinin Belirlenmesi: Akdeniz Üniversitesi Kampus Alanları Örneği" Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 20(3): 198-216

ÖZET

Bitki yetiştiriciliğinde bakım ve hasat işlemleri sonrası önemli miktarlarda artık materyal ortaya çıkmaktadır. Bu artıklar, uygun şekilde değerlendirilmediklerinde sera gazı oluşumu, çevre kirliliği, yangın tehlikesi başta olmak üzere birçok soruna neden olmaktadır. Bu nedenle son yıllarda artıkların değerlendirilerek çevre korunumuna katkı sağlaması ve ilgili diğer sektörlerle entegrasyonunun sağlanarak ekonomiye kazandırılmasına yönelik faaliyetlerde artış gözlenmektedir. Uygulamaların başarıya ulaşmasında dikkate alınması gereken konulardan birisi de uygulanacak yöntemler kapsamında kullanılan makinalar ve maliyetleridir. Bu çalışmada, budama artıklarının değerlendirilmesinde kullanılan bazı makinaların maliyetlerinin hesaplanması amaçlanmıştır. Akdeniz Üniversitesi Kampus Peyzaj Alanlarında ortaya çıkan budama artıklarının değerlendirilmesine yönelik hazırlanmış bir altyapı projesi esas alınarak ön parçalama, sınıflandırma, öğütme ve peletleme işlemlerinde kullanılan makinalar dikkate alınmıştır. Ön parçalama işlemleri için tamburlu ve çekiçli tip sabit dal parçalama makinaları, sınıflandırma için elek, öğütme için çekiçli değirmen ve peletleme için pelet makinasına ait maliyet hesapları yapılmıştır. Maliyet hesapları kapsamında, birim kullanım süresi (h) ve birim materyal kütlesi (t) başına düşen sabit ve değişken giderler belirlenmiştir. Makinalar arasında birim kütleye başına düşen en fazla maliyet 3779.5 TL/t (114.5 \$/t) değeri ile pelet makinasında hesaplanmıştır. Pelet makinasını sırasıyla, 1231.7 TL/t (37.3 \$/t) değeri ile sınıflandırma makinası (elek), 1213.6 TL/t (36.8 \$/t) değeri ile çekiçli değirmen, 312.8 TL/t (9.5 \$/t) değeri ile çekiçli tip dal parçalama makinası ve 187.2 TL/t (5.7 \$/t) değeri ile tamburlu tip dal parçalama makinası izlemiştir. Çalışmada hesaplanan değerlerin belirtilen kapasitelerdeki makinalar için dikkate alınabileceği öngörülmektedir. Artıkların değerlendirilmesine yönelik farklı kapasite ve yapısal özelliklere sahip makinalar için de benzer çalışmaların yapılması önerilir.

Article Info

Received date : 04.10.2024
Revised date : 17.12.2024
Accepted date : 19.12.2024

Keywords:

Residue management
Pruning residue chopper
Pellet
Wood chip
Cost calculations

Çanakcı, M., Topakcı, M., Karayel, D., Yılmaz, H., Yiğit, M., Ortaçesme, D. "Budama Artıklarının Değerlendirilmesinde Kullanılan Bazı Makinaların Maliyetlerinin Belirlenmesi: Akdeniz Üniversitesi Kampus Alanları Örneği" Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 20(3): 198-216

ABSTRACT

In plant cultivation, significant amounts of residual material obtain after maintenance and harvesting operations. When these residues are not regained properly, they cause many problems, especially greenhouse gas formation, environmental pollution and fire hazard. For this reason, in recent years, there has been an increase in activities aimed at utilizing residues, contributing to environmental protection and integrating them with other relevant sectors and bringing them into the economy. One of the issues to be considered in the success of the applications is the machines used within the scope of the methods to be applied and their costs. In this study, it was aimed to calculate the costs of some machines used in the valorization of pruning residues. In the calculations, based on a completed infrastructure project for Akdeniz University Campus Areas, the machinery used in the pretreatment of biomass (size reduction), sieving, grinding and pelletizing of the residues were considered. The costs related to drum and hammer type stationary shredders for pre-shredding, sieving machine for classification, hammer mill for grinding and pellet machine for pelletizing are calculated. Within the scope of cost calculations, stationary and variable expenses per unit usage time (h) and unit material mass (t) were determined. Among the machines, the highest cost per unit mass was calculated in the pellet machine with a value of 3779.5 TL/t (114.5 \$/t). The pellet machine was followed by a sieving machine (sieve), grinding machine, hammer type shredder and drum type shredder with the values of 1231.7 TL/t (37.3 \$/t), 1213.6 TL/t (36.8 \$/t), 312.8 TL/t (9.5 \$/t) and 187.2 TL/t (5.7 \$/t), respectively. It is foreseen that the values calculated in the study can be taken into account for the machines with the specified capacities. It is recommended to carry out similar studies for machines with different capacities and structural properties for the valorization of residues.

1. GİRİŞ

Budama işlemi, ağaç ve çalı formundaki bitkilerin yetiştiriciliğinde yapılan temel bakım işlemlerinden birisidir. Budama işlemlerinde; bitki taç yapısının kontrolü, en iyi çiçeklenme, verim ve kaliteli meyve elde edilmesi, şekil verme, hastalık ve zararlı kontrolü, ışık girişi ve hava sirkülasyonunun sağlanması vb. farklı amaçlar ile dallar veya yeşil aksam kesilerek bitkiden uzaklaştırılmaktadır (Özkan ve Gerçekçioğlu, 2009). Bu işlemler başlıca; bakım budamaları, şekil budamaları, meyve/çiçek verimine yönelik budamalar ve güvenlik amacıyla yapılan budamalar şeklinde gruplandırılabilir. Peyzaj ve kent ormanı alanlarındaki budama işlemlerinde estetik görünüm öne çıkıyor iken, bu işlem meyve bahçelerinde daha çok verim artışı ve kaliteli ürün elde edilmesine yönelik olarak gerçekleştirilmektedir. Yeri ve zamanı iyi ayarlanarak yapılan budama işlemi sağlıklı gelişme gösteren, güzel bir form kazandırılmış, verim ve kaliteli bitki yetiştiriciliğine katkı sağlar. Bu nedenle budama, genç yaşlardan itibaren ihmal edilmeden sistemli bir şekilde belirli esaslara uyularak yapılması gereken bir işlemdir (Turna, 2017). Düzenli yapılan budama işlemleri sonrasında gerek tarımsal gerekse kentsel alanlarda önemli miktarlarda bitkisel artık ortaya çıkmaktadır. Bu artıklar, yaygın olan geleneksel uygulamalarda yakılmakta ya da boş alanlarda bekletilmektedirler. Kontrolsüz bir şekilde yakılması ya da boş alanlarda bekletilmesi, artıkların geri dönüşümünü engelleyerek birçok çevresel probleme neden olmaktadır (Goncalves vd., 2011; Spinelli vd., 2014). Günümüzde, lignoselülozik özellik gösteren budama artıklarının farklı yöntemlerle değerlendirilmesi ve geri dönüşümlerinin sağlanarak ekonomiye kazandırılmasının önemi artmaktadır. Lignoselülozik materyallerin yapısında selüloz, hemiselloz ve lignin ile az miktarda kül (<10%), protein ve diğer bileşikler bulunmaktadır (Deveci vd., 2019; Yan vd., 2020). Belirtilen özellikleri nedeni ile budama artıklarının fosil yakıtlara alternatif olarak ısı, güç ve elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanımı söz konusudur (Spinelli vd., 2010; Ekinci, 2011; Velázquez-Martí vd., 2011; Fedrizzi vd., 2012; Dyjakon ve Mudryk, 2018). Türkiye'nin enerjide dışa bağımlı olduğu ve enerji talebinin sürekli artış eğiliminde olduğu dikkate alındığında odunsu özellik gösteren budama artıklarının ülkemizde de yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılmasının önemi ortaya çıkmaktadır (Çiçek vd., 2019). Artıklar ayrıca sanayi tesisleri ve inşaat sektöründe hammadde olarak kullanılabilirler (Şeflek vd., 2006; Yeniocak, 2008; Velázquez-Martí vd., 2011; Çanakcı, 2014; Çolakoğlu, 2018). Artıkların diğer bir değerlendirme yöntemi de malç, kompost vb. formlarda toprağa geri dönüşümlerinin sağlanmasıdır (Çanakcı vd., 2019).

Bitkisel artık yönetimine yönelik farklı alanlarda Dünya'da ve ülkemizde araştırmalar yürütülmektedir. Araştırmaların bir bölümünü, daha çok tarımsal alanlarda ortaya çıkan artıkların potansiyel değerlerinin belirlenmesine yöneliktir (El-Juhany, 2001, Ekinci, 2011; Bilandzija vd., 2012; Dyjakon vd., 2016; Paltseva vd., 2016; Manzanares vd., 2017; Çiçek vd., 2019). Çanakcı vd. (2020), tarafından yürütülen bir çalışmada Akdeniz Üniversitesi Merkez Kampus Alanları'ndaki budama artıklarının potansiyeli belirlenmiştir. Toplam büyüklüğü 3400 da olan kampus alanında, 13500 adet ağaç ve 85000 adet çalı formunda bitki bulunmaktadır ve yılda toplam 457.8 ton yaş budama artığı ortaya çıkmaktadır. Belirtilen artıkların kuru ağırlığı 214.9 ton'dur.

Artıkların farklı şekillerde değerlendirilebilmesine yönelik yapılan ilk işlem boyutlarının küçültülmesi amacıyla yapılan parçalama işlemidir. Bu işlem, uygulanan yöntemlerin verimliliği ve ekonomikliği açısından kritik öneme sahiptir (Hoque vd., 2007; Çanakcı, 2014)

Değerlendirme yöntemlerine göre parçalama işlemi sonrasında artıklara uygulanacak işlemler değişiklik göstermektedir. Örneğin herhangi bir işlem uygulanmadan artıklar, bahçe ya da peyzaj

alanlarına doğrudan toprak üzerine malç olarak serilebileceği gibi, bazı işlemlerde parçalama sonrası sınıflandırılmaları gerekmektedir. Sıvı ya da katı biyoyakıt, yonga levhası vb. olarak kullanılmaları durumunda ise basit ya da teknolojik altyapı gerektiren farklı işlemlerin uygulanması gereklidir. Örneğin peletleme işleminde, öğütülen hammaddenin sıkıştırılmasıyla yığın yoğunluğunda artış sağlanarak taşıma, kullanım ve depolama faaliyetlerinin maliyeti düşürülmektedir (Nguyen vd., 2015; Zhou vd., 2016; Stasiak vd., 2017). Seçilen yöntemlerin ekonomik olması artıkların değerlendirilmesinde sürekliliği sağlayacak temel unsurlardan birisidir. Bu nedenle makinalara ait çalışma parametreleri, enerji gereksinimleri ile birlikte maliyet hesaplamalarının yapılması da işletmecilik çalışmaları kapsamında önem kazanmaktadır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde özellikle meyve bahçelerinde ortaya çıkan budama artıkları için belirtilen amaca yönelik yürütülen birçok çalışmaya rastlanılmaktadır (Çanakcı vd., 2010; Spinelli vd., 2010; Spinelli ve Picchi, 2010; Fedrizzi vd., 2012; Assirelli vd., 2013; Magagnotti vd., 2013; Dereli ve Çakır, 2014; Çanakcı vd., 2019; Yiğit ve Çanakcı, 2020; Öngören, 2021; Ünal vd., 2021; Sessiz ve Demirel, 2024).

Bununla birlikte peyzaj ve orman alanlarında ortaya çıkan biyokütle artıklarının değerlendirilmesinde kullanılan ve sabit olarak çalışan makinaların işletmeciliğine ait çalışmaların yürütüldüğü görülmektedir. Miyata (1980), ormancılıkta kullanılan makinaların sabit ve değişken giderlerinin belirlenmesine yönelik bir çalışma yapmıştır. Çalışmada tomruk ve kütük gibi orman ürünleri üzerine çalışan işletmelerin verimliliğinin ve üretim maliyetlerinin değerlendirilmesinde standardizasyona ihtiyaç duyan işletmeler için bir yaklaşım sunulmuştur. Naimi vd. (2006), çalışmalarında parçalama işlemi ve parçacık boyutlarına yönelik bilgiler vermiş, parçalama makinalarının maliyetlerini hesaplamışlardır. Saatlik maliyet değerlerinin büyük kapasiteli kıyıcı tip parçalama makinaları (chippers) için 91-161 \$/h, çekiçli tip parçalama makinaları için 229-252 \$/h arasında değiştiği belirlenmiştir. Jara vd. (2016), araştırmalarında orman ürünlerinden pelet üretilmesi aşamalarının farklı senaryolar için teknik ve ekonomik analizini yapmışlardır. Yapılan hesaplamalarda; çekiçli tip parçalayıcı, yongalama makinası (chipper) ve pelet makinası için hesaplanan maliyetler sırasıyla 3.20 \$/t, 1.66 \$/t ve 10.65 \$/t'dur. Spinelli vd. (2019), çalışmalarında orman ürünlerinden elde edilen katı biyoyakıt (yonga) üretiminde kullanılan kıyıcı tip parçalayıcılar için güvenilir bir şekilde yapılacak maliyet hesaplamalarında, tamir-bakım maliyetleri hesaplamalarının zorluğuna ve belirsizliğine vurgu yapmışlardır. Bu amaçla 51 adet makinanın uzun dönem kayıtlarını incelemişlerdir. Bakım-onarım maliyetlerinin toplam maliyet değerleri içerisindeki payları %1.5-29 olmak üzere farklı düzeylerde hesaplanmıştır. Yıgımlı bakım onarım maliyeti ile makinanın satın alma bedeli arasındaki oran ortalama %32 olarak hesaplanmıştır.

Yürütülen çalışmalar incelendiğinde ülkemizde odunsu özellik gösteren budama artıklarının değerlendirilmesinde kullanılan makina maliyetlerinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmaların sınırlı düzeyde kaldığı görülmektedir. Özellikle kullanımında artış gözlenen sabit tip parçalama ve pelet makinaları konusundaki eksiklik daha belirgindir. Bu çalışmada, bitkisel artıkların değerlendirilmesi kapsamında kullanılan bazı makinaların maliyetlerinin hesaplanması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada, budama artıklarının değerlendirilmesine yönelik parçalama, sınıflandırma ve peletleme işlemlerinde kullanılan makinalar dikkate alınmıştır. Makinalar ile kullanıma hazır malç, yonga ve pelet üretilebilmektedir.

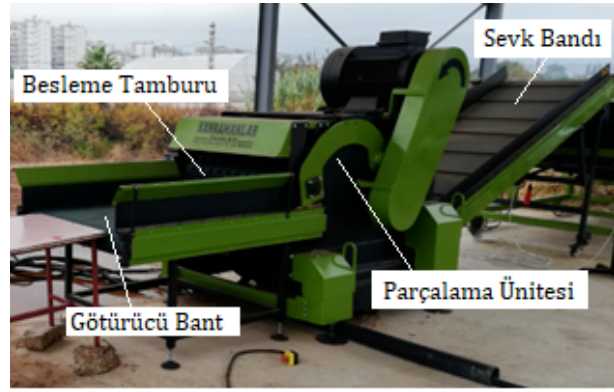
2.1. Budama Artıklarına Uygulanan İşlemler

2.1.1. Parçalama işlemi

Denemelerde Akdeniz Üniversitesi Bitkisel Artık Depolama Alanı'nda bulunan, iki farklı dal parçalama makinası kullanılmıştır. Tamburlu tip makina daha çok kalın dal, kütük vb. artıkların parçalanmasında kullanılmaktadır. Metal ve taş gibi sert yabancı maddelere karşı daha toleranslı serbest bağlantılı çekiçlerin yer aldığı çekiçli makina ise ince dal, yapraklı artıklar vb. parçalanmasında tercih edilmektedir. Makinaların beslenmesi el ile gerçekleştirilmektedir. Götürücü bandın üzerine bırakılan artıklar bant üzerinde ilerleyerek tamburlar ile parçalama ünitesine iletilmektedir. Her iki makinada parçacık boyutlarını kontrol eden ve parçalama ünitesinin alt bölümünü oluşturan elek ve parçacıkların uzaklaştırılması için sevk üniteleri yer almaktadır. Parçalama makinalarına ait resimler Şekil 1'de, makinaların teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Denemelerde kullanılan çam, kauçuk, akasya dallarının karışımından oluşan materyallere ait genel özellikler Tablo 2'de yer almaktadır.



a- Tamburlu Tip



b- Çekiçli Tip

Şekil 1. Dal parçalama makinaları

Tablo 1. Dal parçalama makinalarının teknik özellikleri

Özellik	Makina Tipi	
	Tamburlu	Çekiçli
Parçalama tipi	Kesme	Çarpma/Vurma
Parçalama aparatı	Bıçak	Çekiç
Güç kaynağı	Elektrik motoru	Elektrik motoru
Motor gücü (kW)	55	55
Parçalama aparatı sayısı	6 bıçak	36 çekiç
Besleme haznesi genişliği (mm)	520	1000
Parçalama devir sayısı (d/d)	1500	0-1800 (ayarlanabilir)
Materyal sevk ünitesi	Pnömatik sevk borusu	Bantlı götürücü

Tablo 2. Budama artıkları fiziksel özellikleri

Özellik	Makina Tipi	
	Tamburlu	Çekiçli
Nem-yaş baz (%)	35.30±0.75	35.64±0.41
Materyal yapısı	Kütük, kalın dal	Budaklı, yapraklı
Ortalama materyal kalınlığı (mm)	107±9	22±3
Ortalama materyal uzunluğu (mm)	1245±104	1285±105

2.1.2. Sınıflandırma işlemi

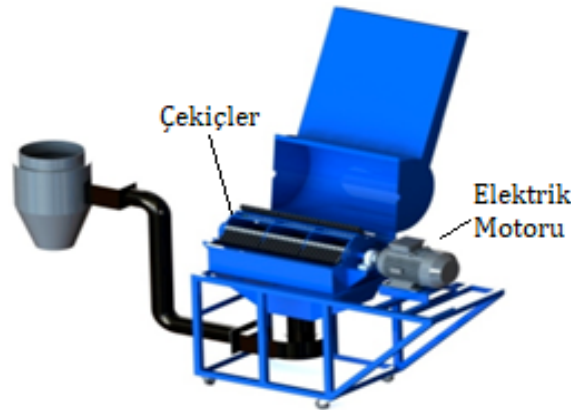
Parçalanan artıkların farklı boyutlarda sınıflandırılabilmesi için kullanılan ve iki adet vibrasyonlu elektrik motoruna (0.55 kW) sahip Akdeniz Üniversitesi Bitkisel Artık Depolama Alanı'nda bulunan titreşimli bir elek kullanılmıştır. Makina üzerinde delik çapları 4, 12 ve 20 mm olmak üzere üç farklı elek ile en alta bir sağır elek yer almaktadır. Elek, parçalama makinalarının arkasına yerleştirilebilmekte ve parçalama işlemi sonrası doğrudan beslenebilmektedir. Materyal yığın halinde ise el aletleri yardımı ile beslenebilmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Sınıflandırma makinası (elek)

2.1.3. Peletleme işlemi

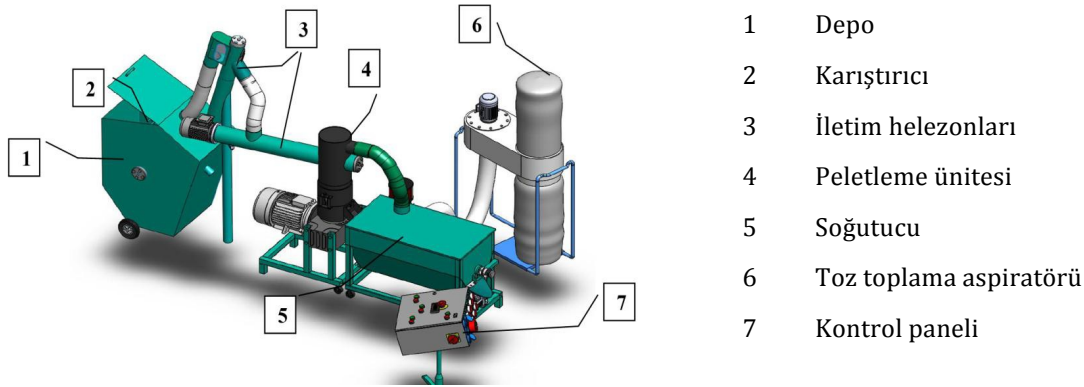
Peletleme işlemi için ön parçalama işleminden geçmiş artıkların, ayrıca öğütülerek boyutlarının daha da küçültülmesi gereklidir. Bu amaçla çekiçli değirmen kullanılmıştır. Çalışmada Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Araştırma ve Uygulama Alanı'nda bulunan çekiçli değirmen ve pelet makinası kullanılmıştır. Çekiçli değirmene ait resim Şekil 3'te, teknik özellikler Tablo 3'de verilmiştir. Peletleme işlemlerinde kullanılan makineye ait resim Şekil 4'de, makineye ait teknik özellikler Tablo 4'te görülmektedir.



Şekil 3. Çekiçli Değirmen

Tablo 3. Çekiçli değirmene ait teknik özellikleri

Özellik	Çekiçli Değirmen
Güç kaynağı	Elektrik motoru
Öğütme Genişliği (mm)	700
Çekiç Sayısı (adet)	64
Motor gücü (kW)	7.5
Devir (d/d)	1450



Şekil 4. Pelet makinası ve üniteleri

Tablo 4. Pelet makinası teknik özellikleri

Özellik	Pelet Makinası
Motor gücü (kW)	7.5
Kalıp giriş çapı (mm)	8
Kalıp çıkış çapı (mm)	6
Kalıp kalınlığı (mm)	25
Kapasite (kg/h)	~100

2.2. Makina Kapasite ve Elektrik Enerjisi Tüketim Değerlerinin Belirlenmesi

Parçalama makinaları, sınıflandırma makinası ve çekiçli değirmene ait kapasite ve elektrik enerjisi tüketimlerinin belirlenmesine yönelik üçer tekerrürlü yapılan her bir denemede çalışma süresi üç dakika olarak dikkate alınmıştır. Denemelerde parçalanmış artıklar tartılmış, çalışma süresi de dikkate alınarak makinaların kapasite değerleri (kg/h) cinsinden saptanmıştır. Elektrik tüketimine bağlı güç değeri ile kapasite değeri oranlanarak kWh/t birimi ile birim enerji gereksinimi değerleri belirlenmiştir.

Parçalanmış budama artıklarının peletleme öncesi öğütülmesini kolaylaştırmak için beton bir zemine serilerek kuruması sağlanmıştır. Peletleme işlemine başlamadan önce, materyal deposu yaklaşık 30 kg öğütülmüş materyal ile doldurulmuştur. Sistem çalıştırılarak materyal deposunda bulunan öğütülmüş materyal, iletim helezonlarıyla peletleme ünitesine gönderilmiştir. Peletleme ünitesinde bulunan sıkıştırma silindirlere ve pelet kalıbı arasında sürekli basınca maruz kalan öğütülmüş materyal, konik delikli kalıp çıkışında pelet formuna dönüşmüştür.

Peletleme işleminde, makinanın rejime girmesiyle çıkmaya başlayan peletler 60 saniye süresince bir kapta toplanmıştır. Bu süre zarfında üretilen peletler tartılarak kütleleri kaydedilmiş, pelet üretim kapasitesi her bir materyal için kg/h olarak hesaplanmıştır. Pelet makinasının özgül enerji tüketim değerleri makina enerji tüketim değerlerinin üretim kapasitesine oranlanmasıyla kWh/t olarak hesaplanmıştır. Denemeler sırasında elektrik enerjisi tüketim değerleri 3 fazlı portatif enerji analizörü (ChauvinArnaux CA 8332B) yardımı ile belirlenmiştir.

Denemeler sırasında tüm makinalar el ile beslenmiştir. Besleme işlemleri; dal parçalama makinaları ve sınıflandırma makinasında iki, çekiçli değirmen ve pelet makinasında bir kişi tarafından gerçekleştirilmiştir.

2.3. Makina Maliyetlerinin Hesaplanması

Makinalara ait gider hesaplamalarında sabit ve değişken giderler dikkate alınmıştır. Hesaplamalar 2024 yılı Haziran ayındaki piyasa koşulları dikkat alınarak yapılmıştır.

Sabit giderler:

Bu çalışmada sabit giderleri oluşturan değişkenlerin tümü "sabit gider faktörü" ile hesaplanmıştır (ASABE, 2015). Sabit gider hesaplamalarında kullanılan eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$YSG=SGF \times SAB \quad (1)$$

- YSG : Yıllık Sabit Giderler (TL/yıl)
SGF : Sabit Gider Faktörü (ondalık)
SAB : Satın Alma Bedeli (TL)

$$SGF=\left(\frac{1-HD}{n}\right)+\left(\frac{1+HD}{2}\right) \times i + K_2 \quad (2)$$

- HD : Hurda Değeri (ondalık)
n : Makinanın Ekonomik Ömrü (yıl)
i : Yıllık Faiz değeri (Enflasyonlu ortamlarda reel faiz değeri olarak alınır) (ondalık)
K₂ : Vergi-Sigorta-Koruma Sabit Giderlerini İçeren Katsayı (ondalık)

Piyasa koşulları, talep ve makinanın durumu ile ilgili geleceğe dönük olan bu değer gerçekte olarak belirlenmesi zordur. Bu nedenle bu değer satın alma bedelinin bir oranı olarak tahmin edilmektedir. Çalışmada hurda değeri satın alma bedelinin % 20'si olarak alınmıştır (Miyata, 1980).

Ekonomik ömür, yıl veya saat ya da taşıma araçları için uzaklık (km) olarak tanımlanmaktadır. Benzer çalışmalar değerlendirilerek tüm makinalar için ekonomik ömür 8 yıl ve yıllık kullanım saati 1500 h olarak dikkate alınmıştır (Miyata, 1980; Mani vd., 2006; Naimi vd., 2006). Yıllık faiz değeri, enflasyondan arınmış reel faiz değeridir ve çalışmada bölgede önceki yıllarda yapılmış çalışmada kullanılan değerler dikkate alınarak 0.0294 değeri kullanılmıştır (Çanakcı vd., 2010; Yiğit, 2013, Çanakcı vd. 2020; Yiğit, 2023). Çalışmada vergi, sigorta ve koruma giderlerini içeren katsayı (K₂) 0.02 olarak alınmıştır (ASABE, 2015).

Değişken giderler:

Bu çalışmada makinalara ait elektrik, tamir-bakım ve işçilik giderleri hesaplanmıştır. Saatlik işgücü gideri 100 TL/h olarak dikkate alınmıştır. Çalışmada kullanılan makinalar hareketini elektrik motorundan almaktadırlar. Makinalara ait elektrik giderlerinin belirlenmesine aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$EG=ET \times BEF \quad (3)$$

- EG : Elektrik Gideri (TL/h)
ET : Saatlik Elektrik Tüketimi (kWh/h)
BEF : Birim Elektrik Fiyatı (TL/kWh)

Çalışmada birim elektrik tüketimi fiyatı 3.1 TL/kWh olarak dikkate alınmıştır (EPDK, 2024). Tamir-bakım gideri, makinaların aktif çalıştırılabilir durumda kalması için karşılanan giderlerdir. Periyodik bakım giderleri ile birlikte parça bozulması, kırılma, aşınma vb. giderleri kapsamaktadır. Bu çalışmada yıllık tamir bakım gideri satın alma bedelinin yüzdesi olarak belirlenmiştir. Bu değer sınıflandırma makinasında %2, belirli periyotlarda parça değişimi (bıçak, çekiç, kalıp vb.) gerektiren ve daha karmaşık olan diğer makinalarda ise %10 olarak alınmıştır (Mani vd., 2006). Hesaplanan değerler yıllık kullanım saatine bölünerek kullanım saati başına tamir-bakım gideri (TL/h) tespit edilmiştir.

Çalışmada hesaplanan maliyetlere ilişkin değerler, yıllık kullanım saati ve makina kapasiteleri dikkate alınarak, birim kullanım saati (TL/h) ve birim işlenen ürün başına (TL/t) düşen makina giderlerine dönüştürülmüştür. Ayrıca hesaplanan değerler, güncelliğini koruması için T.C. Merkez Bankası döviz kurları dikkate alınarak Amerikan Doları birimine (\$) dönüştürülmüştür (1\$=33 TL-Haziran 2024).

3. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

3.1. Makina Sabit Giderleri

Budama artıklarının değerlendirilmesinde kullanılan ve araştırmada dikkate alınan beş adet makinaya ait satın alma bedelleri, kapasite değerleri ile birlikte hesaplanan sabit gider değerler TL ve \$ birimi ile Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Makinalara ait satın alma bedelleri, makina kapasitesi değerleri ve sabit giderler

Makina	SAB		Makina Kapasitesi	Yıllık Sabit Giderler		Birim Sabit Giderler*			
	(TL)	(\$)		(t/h)	(TL/yıl)	(\$/yıl)	(TL/h)	(\$/h)	(TL/t)
<i>Tamburlu dal parç. m.</i>	1650000	50000	3.14	227081	6881	151.4	4.59	48.2	1.46
<i>Çekiçli dal parç. mak.</i>	1650000	50000	1.64	227081	6881	151.4	4.59	92.3	2.80
<i>Sınıflandırma mak.</i>	205000	6154	0.18	28213	855	18.8	0.57	102.8	3.11
<i>Çekiçli değirmen</i>	190000	5769	0.13	26149	792	17.4	0.53	138.4	4.19
<i>Pelet makinası</i>	1000000	30769	0.07	137625	4170	91.7	2.78	1253.4	37.98

* Makinaların yıllık kullanım saati 1500 saat alınmıştır.

Makinalara ait satın alma bedelleri (SAB), sabit giderlere doğrudan etkilidir. Çalışma koşullarında sabit gider faktörü 0.1376 olarak hesaplanmıştır. Tablo 5 incelendiğinde her iki dal parçalama makinasının da yıllık toplam sabit giderlerin 227081 TL/yıl olduğu görülmektedir. Bu değer pelet makinası için 137625 TL/yıl, sınıflandırma makinası ve çekiçli değirmen için sırasıyla 28213 TL/yıl ve 26149 TL/yıl olarak hesaplanmıştır.

Makinaların yıl içerisindeki kullanım sürelerinin artırılması diğer bir ifade ile makinalar ile daha çok bitkisel artık işlenmesi birim sabit giderleri azaltacaktır. Yıllık işlenen ürün miktarının hesaplanması için yıllık çalışma saatiyle birlikte makina kapasitesi değeri de bilinmelidir. Tablo 5'te görüldüğü gibi tamburlu tip dal parçalama makinası için hesaplanan kapasite değeri 3.14 t/h iken bu değer çekiçli tip dal parçalama makinası için 1.64 t/h değerindedir. Kalın dal, ağaç gövdesi ve kütük vb. daha temiz ve yoğun materyaller ile çalışılan tamburlu tip dal parçalama makinasının kapasitesinin çekiçli tip makinaya göre daha yüksek olması beklenen bir durumdur. Çalışmada, makinalar iki işçi

tarafından el ile beslenmiştir. Makinaların daha yüksek kapasiteli çalıştırılması için besleme yapan işçi sayısı artırılabilir ya da besleme/yükleme işlemi için özel makinalar ile kullanılabilir.

Çekiçli değirmen ve pelet makinasının kapasite değerleri sırasıyla 0.13 t/h ve 0.07 t/h olarak hesaplanmıştır. Araştırma amaçlı kullanılan pelet makinası için belirtilen değer normal görülebilir. Ancak endüstriyel pelet tesislerinde kullanılan tüm makinaların senkronizasyonu için daha yüksek kapasiteli pelet ve öğütme makinalarının kullanılmasının gerekli olduğu söylenebilir.

Yıllık kullanım süresi 1500 saat olarak dikkate alındığında dal parçalama makinalarının sabit giderleri 151.4 TL/h olarak hesaplanmaktadır. Birim parçalanmış materyal başına sabit giderler, tamburlu tip makinada 48.2 TL/t iken, çekiçli tip makinada 92.3 TL/t değerine çıkmaktadır. Saatlik makina kapasiteleri işlenen materyal başına giderleri doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle makinaların yüksek kapasite ile çalışmaları önemlidir. Satın alma bedeli yüksek, kapasitesi diğer makinalara göre oldukça düşük olan pelet makinasında sabit birim giderler 91.7 TL/h ve 1253.4 TL/t olarak hesaplanmıştır. Sınıflandırma makinası ve çekiçli değirmen için birim sabit giderler sırasıyla 18.8 TL/h-102.8 TL/t ve 17.4 TL/h-138.4 TL/t olarak belirlenmiştir.

3.2. Makina Değişken Giderleri

Araştırmada değişken giderler için birim kullanım saati başına hesaplanan değerler Tablo 6'da, birim işlenen materyal kütlesi başına düşen değişken değerler Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 6. Makinalara ait saatlik değişken giderler

Makina	Elektrik Gideri		Tamir Bakım Gideri		İşgücü Gideri		Toplam Değişken Giderler	
	(TL/h)	(\$/h)	(TL/h)	(\$/h)	(TL/h)	(\$/h)	(TL/h)	(\$/h)
<i>Tamburlu dal parç. mak.</i>	126.5	3.83	110.0	3.33	200.0	6.06	436.5	13.23
<i>Çekiçli dal parç. mak.</i>	51.7	1.57	110.0	3.33	200.0	6.06	361.7	10.96
<i>Sınıflandırma mak.</i>	3.9	0.12	2.7	0.08	200.0	6.06	206.6	6.26
<i>Çekiçli değirmen</i>	22.8	0.69	12.7	0.38	100.0	3.03	135.5	4.11
<i>Pelet makinası</i>	18.2	0.55	66.7	2.02	100.0	3.03	184.9	5.60

Tablo 7. Makinalara ait birim işlenen materyal kütlesi başına düşen değişken giderler

Makina	Elektrik Gideri		Tamir Bakım Gideri		İşgücü Gideri		Toplam Değişken Giderler	
	(TL/t)	(\$/t)	(TL/t)	(\$/t)	(TL/t)	(\$/t)	(TL/t)	(\$/t)
<i>Tamburlu dal parç. mak.</i>	40.3	1.22	35.0	1.06	63.7	1.93	139.0	4.21
<i>Çekiçli dal parç. mak.</i>	31.5	0.95	67.1	2.03	122.0	3.70	220.5	6.68
<i>Sınıflandırma mak.</i>	21.1	0.64	14.9	0.45	1092.9	33.12	1128.9	34.21
<i>Çekiçli değirmen</i>	181.1	5.49	100.5	3.05	793.7	24.05	1075.3	32.58
<i>Pelet makinası</i>	249.2	7.55	910.7	27.60	1366.1	41.40	2526.0	76.55

Tablo 6'da görüldüğü gibi saatlik değişken giderler içinde en büyük paya sahip gider kalemi işgücü gideridir. İşgücü gideri iki kişi ile çalışan makinalar için 200.00 TL/h, bir kişi ile çalışan makinalar için 100.00 TL/h'dir. Toplam değişken giderler içerisinde işgücü giderinin payı; tamburlu

parçalama makinasında %46, çekiçli tip parçalama makinasında %55, sınıflandırma makinasında %97, çekiçli değirmende %74 ve pelet makinasında %54'tür. Elektrik gideri en fazla tamburlu tip dal parçalama makinasında (126.5 TL/h), en düşük ise sınıflandırma makinasında (3.9 TL/h) için bulunmuştur. Tamir-bakım gideri dal parçalama makinalarında 110.0 TL/h iken sınıflandırma makinasında 2.7 TL/h'dir. Belirtilen değerleri ile birim çalışma süresi başına en yüksek değişken değer tamburlu parçalama makinasında 436.5 TL/h, en düşük değer ise çekiçli değirmende 135.5 TL/h olarak belirlenmiştir.

Makinalara ait birim kütle başına (kg) düşen değişken gider kalemleri arasında en fazla gider pelet makinasında hesaplanmıştır. Özellikle işgücü gideri 1366.1 TL/t gibi yüksek bir değerdedir. Düşük kapasiteli bir makina kullanımının bu değeri yükselttiği söylenebilir. Tüm değişken giderler dikkate alındığında pelet makinası için toplam değer 2526.0 TL/t olarak belirlenmiştir. Sınıflandırma makinası ve çekiçli değirmen için hesaplanan toplam değişken giderler sırasıyla 1128.9 TL/t ve 1075.3 TL/t'dur. Tamburlu ve çekiçli parçalama makinaları için toplam değişken gider sırasıyla yaklaşık 139.0 TL/t ve 220.5 TL/t olarak hesaplanmıştır (Tablo 7).

3.3. Makinalara Ait Toplam Giderler

Makinaların yıllık kullanım süreleri 1500 saat olarak dikkate alındığında, hesaplanan toplam giderler Tablo 8 ve Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 8. Makinalara ait saatlik toplam giderler

<i>Makina</i>	<i>Sabit Gider</i>		<i>Değişken Gider</i>		<i>Toplam Gider</i>	
	<i>(TL/h)</i>	<i>(\$/h)</i>	<i>(TL/h)</i>	<i>(\$/h)</i>	<i>(TL/h)</i>	<i>(\$/h)</i>
<i>Tamburlu dal parçalama mak.</i>	151.4	4.59	436.5	13.23	587.9	17.82
<i>Çekiçli dal parçalama mak.</i>	151.4	4.59	361.7	10.96	513.0	15.55
<i>Sınıflandırma makinası</i>	18.8	0.57	206.6	6.26	225.4	6.83
<i>Çekiçli değirmen</i>	17.4	0.53	135.5	4.11	152.9	4.63
<i>Pelet makinası</i>	91.7	2.78	184.9	5.60	276.7	8.38

Tablo 9. Makinalara ait birim işlenen materyal kütlesi başına düşen toplam giderler

<i>Makina</i>	<i>Sabit Gider</i>		<i>Değişken Gider</i>		<i>Toplam Gider</i>	
	<i>(TL/t)</i>	<i>(\$/t)</i>	<i>(TL/t)</i>	<i>(\$/t)</i>	<i>(TL/t)</i>	<i>(\$/t)</i>
<i>Tamburlu dal parçalama mak.</i>	48.2	1.46	139.0	4.21	187.2	5.7
<i>Çekiçli dal parçalama mak.</i>	92.3	2.80	220.5	6.68	312.8	9.5
<i>Sınıflandırma makinası</i>	102.8	3.11	1128.9	34.21	1231.7	37.3
<i>Çekiçli değirmen</i>	138.4	4.19	1075.3	32.58	1213.6	36.8
<i>Pelet makinası</i>	1.253.4	37.98	2526.0	76.55	3779.5	114.5

Makinalara ait saatlik toplam giderler 152.9-587.9 TL/h arasında değişmektedir. En yüksek gider tamburlu tip parçalama makinasına ait iken en düşük gider çekiçli değirmen için saptanmıştır (Tablo 8).

Artıkların geri dönüşümünde ve sürdürülebilir uygulamalarda, birim materyal başına düşen giderler önem kazanmaktadır. Bu kapsamda makinalar için hesaplanan toplam giderler; Tablo 9’da görüldüğü gibi tamburlu tip dal parçalama makinası, çekiçli tip dal parçalama makinası, sınıflandırma makinası, çekiçli değirmen ve pelet makinası için sırasıyla 187.2 TL/t, 312.8 TL/t, 1231.7 TL/t, 1213.6 TL/t ve 3779.5 TL/t’dir. Artıkların değerlendirilmesi veya bertaraf işlemleri için artıkların en azından parçalanması, ardından isteğe göre işlem ya da işlemlerden geçirilmesi gerekmektedir.

Naimi vd. (2006) tarafından parçalama makinaları saatlik toplam giderleri 91-252 \$/h olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada hesaplanan değerler ise yaklaşık 16-18 \$/h düzeyindedir. Amerika kıtasında orman ürünlerinin parçalanmasında kullanılan makinaların saatlik kullanım maliyetlerinin, bu çalışmada hesaplanan değerlere göre yüksek olmasının başlıca nedenleri yüksek motor gücü (186-521.5 kW) ve yüksek satın alma bedelleri (187692-625542 \$) olarak sıralanabilir. Saatlik maliyetlerin yanında işlenen birim materyal kütlesi başına hesaplanan maliyetlerin de dikkate alınması daha sağlıklı değerlendirme imkânı vermektedir. Örneğin Jara vd. (2016) tarafından yapılan araştırmada orman ürünlerinden saatlik 10 ton pelet üretim kapasitesine sahip makina için birim kütle başına makina maliyeti 10.65 \$/t olarak hesaplanmıştır. Belirtilen değer bu çalışmada çok daha düşük kapasiteli pelet makinası için hesaplanan değerden yaklaşık 10 kat daha küçüktür. Ürün ve makina yapısı vb. faktörlerle birlikte yüksek kapasiteli makina kullanımının kütle başına hesaplanan birim maliyet değerlerini azalttığı söylenebilir.

Değerlendirme yöntemlerinin ekonomikliği için makina giderlerinin dikkate alınması gerekmektedir. Örneğin budanan dalların tamburlu dal parçalama makinaları ile parçalandığında, elde edilen parçacıklar (yonga/chips) biyokütle enerji santrallerinde doğrudan yakıt olarak kullanılabilir. Belirtilen enerji tesislerine yönelik hammadde maliyetleri hesaplamalarında bu çalışmada elde edilen 187.2 TL/t (5.7 \$/t) değeri bir fikir verebilir. Aynı materyaller doğrudan malç olarak da kullanılabilir. Ancak istenilen boyutların elde edilmesi için sınıflandırma makinasından geçirildiğinde birim makina maliyeti (187.2+1231.7=) 1419.0 TL/t (43 \$/t) değerine çıkmaktadır. Artıklardan pelet elde edilmesi için parçalama ve öğütme ile birlikte pelet makinası giderleri dikkate alındığında pelet için makina kullanım maliyeti (187.2+1213.6+3779.5=) 5180.3 TL/t (157.0 \$/t) değerine ulaşmaktadır.

Kampus özelinde yapılan bu çalışmada pelet makinasının birim maliyet değerlerinin yüksekliği dikkat çekmektedir. Bununla birlikte ülkemizde bitkisel artıkların değerlendirilmesi konusundaki artan farkındalık dikkat çekmektedir. Bu kapsamda; piyasa taleplerine göre artık özellikleri, makina kapasiteleri, işgücü ihtiyacı ve makina giderlerinin dikkate alınması ile yapılacak üretim faaliyetlerinde budama artıklarının kullanım potansiyelinin olduğu düşünülmektedir. Parçalanmış budama artıklarının doğrudan malç olarak kullanımının yanında, farklı üretim tesislerinde (biyoyakıt, kompost, toprak iyileştirici, yapı malzemesi, yonga levha vb.) hammadde olarak doğrudan ya da karışım malzemesi olarak kullanılabilmesi öngörülmektedir.

4. SONUÇ

Türkiye’de bitkisel artıkların bertaraf edilmesi konusunda farkındalık düzeyi artmaktadır. Artıkların geri dönüşümü ile farklı kazanımların yanında ekonomiye katkısı da söz konusudur. Mevcut durumda artıkların malç/yonga, biyokütle hammaddesi ve pelet gibi farklı alanlarda kullanımı mümkündür. Bu çalışmada budama meyve bahçeleri ve park-bahçe alanlarında ortaya çıkan budama

artıklarının farklı yöntemlerle değerlendirilmesine yönelik uygulanan temel işlemlerde kullanılan parçalama, sınıflandırma ve peletleme makinalarının kullanım maliyetleri hesaplanmıştır.

Yapılan hesaplamalarda, malç ve biyokütle hammaddesi üretimine yönelik makina kullanım maliyetlerinin pelet üretimine göre daha düşük düzeylerde kaldığı görülmektedir. Pelet üretiminde, özellikle birim kapasiteye oranla satın alma bedeli, elektrik enerjisi ve işçilik giderlerinin yüksek olması, diğer makinalara göre toplam giderleri artırmaktadır. Çalışmada kullanılan tamburlu ve çekiçli tip parçalama makinaları için toplam birim maliyetler sırasıyla 587.9 TL/h-187.2 TL/t ve 513.0 TL/h ve 312.8 TL/t olarak hesaplanmıştır. Sınıflandırma makinası ve çekiçli değirmen için bu değerler sırasıyla 225.4 TL/h-1231.7TL/t ve 152.9TL/h-1213.6 TL/t'dur. Pelet makinası için birim maliyetler 276,7 TL/h-3779.5 TL/t olarak belirlenmiştir.

Sabit giderlere, satın alma fiyatı ile makinanın yıllık kullanım süresi etkilidir. İşletmelere uygun kapasiteli makina seçiminin yanında yıllık kullanım süresinin artması birim sabit giderleri azaltacaktır. Değişken giderler içinde en yüksek gider kalemi işgücü gideridir. Tüm makinaların beslenmesinin insan işgücü ile yapılması maliyetleri artırmaktadır. Günümüzde insan işgücü temininde yaşanan zorluklar ve işgücü maliyetlerinin yükselmesi dikkate alındığında belirlenen sonucun beklenen bir durum olduğu söylenebilir. Bu kapsamda, besleme ve yükleme işlemlerinin uygun makinalarla gerçekleştirilmesi durumunda işgücü giderlerinin azalması beklenmektedir.

Çalışmada kapsamında Akdeniz Üniversitesi altyapısı dikkate alınarak hesaplanan değerlerin, Türkiye koşullarında budama artıklarının geri dönüşümüne yönelik yapılacak benzer çalışmalara yardımcı olması beklenmektedir. İşletmeler amacına göre kullanacakları makina ya da makina fiyatlarını deneme koşullarını dikkate alarak değerlendirebilirler.

Teşekkür

Bu çalışma, Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen FAY-2017-2802 no'lu Altyapı Projesi kapsamında yürütülmüştür.

KAYNAKLAR

- ASABE, (2015). Agricultural machinery management data. American Society of Agricultural and Biological Engineers Standarts. ASAE D497.7 MAR2011 (R2015)
- Assirelli, A., Acampora, A. Croce, S., Spinelli, R., Santangelo, E., Pari L. (2013). Mechanized recovery of olive pruning residues: ash contamination and harvesting losses. *Journal of Agricultural Engineering*, XLIV(s2), e124
- Bilandzija, N., Voca, N., Kricka, T., Matin, A., Jurisic, V. (2012). Energy potential of fruit tree pruned biomass in Croatia. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 10(2), 292-298.
- Çanakcı, M. (2014). Budama atıklarının parçalanması ve mekanizasyonu. *Hasad Dergisi - Bitkisel Üretim*, 29(344), 70-78.
- Çanakcı, M., Topakcı, M., Karayel, D., Ağsaran, B. (2010). Kuyruk milinden hareketli budama artığı parçalama makinasının temel işletmecilik verilerinin belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, (16), 46-54.

- Çanakcı, M., Topakcı, M., Karayel, D., Yiğit, M., Yılmaz, H., Ortaçesme, D. (2020). *Akdeniz Üniversitesi Kampus Alanlarında Ortaya Çıkan Budama Artıklarının Değerlendirilmesine Yönelik Altyapı Projesi Sonuç Raporu*. Akdeniz Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi FAY-2017-2802, 62 s. Antalya.
- Çanakcı, M., Topakcı, M., Karayel, D., Agsaran, B., Kabaş, O., Yigit, M. (2019). The effect of different blades on the performance values of a pruning chopper used to improve soil properties. *Bulg J Agr Sci*, 25(5), 1052-1059.
- Çiçek, G., Sümer, S. K., Egesel, C. Ö., Say, S.M. (2019). Şeftali budama artık potansiyelinin hesaplanmasına yönelik katsayının belirlenmesi. *ÇOMÜ Zir. Fak. Derg. (COMU J. Agric. Fac.)*, 7(2), 299-305.
- Çolakoğlu, B. (2018). *Tarımsal Atıkların Alternatif Kullanım Alanları Konusunda Üretici Eğilimleri*. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. Tarım Ekonomisi Anabilim Dalı, 107 s. Tekirdağ.
- Dereli, İ., Çakır, E. (2014). Development and determination of the field performance of stalk choppers equipped with different blade configurations. *Bulg J Agr Sci*, 20(5), 1273-1276.
- Deveci, E.Ü., Gönen, Ç., Çetin G. (2019). Mısır koçanında sülfürik asit, hidrojen peroksit ve ultrases dalga ön işlemleri ile çözünmüş şeker üretiminin optimizasyonu. *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi – KSU J Eng Sci*, 22(4), 183-198.
- Dyjakon, A., Mudryk, K. (2018). *Energetic potential of apple orchards in europe in terms of mechanized harvesting of pruning residues*. Renewable Energy Sources: Engineering, Technology, Innovation. Part of the Springer Proceedings in Energy Book Series (SPE), 593-602.
- Dyjakon, K., Boer, J. D., Bukowski, P., Adamczyk, F., Frąckowiak, P. (2016). Wooden biomass potential from apple orchards in Poland. *Drewno*, 59(198), 73-86.
- Ekinci, K. (2011). Utilization of apple pruning residues as a source of biomass energy: A case study in Isparta province. *Energy Exploration & Exploitation*, 29(1), 87-107.
- El-Juhany, L. I. (2001). Surveying of lignocellulosic agricultural residues in some major cities of Saudi Arabia. *Research Bulletin*, 100, 5-23 (In Arabic)
- EPDK, 2024. T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu.
- Fedrizzi, M., Sperandio, G., Pagano, M., Pochi, D., Fanigliulo, R., Recchi, P. (2012). A Prototype Machine for Harvesting and Chipping of Pruning Residues: first test on Hazelnut Plantation (*Corylus avellana* L.). *International Conference of Agricultural Engineering, CIGR-Ageng*, July 8-12, Valencia, Spain.
- Goncalves, C., Evtugina, M., Alves, C., Monteiro, C., Pio, C., Tome, M. (2011). Organic particulate emissions from field burning of garden and agriculture residues. *Atmosph Res*, 101, 666-680. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.04.017>
- Hoque, M., Sokhansanj, S., Naimi, L., Bi, X., Lim, J. Womac, A. (2007). Review and analysis of performance and productivity of size reduction equipment for fibrous materials. ASABE Annual International Meeting, Paper Number: 076164, 17 - 20 June, Minneapolis, Minnesota. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.05.023>

<https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tabloları>

- Jara, A.A., Daracan, V.C., Devera, E.E., Acda, M.N. (2016). Techno-Financial Analysis of Wood Pellet Production In The Philippines. *Journal of Tropical Forest Science* 28(4), 517–526.
- Magagnotti, N., Pari, L., Picchi, G., Spinelli, R. (2013). Technology alternatives for tapping the pruning residue resource. *Bioresource Technology*, 128, 697–702.
- Mani, S., Sokhansanj, S., Bi X., Turhollow, A. (2006). Economics of producing fuel pellets from biomass. *Applied Engineering in Agriculture*. 22(3), 421-426.
- Manzanares, P., Ruiz, E., Ballesteros, M., Negro, M. J., Gallego F. J., López-Linares J. C., Castro, E. (2017). Residual biomass potential in olive tree cultivation and olive oil industry in Spain: valorization proposal in a biorefinery context. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 15(3), e0206.
- Miyata, E. S. (1980). Determining fixed and operating cost of logging equipment. *USDA Forest Service, General Technical Report*. NC-55. North Central Forest Experiment Station, 16 p. St. Paul-Minnesota, USA,
- Naimi, L. J., Sokhansanj, S., Mani, S., Hoque, M., Bi, T., Womac, A. R., Narayan, S. (2006). Cost and performance of woody biomass size reduction for energy production. *CSBE/SCGAB 2006 Annual Conference*, Paper No:06-107, Edmonton Alberta.
- Nguyen, Q. N., Cloutier, A., Achim, A., Stevanovic, T. (2015) Effect of process parameters and raw material characteristics on physical and mechanical properties of wood pellets made from sugar maple particles. *Biomass Bioenergy*, 80:338–49.
- Öngören, N. (2021). *Bağ budama atıklarının parçalanmasında kullanılacak bir makinanın modifikasyonu ve performansının değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, 56 s, Diyarbakır.
- Özkan, Y., Gerçekçioğlu, R. (2009). Meyve Ağaçlarının Budanması. Gerçekçioğlu R., Bilgener Ş., Soylu A. (Editörler), *Genel Meyvecilik Kitabı (Bölüm 12)*, (2. Baskı, ss. 385-449). Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- Paltseva, J., Searle, S., Malins, C. (2016). Biofuel production from palm residues in Indonesia. *ICCT- White Paper- International Council on Clean Transportation*. Washington, USA. 17 p. <https://theicct.org/>
- Sessiz, A., Demirel, İ. (2024). Bağ artıklarının parçalanmasında kullanılan bir makinanın bazı çalışma parametrelerine bağlı olarak güç tüketiminin belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 20(2), 112-121.
- Spinelli, R., Eliassonb, L., Magagnotti, N. (2019). Determining the repair and maintenance cost of wood chippers. *Biomass and Bioenergy* 122, 202–210.
- Spinelli, R., Lombardini, C, Pari, L., Sadauskiene, L., (2014). An alternative to field burning of pruning residues in mountain vineyards. *Ecol Eng* 70, 212-216.
- Spinelli, R., Magagnotti, N., Nati, C., (2010). Harvesting vineyard pruning residues for energy use. *Biosyst Eng*, 105, 316-322. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.11.011>
- Spinelli, R., Picchi, G. (2010). Industrial harvesting of olive tree pruning residue for energy biomass. *Bioresource Technology*, 101, 730-735.

- Stasiak, M., Molenda, M., Bańda, M., Wiącek, J., Parafiniuk, P., Gondek, E. (2017). Mechanical and combustion properties of sawdust—straw pellets blended in different proportions. *Fuel Process Technol*, 156, 366–75.
- Şeflek, Y., Çarman, K., Özbek, O. (2006). Budama atıklarının parçalanmasında kullanılan makinanın performans değerlerinin irdelenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 2(3), 219-24.
- Turna, İ. (2017). *Kent Ormancılığı-Budama. Ders Notu*. Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi, Trabzon. https://www.ktu.edu.tr/dosyalar/silvikultur_cf4ad.pdf
- Ünal, İ., Çanakcı, M., Topakçı, M., Karayel, D., Çakır, M. (2021). Design and development of the PLC based sensor and instrumentation system for self-propelled pruning residue mulcher prototype. *Computers and Electronics in Agriculture*, 186, 106225.
- Velázquez-Martí, B., Fernández-González, E., López-Cortés, I., Salazar-Hernández, D. M. (2011). Quantification of the residual biomass obtained from pruning of trees in Mediterranean olive groves. *Biomass and Bioenergy*, 35, 3208-3217.
- Yan, J., Oyedeji, O., Leal, J. H., Donohoe, B. S., Semelsberger, T. A., Li, C., Tanjore, D. (2020). Characterizing variability in lignocellulosic biomass: a Review". *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8(22), 8059-8085.
- Yeniocak, M. (2008). *Bağ Budama Atıklarının Yonga Levha Üretiminde Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi Mobilya ve Dekorasyon A. B. D., Muğla.
- Yiğit, M. (2013). *İki Farklı Budama Atığı Parçalama Makinasının Performans Değerlerinin Karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Tarım Makinaları A.B.D., 63 s., Antalya.
- Yiğit, M. (2023). *Bir Budama Artığı Parçalama Makinasının Farklı Çalışma Koşullarında İşletme Parametrelerinin Belirlenmesi*. Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Tarım Makinaları A.B.D., 98 s., Antalya.
- Yiğit, M., and Çanakcı, M. (2020). Comparison of the technical and economic performances of two different shredders on pomegranate pruning residues. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 18(1), e0202.
- Zhou, Y., Zhang, Z., Zhang, Y., Wang, Y., Yu, Y., Ji, F. (2016). A comprehensive review on densified solid biofuel industry in China. *Renew Sustain Energy Rev*, 54, 1412–28.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction and Research Questions & Purpose

After regular pruning operations, significant amounts of woody residues emerge in both agricultural and urban areas. These residues are burned or kept in empty areas in traditional practices, which are common. Uncontrolled incineration or keeping in empty spaces causes many environmental problems by preventing the recycling of residues. Today, the importance of evaluating lignocellulosic pruning residues with different methods and recycling them and bringing them into the economy is increasing. The first process to evaluate the residues in different ways is the shredding process to reduce their size. This process is critical for the efficiency and economy of the methods applied. According to the evaluation methods, the processes to be applied to the residues after the shredding process vary.

The economical of the selected methods is one of the basic factors that will ensure continuity in the evaluation of residues. For this reason, cost calculations along with the operating parameters and energy requirements of the machines gain importance within the scope of business studies. When the studies are examined, there are many studies carried out for the stated purpose, especially for pruning residues that occur in orchards. In addition, it is seen that studies are carried out on the operation of machines that are used in the evaluation of biomass residues in landscape and forest areas and work continuously.

When the studies carried out are examined, it is seen that the studies carried out to determine the machine costs used in the evaluation of woody pruning residues in our country are limited. In particular, the shortage of stationary type shredding and pellet machines, which have an increase in use, is more pronounced. In this study, it was aimed to calculate the costs of some machines used in the evaluation of vegetable residues.

Methodology

In the study, the machines used in shredding, classification and pelletizing processes for the evaluation of pruning residues were taken into consideration. Ready-to-use mulch, chips and pellets can be produced with the machines. In the trials, two different branch shredding machines (drum and hammer type), a vibrating sieve, grinding machine and pelletizing machine were used.

In each trial conducted in three iterations to determine the capacity and electrical energy consumption of the shredding machines, the grading machine and the hammer mill, the working time was considered as three minutes. In the trials, the shredded residues were weighed, and the capacity values of the machines were determined in terms of (kg/h), taking into account the working time. By proportioning the power value and capacity value depending on electricity consumption, kWh/t unit and unit energy requirement values were determined.

In the pelletizing process, the pellets, which started to come out when the machine entered the regime, were collected in a container for 60 seconds. During this period, the pellets produced were weighed and their masses were recorded, and the pellet production capacity was calculated as kg/h for each material. The specific energy consumption values of the pellet machine were calculated as kWh/ton by rationing the machine energy consumption values to the production capacity. During the trials, electrical energy consumption values were determined with the help of a 3-phase portable energy analyzer.

Fixed and variable expenses were considered in the expense calculations of the machines.

Results and Conclusions

The purchase price (SAB) of the machines has a direct impact on fixed expenses. The fixed expense factor in operating conditions was calculated as 0.1376. It is seen that the total annual fixed expenses of both drum type and hammer type shredders are 227081 TL/year (6881 \$/year). This value was calculated as 137625 TL/year (4170 \$/year) for pellet machine, 28213 TL/year (855 \$/year) and 26149 TL/year (792 \$/year) for grading machine and hammer mill, respectively.

Considering the annual usage period as 1500 hours, the fixed costs of the branch shredding machines are calculated as 151.4 TL/h (4.59 \$/h). While the fixed costs per unit of shredded material are 48.2 TL/t (1.46 \$/t) in the drum type shredder, they increase to 92.3 TL/t (2.8 \$/t) in the hammer type machine. Hourly machine capacities directly affect the costs per material processed. For this reason, it is important that the machines work with high capacity. In the pellet machine, which has a high purchase price, and a very low capacity compared to other machines, fixed unit expenses are calculated as 91.7 TL/h (2.78 \$/h) and 1253.4 TL/t (37.98 \$/h). Unit fixed expenses for the sieving and grinding machine were determined as 18.8 TL/h (0.57 \$/h), 102.8 TL/t (3.11 \$/t) and 17.4 TL/h (0.53 \$/h), 138.4 TL/t (4.19 \$/t), respectively.

The expense item with the largest share in hourly variable expenses is labor expense. Labor expense is 200.00 TL/h (6.06 \$/h) for machines working with two people and 100.00 TL/h (3.03 \$/h) for machines working with one person. The share of labor expenses in total variable expenses; it is 46% in drum shredding machine, 55% in hammer type shredding machine, 97% in grading machine, 74% in hammer mill and 54% in pellet machine. Electricity costs were calculated for the highest drum type branch shredding machine (126.5 TL/h – 3.83 \$/h) and the lowest classification machine (3.9 TL/h – 0.12 \$/h). While the repair-maintenance cost is 110.0 TL/h (3.33 \$/h) for branch shredding machines, it is 2.7 TL/h (0.08 \$/h) for the grading machine. With the specified values, the highest variable value per unit working time was determined as 436.5 TL/h (13.23 \$/h) in the drum shredding machine and the lowest value was determined as 135.5 TL/h (4.11 \$/h) in the hammer mill.

Among the variable expense items per unit mass (kg) of the machines, the highest expense was calculated in the pellet machine. In particular, labor expense is as high as 1366.1 TL/t (41.40 \$/t). It can be said that the use of a low-capacity machine increases this value. Considering all variable expenses, the total value for the pellet machine was determined as 2526.0 TL/t (76.55 \$/t). The total variable expenses calculated for the grading machine and the hammer mill are 1128.9 TL/t (34.21 \$/t) and 1075.3 TL/t (32.58 \$/t), respectively. The total variable expense for drum and hammer shredding machines was calculated as approximately 139.0 TL/t (4.21 \$/t) and 220.5 (6.68 \$/t) TL/t, respectively.

Total expenses calculated for machines within the scope; it is 187.2 TL/t (5.7 \$/t), 312.8 TL/t (9.5 \$/t), 1231.7 TL/t (37.3 \$/t), 1213.6 TL/t (36.8 \$/t) and 3779.5 TL/t (114.5 \$/t) for drum type branch shredding machine, hammer type branch shredding machine, grading machine, hammer mill and pellet machine, respectively.

Fixed costs are affected by the purchase price and the annual usage period of the machine. In addition to the selection of machines with the appropriate capacity for the enterprises, the increase in the annual usage time will reduce the unit fixed costs. Among the variable expenses, the highest expense item is labor expense. The feeding of all machines with human labor increases the costs. Considering the difficulties experienced in the supply of human labor and the increase in labor costs today, it can be said that the determined result is an expected situation. In this context, it is expected that labor costs will decrease if feeding and loading operations are carried out with appropriate machines.

It is expected that the values calculated by considering the infrastructure of Akdeniz University within the scope of the study will help similar studies to be carried out for the recycling of pruning residues in Türkiye conditions. Businesses can evaluate the prices of the machine or me or machine they will use according to their purpose, considering the trial conditions.

Yazarların Biyografisi



Murad ÇANAKCI

Prof. Dr. Murad ÇANAKCI, 1995 yılında Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'nden lisans derecesi ile mezun olmuştur. 1996-2005 yıllarında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı'nda yüksek lisans ve doktora öğrenimini tamamlamıştır. Aynı dönemde Akdeniz Üniversitesinde araştırma görevlisi olarak çalışmıştır. Murad ÇANAKCI 2005-2007 yıllarında Tarım ve Orman Bakanlığı'nda çalışmıştır. Murad ÇANAKCI 2008 yılından itibaren Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Murad ÇANAKCI tarımsal mekanizasyon işletmeciliği, tarımsal artıkların değerlendirilmesi ve sera üretim mekanizasyonu konuları üzerinde çalışmaktadır.

İletişim

mcanakci@akdeniz.edu.tr

ORCID Adresi

<https://orcid.org/0000-0002-1985-8387>



Mehmet TOPAKCI

Prof. Dr. Mehmet TOPAKCI, 1995 yılında Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'nden lisans derecesi ile mezun olmuştur. 1996-2005 yıllarında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı'nda yüksek lisans ve doktora öğrenimini tamamlamıştır. Aynı dönemde Akdeniz Üniversitesinde araştırma görevlisi olarak çalışmıştır. Mehmet TOPAKCI 2005-2006 yıllarında Tarım ve Orman Bakanlığı'nda çalışmıştır. 2006 yılından itibaren Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Mehmet TOPAKCI akıllı tarım teknolojileri, toprak işleme ve tarımsal artıkların değerlendirilmesi konuları üzerinde çalışmaktadır.

İletişim

mtopakci@akdeniz.edu.tr

ORCID Adresi

<https://orcid.org/0000-0002-5049-9511>



Davut KARAYEL

Prof. Dr. Davut KARAYEL, 1995 yılında Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'nden lisans derecesi ile mezun olmuştur. 1996-2005 yıllarında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı'nda yüksek lisans ve doktora öğrenimini tamamlamıştır. Aynı dönemde Akdeniz Üniversitesinde araştırma görevlisi olarak çalışmıştır. Davut KARAYEL 2007-2008 yıllarında Akdeniz Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu'nda öğretim görevlisi olarak çalışmıştır. 2011 yılından itibaren Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Davut KARAYEL tarımsal üretimde ekim, dikim ve gübreleme makinaları konuları üzerinde çalışmaktadır.

İletişim

dkarayel@akdeniz.edu.tr

ORCID Adresi

<https://orcid.org/0000-0002-6789-2459>



Hasan YILMAZ

Dr. Hasan YILMAZ, 2011 yılında Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'nden lisans derecesi ile mezun olmuştur. 2013-2022 yıllarında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı'nda yüksek lisans ve doktora öğrenimini tamamlamıştır. Hasan YILMAZ tarımsal artıklardan pelet üretimi, torefikasyon ve yakıt özelliklerinin belirlenmesi konuları üzerinde çalışmaktadır.

İletişim

<https://orcid.org/0000-0003-3791-6437>

ORCID Adresi

hasanyilmaz@akdeniz.edu.tr



Mete YİĞİT

Dr. Mete YİĞİT, 2009 yılında Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü'nden lisans derecesi ile mezun olmuştur. 2010-2023 yıllarında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı'nda yüksek lisans ve doktora öğrenimini tamamlamıştır. Mete YİĞİT tarımsal artıkların değerlendirilmesi ve görüntü işleme konuları üzerinde çalışmaktadır. Mete YİĞİT, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde Dr. Öğretim Üyesi olarak görev yapmaktadır.

İletişim
ORCID Adresi

meteyigit@akdeniz.edu.tr
<https://orcid.org/0000-0002-6500-2002>



Derya ORTAÇEŞME

Öğr. Gör. Derya Ortaçeşme, 1992 yılında Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü'nden lisans derecesi ile mezun olmuştur. 1992-1996 yıllarında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimini tamamlamıştır. Akdeniz Üniversitesi Rektörlüğü Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı'nda Park Bahçeler Şube Müdürü olarak görev yapmaktadır.

İletişim
ORCID Adresi

ortacesmed@akdeniz.edu.tr
<https://orcid.org/0000-0003-3312-5822>

Tarımda Otonom Araçların Kullanımı

Use of Autonomous Vehicles in Agriculture

Mehmet Metin Özgüven^{1,*}  Maksut Barış Eminoğlu¹  Ahmet Çolak¹ 

¹ Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye.

* Corresponding author (Sorumlu Yazar): M.M. Özgüven, e-mail (e-posta): mmozguven@ankara.edu.tr

Makale Bilgisi

Alınış tarihi : 27.09.2024
Düzeltilme tarihi : 28.10.2024
Kabul tarihi : 03.11.2024

Anahtar Kelimeler:

Otonom araçlar
İnsansız kara araçları
İnsansız hava araçları
İnsansız deniz araçları

Özgüven, M.M., Eminoğlu, M.B., Çolak, A. "Tarımda Otonom Araçların Kullanımı" Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 20(3): 217-233

ÖZET

Tarım, tarımsal üretimin her aşamasında yer alan çeşitli zorluklar ve sorunlarla mücadele içerisinde yapılan emek yoğun faaliyetlerden oluşmaktadır. Tarımsal üretimde yer alan ürün çeşitliliğinin ve yetiştiricilik alanlarının sayıca fazla olması çeşitli konularda tarımsal uzmanlıklara sahip olunmasını gerektirmektedir. Ayrıca verimli ve kaliteli üretim yapılabilmesi için yetiştiricilik şartlarının bitki-hayvan isteklerine uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla ekim, gübreleme, bitki koruma, sulama gibi uygulamaların tarım makineleri ile gerektiği şekliyle yapılmasıyla iş gücü, zaman ve üretim maliyetlerinden tasarruf sağlanabilmekte ve daha büyük üretim kapasitelerine ulaşabilmektedir. Tohum, gübre, pestisit ve su girdilerinin etkinliğinin artırılması ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerin en aza indirilmesi amacıyla çeşitli teknolojik tarım makineleri geliştirilmiş ve teknoloji geliştikçe yeni çözümler geliştirilmeye de devam edilmektedir. Aynı zamanda, tarımda teknolojinin kullanılmasıyla, günümüzde üretim alanlarından gerçek zamanlı bilgi ve veri toplanabilmektedir. Bu aşamaya son dönemde geliştirilen sensör, kamera, aktüatör, sinyal şartlandırıcı, işlemci gibi donanımların artması ve bu donanımların makine öğrenmesi, derin öğrenme, yapay zeka, modelleme, simülasyon gibi yazılım uygulamaları ile uyumlu çalışabilmesiyle ulaşılmıştır. Tarımda teknolojinin geldiği son aşamada ise çok sayıda ticarileşmiş otonom traktör, otonom olarak çalışan tarım makineleri ve tarım robotları bulunmaktadır. Bu çalışmada, otonom araçlar ile otonom araçların özellikleri ele alınmış, tarımda kullanılan otonom araçlara örnekler verilerek açıklanmıştır.

Article Info

Received date : 27.09.2024
Revised date : 28.10.2024
Accepted date : 03.11.2024

Keywords:

Autonomous vehicles
Unmanned ground vehicles
Unmanned aerial vehicles
Unmanned marine vehicles

Özgüven, M.M., Eminoğlu, M.B., Çolak, A. "Tarımda Otonom Araçların Kullanımı" Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 20(3): 217-233

ABSTRACT

Agriculture consists of labor-intensive activities that involve coping with various difficulties and problems at every agricultural production stage. The large diversity of product and cultivation areas in agricultural production requires agricultural expertise in various subjects. In addition, to achieve efficient and high-quality production, cultivation conditions must be adapted to plant and animal demands. For this purpose, by carrying out applications such as planting, fertilizing, plant protection and irrigation with agricultural machinery as required, savings in labor, time and production costs can be achieved and larger production capacities can be achieved. Various technological agricultural machinery has been developed to increase the efficiency of seed, fertilizer, pesticide and water inputs and to minimize the negative effects on the environment, and new solutions continue to be developed as technology develops. At the same time, with the use of technology in agriculture, today, information and data from production areas have been collected in real-time. This stage has been reached with the increase in recently developed hardware such as sensors, cameras, actuators, signal conditioners, processors, and the ability of these hardware to work in harmony with software applications such as machine learning, deep learning, artificial intelligence, modeling, simulation. At the latest stage of technology in agriculture, there are many commercialized autonomous tractors, autonomous agricultural machines and agricultural robots. In this study, autonomous vehicles and their features are discussed and explained by giving examples of autonomous vehicles used in agriculture.

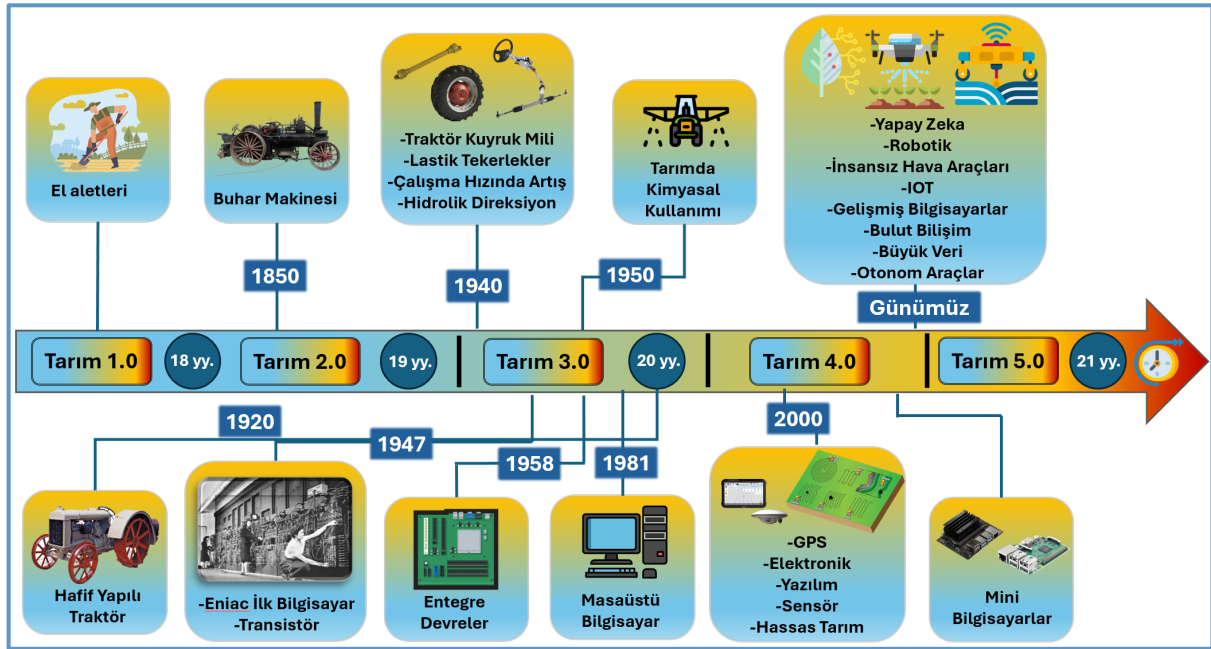
1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesiyle ortaya çıkan donanım, algoritma ve yazılımlar tarımsal işlemlerin kolaylaştırılması ve çözüm veya iyileştirme bekleyen sorunlara alternatif çözümlerin getirilmesini mümkün hale getirmiştir. Bu gelişmeler bilginin elde edilmesi, depolanması, aktarılması, işlenmesi ve kullanılması süreçlerini yöneten teknolojik yöntem, model ve araçlarda, işlem ve hesaplama gücü yüksek, taşınabilir bilgisayarlar ve donanımlarda görülmüş ve piyasada kolay bulunabilir olunmasıyla da saha uygulamalarında kullanımları artmıştır (Özgüven vd., 2020). Son yıllardaki bu hızlı teknolojik gelişmeler, tarım sektörünün çalışma ortamında köklü değişikliklere yol açmış ve tarımda başarılı üretimin anahtarının zamanında bilgiye erişim ile detaylı karar alma olduğu anlaşılmıştır. Bu nedenle, çiftlik yöneticileri araştırma ve teknolojideki en son gelişmeleri kullanarak çeşitli üretim seçenekleri arasından doğru seçimi yapmalıdır (Fountas vd., 2015). Tarımsal üretimin gelişme dönemi boyunca mekanizasyon, otomasyon, kontrol ve bilişimden sonra makine öğrenmesi, derin öğrenme, yapay zeka, modelleme ve simülasyon uygulamaları gibi bilgi teknolojilerinde görülen hızlı gelişim sonucu günümüzde gerçek zamanlı ve otomatik çalışan uzman sistemler, otonom traktör veya tarım makinaları ve tarımsal robotik uygulamaların geliştirilmesini sağlamıştır (Ozguven, 2018). Tarım robotları, tarımsal üretimde verimliliği ve ürün kalitesini artırarak, birçok zahmetli tarım işinde üretim maliyetlerini ve insan gücünü azaltarak çiftçi refahını artıracak çok önemli bir araçtır (Özgüven vd., 2016). Bu gelişmelere ek olarak, tarım endüstrilerinin artan nüfusu beslemek için giderek daha zorlu görevlere katılmak üzere kent merkezlerinden daha az insan gücünün olduğu bölgelere taşınması eğilimi vardır. Entegre otonom çiftçilik sistemlerine ulaşmak için, tarım robotları ve platformları yalnızca gerekli tarımsal görevlerin daha az insan gücüyle gerçekleştirilmesine olanak sağlamakla kalmaz, aynı zamanda faktörlere bağımlılığı azaltarak gıda kalitesini iyileştirme ve mahsuller üzerinde daha fazla kontrol fırsatı da sağlamaktadır (Oetomo vd., 2009). Tarımsal yetiştirme ve üretim alanlarının yapılandırılmaması, yapılan çalışmaların karmaşıklığı, çalışma alanları ve uygulama alanlarının çeşitliliği gibi zorluklar nedeniyle ticarileştirilebilen tarım robotu sayısı sınırlı kalmış ve bu alandaki çalışmalar genellikle akademik ve araştırma boyutunu aşmamıştır. Ancak öğrenme ve ürün geliştirme süreci devam etmektedir. Tarımsal robotların verimlilik, kalite artışı ve maliyet düşüşü gibi faydaları ve tarım robotu çalışmalarında elde edilen başarılar değerlendirildiğinde yakın gelecekte bu çalışmaların sayıca belirgin şekilde artacağı ve ticari ürüne dönüşme olanaklarının da giderek yükseleceği düşünülmektedir (Ozguven, 2023).

Dünyada tarımsal işgücü maliyetinin hızla artması, tarımsal robotlara olan ilginin ve tercihin artmasına yol açmıştır (Qiu vd., 2018). Tarımsal robotlar, geleneksel tarımsal üretim sistemlerinden daha ucuz, daha hızlı ve daha güvenlidir. Ancak, tarımsal alanlarda robotiklerin geniş ölçekli kullanımının önünde önemli teknik zorluklar bulunmaktadır. Başlıca engel, tarımsal koşullara uyarlanmış sistemlerin geliştirilmemiş olmasıdır. Çünkü endüstride ve akıllı şehirlerde kullanılan birçok otomatik ve robotik eleman tarımda kullanılamamaktadır. Ayrıca, geniş alanlardaki robotik sistemlerin uzun mesafelerde bağlanabilirliği sorunu ciddi bir sorundur. Tüm bu zorluklara rağmen, tarım robotları kaçınılmaz bir eğilimdir ve giderek daha fazla geliştirilecek ve kullanılacaktır (Albiero, 2019). Tarımsal alanlarda bulunan nem, sıcaklık, toz gibi aşındırıcı faktörlerin yanında kırsal alanlarda yaşanan iletişim sorunları gibi teknik zorluklar, tarım robotları ve akıllı tarım makinalarının geliştirilmesi önündeki engellerden bazılarıdır (Özgüven ve Közkurt, 2021).

Tarımda kullanılan otonom araçları açıklamadan, bu aşamaya gelinmesindeki süreçte yer alan bazı önemli gelişmelerden bahsedilmesi iyi olacaktır (Şekil 1). Tarım 1.0 döneminde tarımsal faaliyetler

orak, kürek gibi basit aletler kullanılarak insan ve hayvan gücüne bağlı olarak yapılırken 1850 yılında buhar makinelerinin geliştirilmesi ve tarımsal faaliyetlerde güç kaynağı olarak kullanılmaya başlamasıyla tarım makinelerinin tarihsel gelişiminde önemli olan Tarım 2.0 dönemini başlatmıştır. Otto ve dizel motorların geliştirilmesi ilk olarak buhar makineleri gibi büyük yapıtlı traktörlerin ardından 1920'lerde daha hafif yapıtlı traktörlerin üretilmesini sağladı. 1940'larda traktörlerde kuyruk mili, demir tekerlekler yerine lastik tekerleklerin kullanımı, çalışma hızlarının artması, hidrolik direksiyon, konforlu koltuklar gibi bir dizi önemli gelişme yaşandı. Tarım 3.0 dönemi 1950'lerde çok gelişmiş olmamakla birlikte ilaçlama ve gübreleme makineleri kullanılarak tarımda kimyasal uygulamaların yapılmasıyla tarımsal verimlilik de önemli artışlar görülmesiyle başlamıştır. 1904 yılında yarı iletken malzemelerin ilk uygulaması yapılmış ve bu konudaki gelişmeler 1958 yılında entegre devrelerin geliştirilmesini, 1947 yılında geliştirilen 30 ton ağırlığında ve oda büyüklüğünde olan ilk bilgisayarın, 1981 yılında masaüstü bilgisayara daha sonra günümüzde kullanılan işlem ve hesaplama gücü yüksek taşınabilir ve mini bilgisayarlara dönüşümünü sağlamıştır.



Tarım 4.0 döneminde elektronik, yazılım, sensör gibi bilgi teknolojilerinin uygulamaların yaygınlaşması ve 2000 yılında GPS'in sivil kullanılmaya açılması konum bazlı veri toplama ve hassas tarım olarak adlandırılan değişken oranlı uygulamalarının yapılabilmesini ve sonrasında otomatik dümenleme sistemlerinin geliştirilmesini sağlamıştır. Sonraki süreçte yapay zeka, robotik, IoT, otonom araçlar, drone, gelişmiş bilgisayarlar, bulut bilişim, büyük veri gibi teknolojilerin yaygın olarak kullanılması sonucu günümüzdeki teknoloji seviyesine kadar gelinmiştir. Günümüzde bu teknolojiler sayesinde otonom traktör, robot ve tarım makineleri geliştirilmeye başlanmıştır. Halen tarım makinelerinin akıllı hale getirilmesi ile gerçek zamanlı ve otomatik çalışan uzman sistemlerin geliştirilmesi çalışmaları yoğun bir şekilde yapılmaktadır. Önümüzdeki yıllarda Tarım 5.0 çalışmaları kapsamında seri üretim yerine kişisel çözümlerin ön plana çıkacağı, tarım makine ve teknolojilerinin daha akıllı ve otonom çalışma özelliği kazanacağı dönemdir. Bu dönem tam olarak başlamamıştır ancak bu döneme yönelik çalışmalar yapılmaya başlamıştır.

2. OTONOM ARAÇLAR

Akıllı tarım makinaları ve robotlarda kullanılacak yeni donanım ve yazılımların geliştirilmesiyle ortaya çıkan iki önemli özellik "Akıllı" davranış geliştirme ve "Otonom" çalışabilme özelliğidir. Akıllı olma özelliği, makina ve robotun çalışma sırasında etrafından haberdar olması ve önceden belirlenmiş durumlara göre hareket tarzı veya hızını değiştirme gibi değişikliklere kendinin karar vermesini ve kararı yine kendisinin uygulamasını içermesidir. Otonom özellik ise makina ve robotların insan müdahalesi olmadan çalışması ve güvenli çalışma için makina ve robotlara algılama, değerlendirme, karar verme, kontrol ve arıza tespiti gibi yetenekler kazandırılmasıdır (Özguven, 2023). Otomatik dümenlemeli bir traktör, çalışması sırasında bir operatöre ihtiyaç duymaktadır. Otonom bir traktör ise tarımsal ortamda bulunan çok sayıda belirsizliğe rağmen, emniyet, bilinmeyen engellerden kaçınma ve önceden belirlenmemiş görevlerin yerine getirilmesini operatörsüz kendi kendine yerine getirebilmektedir. Otonom traktörlerde hareketin kontrolü, engellerden kaçınma ve rotanın belirlenmesi için aracın konumunun doğru bir şekilde kestirilmesi ve aracın hareketi sırasında çevrenin hassas olarak algılanması gerekmektedir (Özgüven, 2018).

Otonom özelliğinin çeşitli uygulama seviyeleri bulunmaktadır. Otomotiv Mühendisleri Derneği (Society of Automotive Engineers, SAE), SAE J3016 standardında bir aracın otonom sürüş yeteneklerini altı aşama olarak tanımlamaktadır (C&T Solution INC., 2024):

- **Seviye 0 (Otonomi Yok):** Bu seviyede insan sürücü tüm sürüş görevlerini gerçekleştirmektedir. Araç basit uyarılara veya anlık yardımlara (acil frenleme gibi) sahip olabilmektedir. Ancak kontrol kesinlikle insan elindedir.

- **Seviye 1 (Sürücü Yardımı):** Bu seviyede sürücü sürüş sürecine aktif olarak katılmakta ve teknoloji insan sürücünün yerini almak yerine sabit bir hızı korumaya ve aracı şeridinde tutmaya yardımcı olan adaptif hız sabitleme ve şerit takip yardımcısı gibi sürücü asistanı özellikleri ile yalnızca yardımcı olmaktadır. Seviye 1, en düşük otonomi seviyesidir.

- **Seviye 2 (Kısmi Otonomi):** Bu seviyede araçlar Gelişmiş Sürücü Destek Sistemleri ile hem direksiyonu hem de hızlanma/yavaşlamayı kontrol edebilmektedir. Araç belirli görevleri yerine getirebilse de Seviye 2 sistemleri dikkatli bir sürücüye olan ihtiyacı ortadan kaldırmaz. Sürücü ellerini direksiyonda tutmalı (veya bunu yapmaya hazır olmalı) ve durum gerektiriyorsa hemen müdahale etmeye hazır olmalıdır.

- **Seviye 3 (Koşullu Otonomi):** Bu seviyedeki sürüş, karmaşık karar alma ve hızlı veri işleme için kameralar, radar ve LiDAR gibi gelişmiş bir sensör paketine ve güçlü yapay zeka ve makine öğrenimine dayanmaktadır. V2X gibi gelişmiş bağlantı, aracın çevresiyle ilgili farkındalığını artırmaktadır. Güvenlik, sürücünün gerektiğinde kontrolü ele almaya hazır olmasını garantilemek için yedek sistemler ve sürücü izleme ile güçlendirilmektedir. Bu seviye, sürücünün rolünü daha çok bir denetleme işlevine kaydırmaktadır. Seviye 3'teki araçlar, otoyolda veya trafik sıkışıklığında direksiyon, hızlanma, frenleme ve çevreyi izleme gibi belirli koşullar altında tüm sürüş işlevlerini gerçekleştirebilmektedir. Ancak, sistem talep ettiğinde sürücü kontrolü ele almaya hazır olmalıdır. Sistem, yeteneklerinin ötesinde bir senaryo ile karşılaştığında veya tasarlandığı koşullardan çıktığında (örneğin, otoyoldan çıkma) sürücünün kontrolü ele alması istenmektedir.

- **Seviye 4 (Yüksek Otonomi):** Bu aşamada, araçlar insan müdahalesi olmadan belirli koşullarda veya ortamlarda tamamen otonom olarak çalışabilmektedir. Ancak, yine de insan kontrolü seçeneği vardır. Dinamik yol planlama ve navigasyon yeteneğine sahip Seviye 4 araçlar, belirlenen koşullarda ve

özel alanlar, kampüsler, kent merkezleri veya belirlenmiş kamu yolları gibi kontrollü yerlerde sürücü müdahalesi olmadan çalışmaktadır. Ancak bu alanların dışında kullanım için manuel çalıştırılabilirler.

• **Seviye 5 (Tam Otonomi):** Seviye 5 otonom araçlar, bir insan sürücünün üstesinden gelebileceği her senaryoda bağımsız olarak çalışabilen, otonom sürüş teknolojisinin zirvesini temsil etmektedir. Bu, hareketli şehir trafiğinde, her türlü hava koşullarında ve çeşitli zorlu ortamlarda sorunsuz bir şekilde sürüşü kapsamaktadır. Seviye 5 araçlar, direksiyon simidi, gaz pedalı veya fren pedalı gibi geleneksel sürüş kontrollerine olan ihtiyacı ortadan kaldırmaktadır.

2.1. Otonom Araç Donanımları

Otonom araçların görevlerini yerine getirmesi sırasında istenen rotanın oluşturulması, konumlarının belirlenmesi, etraftaki engel ve nesnelere haritalanmasının doğru olarak yapılabilmesi için çeşitli sensörler ve kameralar kullanılmaktadır. Elde edilen bu verilerin işlenerek yararlı bilgiye çevrilmesi için görüntü ve video işleme algoritmaları, makine öğrenmesi, yapay sinir ağları ile istatistiksel veri analizi gibi gelişmiş karar mekanizmaları kullanılmaktadır. Otonom aracın açık alanda ve çok çeşitli ortamlarda çalışmasından dolayı bazı sensörlerden anlık veri alınamaması veya veri iletim hatalarının oluşması gibi durumlarla karşılaşılabilir. Bu durumlarda otonom aracın görevini sürdürebilmesi için farklı sensörlerin kendine özgü üstünlükleri birlikte kullanılarak bir sensör füzyonu oluşturulmaktadır. Otonom araçlarda kullanılan donanımlar aşağıda verilmektedir (Özgüven, 2018):

• **Radar Sensör:** Radyo dalgalarının çevreye yayılması ve yakınında bulunan objelerden gelen yansımaların dönüş sürelerinin hesaplanmasıyla mesafe, yükseklik, yön ve hızlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Otonom araçlarda kullanılan radar sensörler tüm hava koşullarında 250 m mesafede algılama ışının kapsadığı alandaki nesnelere hız ve uzaklığını hesaplamakta ve bu sayede çarpışmanın önlenmesi sağlanmaktadır.

• **Lazer Tarayıcı:** Nesneye lazer dalga boylu ışık göndererek ölçüm yapmaktadır. Çeşitli konfigürasyon yapılarında olmakla beraber en çok kullanılanı ışın yayan ve alan elemanların tek bir cihaz içinde olanıdır. Otonom araçlarda en çok tercih edilen lazer tarayıcı tipi SICK firması tarafından üretilen LMS 200 tip lazerdir. Bu lazer tarayıcı nesnenin lazere olan mesafesi ile nesnenin lazere göre yönünü açı cinsinden ölçmektedir (Kavak, 2008). Bu lazer tarayıcılar 180° boyunca 75 Hz'de darbeleri dönen bir lazer ışını yaymakta ve her nokta için mesafe 1° aralıklarla hesaplanmaktadır. Mesafe, algılanan nesnenin yansıtma özelliğine göre değişmekle birlikte 30 m ve 150 m arasında değişmektedir (Blackmore ve Griepentrog, 2006).

• **Lidar:** Traktörün hareketi sırasında karşılaştığı engellerin belirlenmesi amacıyla lidar sensörü kullanılmaktadır. Lidar lazer ışınlarını kullanarak bir nesne veya bir yüzeyin uzaklığını belirlemektedir. Radar teknolojisinin çalışmasına benzer olarak çalışmaktadır. Aradaki fark radyo dalgaları yerine lazer darbelerinin çevredeki objelere çarpması ve yansıma süresini kullanarak aradaki mesafe değerinin hesaplanmasıdır. Lidar ile ölçülen alanın 3 boyutlu nokta bilgileri çok kısa sürede, istenilen sıklıkta ve yüksek doğrulukta elde edilebilmektedir.

• **GPS / Ataletsel Navigasyon Sistemi (INS):** Otonom traktörün dünya üzerindeki konumuna ait koordinatların tespit edilmesi için GPS kullanılmaktadır. Ancak, GPS bu bilgileri sadece açık alanlarda kullanıcıya sağlayabilmekte ve sinyal kesilmesi ve zayıflaması durumlarında sürekli navigasyon verisi sağlanması amacıyla GPS ile INS'nin entegre edilmesi gerekmektedir. GPS ile kullanılan INS içerisinde

yer alan jiroskop ve ivmeölçerlerin kullanılmasıyla traktörün pozisyonu, lineer hareketleri ve hızı sürekli olarak ölçülebilmektedir.

•**Ultrasonik Sensör:** Otonom araçlarda destek uyarı sistemi ve park yardımı için kullanılmaktadır. Ultrasonik ses dalgasının bir nesneye temas etmeksizin gönderilip geri gelme süresine bağlı olarak mesafeyi algılayan sensörlerdir. İçerisinde bulunan piezoelektrik dönüştürücüler elektrik enerjisini ses dalgasına dönüştürerek nesneye gönderilmesini sağlamaktadır. Piezoelektrik dönüştürücülere AC elektrik verildiğinde 20 kHz ile 500 kHz arasında frekansta ses dalgaları üretmektedir. Bu frekanslarda dalgaların düzgün doğrusal şekilde ilerlemeleri ve enerjilerinin yüksek olması temas ettiği nesnelere kolayca yansımaları sağlamaktadır.

•**Kamera:** Olumsuz hava koşullarına ve aydınlatma değişikliklerine karşı hassas olmasına rağmen sahip olduğu teknoloji ve yüksek çözünürlük ile alınan karmaşık görüntülerin işlenmesiyle, otonom traktörlerin çevresinde bulunan nesnelere sınıflandırılması; doku, renk ve kontrast bilgilerinin belirlenmesi; gerçek zamanlı 3 boyutlu görüntülerinin çıkarılması yaparak çevre hakkında ayrıntılı bilgi elde edilmesini sağlamaktadır. Elde edilen görüntülerin işlenmesi sırasında büyük miktarlarda verinin kullanılması hesaplamaların yoğun olmasını ve algoritmayı karmaşık hale getirmektedir.

2.2. Otonom Traktör

Otonom bir traktör çalışması çeşitli görev ve davranışları yerine getirmesi ile olmaktadır. Görev, traktörün ilerlemesi, toprak işleme ve tohum ekimi gibi işlerin öğretilmesidir. Görevin yerine getirilme şekline ise davranış denilmektedir. İş başarısını arttırabilmek için aynı alanda çalışan çoklu araçların birbirlerinden ve diğerlerinin ne yaptığından haberdar olması ve çoklu araçların aynı anda aynı görevi paylaşabilmesi görevi nispeten kolaylaştırıcaktır. Gerçek otonom araçların geliştirilmesi için hissedilebilir ve uzun süreli davranışların birçok özelliği bulunmaktadır (Blackmore ve Griepentrog, 2006):

- ✓ Uzman sistem tarafından önceden tanımlanmış bir dizi uyarıcıya, hissedilebilir bir şekilde tepki verilmesini içeren bir dizi davranış modunun tanımlanması,
- ✓ Yakıt ikmali ve merkezi binaya dönülmesi gibi tüm görevlerin müdahalesiz yerine getirilebilmesi,
- ✓ Makinanın kendi başına çalışması yanında, etrafı içinde yıkıcı kazalar oluşturmaması için güvenli olması,
- ✓ Araç karmaşık yarı doğal bir çevre ile etkileşimde olmasından dolayı istenen görevleri yerine getirebilmesi için gelişmiş algılama ve kontrol sistemleri kullanması.

Otonom tarım makinaları özgün olarak tasarımı yapılabileceği gibi mevcut olan bir tarım makinası üzerine sonradan eklenen otomatik dümenleme sistemi, sensörler ve kameralar sayesinde otonom hale getirilebilmektedir (Özgüven, 2022). Günümüzde uluslararası firmalar tarafından değişken oranlı gübreleme, ilaçlama ve sulama yapan makina ve sistemler çiftçilere ulaştırılmaktadır. Ayrıca bitki hastalık ve zararlılarının görüntü işleme ve makine öğrenmesi yöntemleri ile otomatik tespiti çalışmaları belirgin şekilde artmaktadır. Drone'lar kullanım kolaylığı ve üzerine monte edilebilen kamera ve sensörler nedeniyle tarımda farklı amaçlar için özellikle tarımsal ilaçlama uygulamalarında kullanılmaktadır. Son yıllarda gelişmiş sensörler, bilgisayar görüşü ve makine öğrenimi

algoritmalarıyla donatılmış akıllı ve otonom tarım makineleri ve robot çalışmalarına olan ilgi artmış ve özellikle yabancı ot, meyve ve sebze hasat robotları ile süt sağım robotu ve otonom yemleme robotlarına ilgi ön plandadır (Özgüven, 2024). Dünya çapında çok sayıda ticarileşmiş otonom traktör, akıllı tarım makineleri, değişken oranlı uygulama yapan tarım makineleri, tarım robotları, drone'lar, çeşitli sensörler, kameralar, uzaktan algılama uyduları bulunmaktadır. Ayrıca dünya ve ülkemizde yapay zeka, makine öğrenmesi, görüntü işleme, makine görüşü, otonom, akıllı tarım makinesi ve robot gibi gelişmiş teknolojilerin kullanıldığı çok sayıda akademik çalışma bulunmaktadır. Dünya'da ticari olarak satılan otonom traktör marka ve modellerine örnekler aşağıda verilmiştir:

- ✓ John Deere 8R 410 Otonom Traktör,
- ✓ John Deere Paletli Elektrikli Otonom Traktör,
- ✓ John Deere Sesam 2 Elektrikli Otonom Traktör,
- ✓ Horsch Otonom Traktör,
- ✓ Lemken & Krone Otonom Traktör,
- ✓ Belarus A3523i Otonom Traktör,
- ✓ Case IH Magnum Otonom Traktör,
- ✓ New Holland T8 Raven Otonom Traktör,
- ✓ Monarch MK-V Elektrikli Otonom Traktör,
- ✓ Agxeed Otonom Traktör.

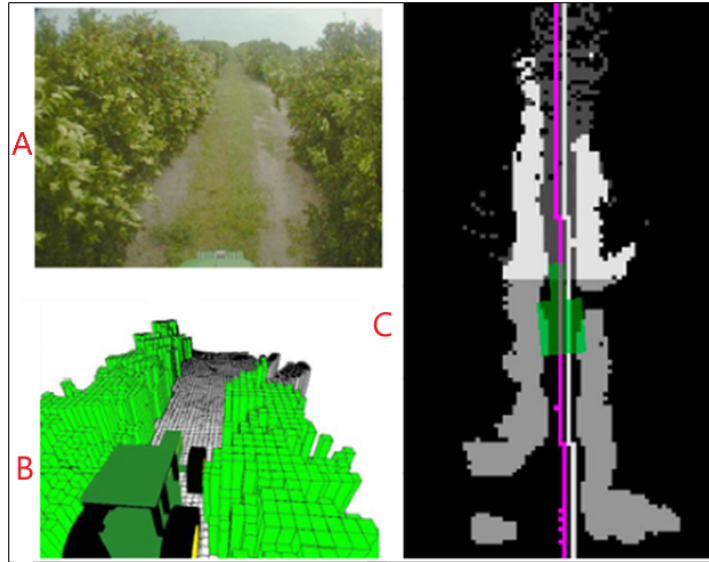
Noguchi vd., (2002) tarafından geliştirilen tekerlekli tip otonom traktör, geleneksel bir 56 kW traktör (MD77; Kubota Ltd.) modifiye edilerek geliştirilmiştir. Otonom traktör operatörsüz olarak makine hangarından kendiliğinden dışarı çıkabilmekte, tarlaya çiftlik yolu boyunca gidebilmekte, görevlerini tamamlayabilmekte ve daha sonra tek başına hangara dönebilmektedir. Otonom traktörün sürüş doğruluğu ± 5 cm olup, bu değer bir insan operatöründen daha iyidir. Çizelge 1'de geliştirilen otonom traktörün kontrol edilebilir manevralarının listesini göstermektedir (Noguchi vd., 2002; Noguchi, 2013).

Çizelge 1. Otonom traktörde kontrol edilebilir manevralar (Noguchi, 2013)

- Direksiyon
- Fren
- Motor devri ayarı (iki set: manuel ve maksimum)
- Motor durdurma
- Vites değişikliği (her iki alt vites için sekiz)
- İleri ve geri hareketleri arasında geçiş yapma
- Üç nokta askı işlevleri
- PTO anahtarı

Moorehead vd., (2012) tarafından 1300 hektarlık bir portakal bahçesinde çim biçme ve ilaçlama işlemlerini yapmak üzere çoklu otonom traktör geliştirilmiştir. Portakal bahçesinde 6,70 m genişliğinde yataklar ile 8,5 m genişliğinde drenaj için kazılan hendek çukurlarından dolayı biçme sırasında farklı büyüklükte ot biçme makinaları kullanılmaktadır. Otonom traktörün görevlerini yerine getirebilmesi için bahçede bulunan gölet, kanallar, telefon direkleri, sulama pompa istasyonları ve yollar gibi sabit engeller tanımlanarak öğretilmiştir. Çalışma sırasında araçlar, portakal toplama

kutuları ve merdivenler gibi hareketli ekipmanlar ise lazer tarayıcı, GPS ve kameraların kullanıldığı bir algılama sistemi ile belirlenmektedir. Traktörün rota takibi ve konum belirleme RTK GPS kullanılmakta, hız, direksiyon ve PTO gibi fonksiyonlar ise traktör üzerinde bulunan bilgisayar ve CAN veri yolu ile kontrol edilebilmektedir. Otonom çalışma sırasında bir sorun olması durumunda radyo frekansıyla merkezle iletişim kurulabilmektedir. Bu iletişim farklı iletişim bağlantısı üzerinden yapılmaktadır Birincisi, kritik veriler ve sinyal mesajları için düşük bant genişliği iletişimini sağlayan 900 MHz bağlantıdır. Bu iletişim bağlantısı herhangi bir sebepten dolayı düşerse, otonom traktör durmaktadır. İkinci bağlantı ise görüntülerin ve videonun iletimi için gerekli bant genişliğini sağlayan 2.4 GHz'lik bir bağlantıdır. Geliştirilen yazılım, bu bağlantı üzerinden gelen verilere göre traktörün ilerlemesi, yavaşlaması veya durdurulması kararını vermektedir. Traktörün ilerlemesi sırasında ağaç ve uzun boylu yabancı otlara doğru gitmesini önlemek ve orijinal planlanan rotasını belirlemek için gerekli yan sapmayı hesaplayan bir sıra yönlendirme algoritması kullanılmaktadır. Bu yan sapma sürekli olarak hesaplanmakta ve Şekil 2'de gösterildiği gibi takip edilmesi gereken yeni rotanın oluşturulması için ilk planlanan yola uygulanmaktadır.



Şekil 2. Rota belirleme örnekleri. A. ağaç sırası, B. hesaplanmış ağaç haritası, C. beyaz çizgi ilk planlanan yolu ve pembe çizgi ise yeni rota (Moorehead vd., 2012)

2.3. Otonom Robot

Robotlar en gelişmiş otomasyon sistemleridir. Otomasyon ile robotlar arasında temel farklılıklar vardır. Otomasyonda sensörlerden gelen veriler değerlendirilip, istenen set değere göre uygun çıkışın sağlandığı tekrarlı görevler bulunmaktadır. Robot ise mutlaka belirlenmiş bir görevi olmalı, bu görev için hareket edebilmeli, hareketi sırasında çevresini algılamalı, hareketlerini tanımlayabilmeli ve seçim yapma kabiliyetine sahip olmalıdır. Bu nedenle robot, belirli fiziksel faaliyetleri gerçekleştiren ya da görevlerin yürütülmesinde karar verme özelliği bulunan programlanabilen mekanik bir cihazdır. Kumanda edilen robotlar yanında otonom (kendi kendine, insan müdahalesi olmadan) olarak çalışan robotlar da bulunmaktadır (Özgüven, 2019a). Robot, görevinin özelliğine göre robota özel olarak tasarlanmış manipülatör, robot ve manipülatörün hareketi için gerekli gücü sağlayan eyleyiciler, robotun hareketi yanında çevrenin algılanmasını sağlayan sensörler ve robotun çalışması için tüm

hareketlerinin yönetildiği kontrol birimlerinden oluşmaktadır (Özgüven, 2019b). Otonom robotlar da bulunmakla birlikte, her robot otonom olarak çalışmamaktadır. Kumanda ile de çalışabilen robotlar, denizaltı gibi çalışması zor yerlerde veya bomba imhası gibi tehlikeli işlerde beklenmeyen veya olumsuz durumlar karşısında güvenlik amacıyla müdahale edilmesi gerektiğinde kullanılmaktadır (Ozguven, 2023).

Robotik bir araç için sürüş kontrol algoritması dört bölümden oluşmaktadır. İstenen hızı takip etmek için bir hız kontrolörü, kontrol moduna göre istenen bir yalpalama oranını veya istenen bir yörüngeyi izlemek için bir sapma momenti girişi hesaplayan bir yanal hareket kontrolörü, optimum istenen uzunlamasına lastik kuvvetini belirleyen uzunlamasına lastik kuvveti dağıtım algoritması ve her tekerlekte kayma oranını bir sınır değerinin altında tutmak ve istenen lastik kuvvetini izlemek için bir tekerlek torku komutu belirleyen bir tekerlek torku kontrolörüdür. Ayrıca optimum lastik kuvveti dağılımı ve tekerlek kayma kontrolü için uzunlamasına ve dikey lastik kuvveti tahmin edicileri gereklidir (Kang vd., 2010). Odometri (mesafe ölçümü), robotların navigasyon için kullandığı temel bir yöntemdir. Gömülü bilgisayarın dahili saatini kullanarak zamanı ölçmek kolaydır. Ancak hızı ölçmek daha zordur. Tekerleklerin dönüşlerini saymak için tekerlek kodlayıcıları kullanılmakta veya hız motorlarının özelliklerinden tahmin edilmekte ve hareket edilen mesafeden robotun yeni konumu hesaplanabilmektedir. Bir boyutta hesaplama önemsizdir. Ancak hareket dönüşleri içerdiğinde biraz daha karmaşık hale gelmektedir. Odometrinin (tekerlek kodlayıcılı veya kodlayıcısız) bir dezavantajı, ölçümlerin dolaylı olması, motorların gücünü veya tekerleklerin hareketini robotun pozisyonundaki değişikliklere bağlamasıdır. Bu, motor hızı ile tekerlek dönüşü arasındaki ilişki çok doğrusal olmayabileceği ve zamanla değişebileceği için hataya açık olabilmektedir. Ayrıca, tekerlekler kayabilmekte ve patinaj yapabilmektedir. Bu nedenle tekerleklerin hareketinin robotun hareketiyle ilişkilendirilmesi konusunda hatalar olabilmektedir. Robotun pozisyonunu belirlemek için kullanılabilen ivmeyi ve açısal hızı doğrudan ölçen bir eylemsiz navigasyon sistemi kullanılarak pozisyonun daha iyi tahminleri elde edilebilmektedir. Bir eylemsiz navigasyon sisteminde, aracın pozunun üç boyutta hesaplanabilmesi için üç ivmeölçer ve üç jiroskop bulunmaktadır. Yukarı-aşağı yönündeki bir ivmeölçer, arabanın çukura düşüp düşmediğini algılayabilmektedir. Dikey eksen etrafındaki dönüşü ölçen bir jiroskop kaymayı algılayabilirken, ön-arka eksen etrafındaki dönüşü ölçen jiroskop arabanın yuvarlanıp yuvarlanmadığını algılayabilmektedir (Ben-Ari ve Mondada, 2018).

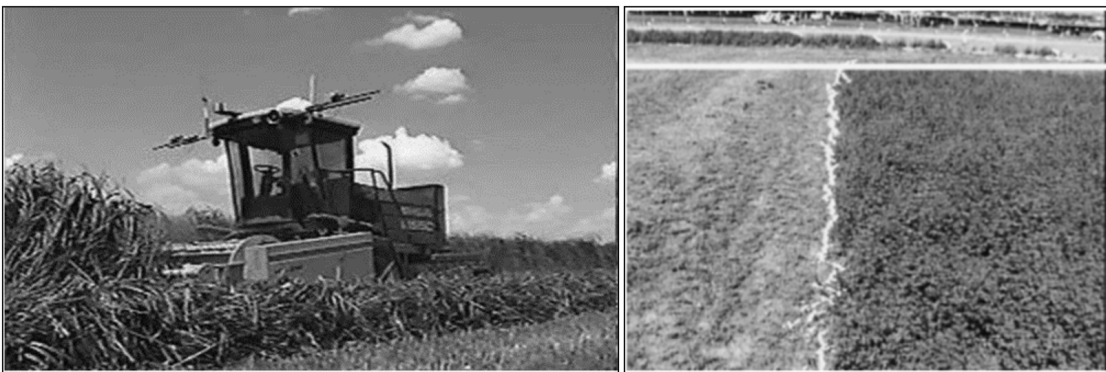
Otonom kara araçlarının navigasyonunda çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Bunların ilki insansız araçların uzaktan kumanda ile bir operatör tarafından kablosuz kontrolüdür. İkincisi ise aracın insan kontrolünden bağımsız kendi kendisini kontrol ettiği insansız otonom kara araçları (İKA, Unmanned Ground Vehicles-UGV)'dir (Kavak, 2008). Son yıllarda, insansız hava araçları (İHA, Unmanned Aerial Vehicles-UAV) olarak adlandırılan otonom kontrol cihazlarıyla donatılmış otonom insansız hava araçlarında hızlı bir gelişme yaşanmıştır. Bunlar "Otonom uçan robotlar" olarak bilinmeye başladı ve kullanımları yaygınlaştı. Askeri veya sivil kullanımlarına göre sınıflandırılabilirler. Askeri kullanımların yanında, sivil olarak tarımsal-kimyasal ilaçlama için kullanılan çok sayıda İHA'nın olağanüstü özelliklerinden yararlanılmaktadır (Nonami, 2010). İnsansız deniz araçları (İDA, Unmanned Marine Vehicles-UMV) hem sualtı hem de suüstü araçlarını kapsamaktadır. İnsansız deniz araçları genellikle Otonom Sualtı Aracı, Uzaktan Kumandalı Araç ve İnsansız Suüstü Aracı olmak üzere üç alt türde ele alınmaktadır (Tanakitkorn, 2019).

2.4. Otonom Tarım Makinalarına Örnekler

Otonom tarım makinaları, otomasyon alanındaki ilerlemeler, elektronik ve iletişim teknolojileriyle iç içe olmalarıyla fiziksel çevreyi algılayan makinalara dönüşmüşlerdir. Sürücüsüz traktörler, ayıklama robotları ve kontrollü ortam tarımı ile tarım endüstrisini modern bir ortama taşımaktadır. Otonom tarım makinaları, işgücü yoğunluğuyla ilgili endişeleri hafifletmeye, girdi maliyetlerini düşürmeye ve karlılığı artırmaya yardımcı olmaktadır (Roshanianfard ve Faizollahzadeh-Ardabili, 2024) Tarımda, operatörün tipik olarak iki ana görevi vardır. Aracı sürmek ve kabul edilebilir bir performans seviyesini garanti etmek için araçları yönetmektir. Bu seviye on yıllar boyunca büyük ölçüde değişmeden kalmıştır. Günümüzde, otonom sürüş sistemlerinin geliştirilmesi ve uygulanması iki ana unsura odaklanmaktadır (Rondelli vd., 2022):

- ✓ Otonom araçların fiziksel birimleri, sürücünün hareketlerini ve fiziksel çabasını kullanarak direksiyonu çevirmesi ve beklenen yol boyunca seyahat etmek için kolları ve pedalları çalıştırmasını içeren mekanik hareketlerin otonom hale getirilmesini içermektedir.
- ✓ Operatörün bilişsel faaliyetlerini gerçekleştiren bileşenler ise, makina ve ekipmanları harekete geçirdiği ve görevin gerektirdiği tüm manevraların kararının verildiği, dış çevrenin algılandığı, alınan karara göre makine ve dış çevreden gelen geri bildirimlerin işlenmesidir.

Pilarski vd. (2002) tarafından geliştirilen Demeter hasat makinesi robotu ile otonom olarak 40 hektardan fazla alanda yem bitkisi hasatı yapılmıştır. Demeter hasat makinesi robotu, New Holland 2250 hasat makinesi üzerine yerleştirilmiş DGPS, ataletsel navigasyon sistemi, odometri ve iki kamera eklenerek geliştirilmiştir (Şekil 3). Hasat işlemi için kamera tabanlı ve GPS tabanlı iki navigasyon sistemi birlikte kullanılarak navigasyon sistemlerinde tek başına kullanımlarında karşılaşılan hatalar ortadan kaldırılmaktadır. Şekil 3'teki beyaz çizgi, ürün biçme hattını ve ürün sırası sonuna karşılık gelen hesaplanmış görüntüyü göstermektedir. Kamera tabanlı navigasyon sistemi ürün biçme hattını izlemek, ürün sırasının sonunu algılamak ve makinenin önündeki engelleri tespit etmek için sürücü kabininin sol ve sağ taraflarına monte edilen iki renkli kameradan alınan sensör bilgilerini kullanmaktadır. Görüntü işleme bilgisayarını olarak Linux işletim sistemi çalıştıran bir Intel Pentium-II tabanlı bilgisayar kullanılmaktadır. Demeter sistemi tarafından kullanılan DGPS ünitesi bir Novatel AG20'dir. Bu sistem, konumu bitki sırasının sonundan itibaren olan mesafesinin tahmin edilmesinde kullanarak hasat makinesine göreceli bir doğrultma sağlamaktadır.



Şekil 3. Demeter otonom hasat makinesi ve ürün biçme hattı ve ürün sırası sonunun yerini belirleme (Pilarski vd., 2002).

Bangert vd., (2013) tarafından geliştirilen BoniRob (Versiyon 2) tarım robotu (Şekil 4), tarlada çalışırken, bitki fenotipinin belirlenmesi, toprak sıkışıklığının belirlenmesi ve sıralı mahsuller arasında bulunan mekanik veya kimyasal yabancı ot kontrolü yapabilmektedir. Yabancı otların mekanik olarak işlenmesi için bir aktüatöre sahiptir. Kimyasal yabancı ot kontrolü için bitkilerin yüksek kontrastlı görüntülerini yakalayabilen farklı dalga boylarında senkronize tetiklenen kameralar ve aydınlatma birimleri kullanılmaktadır. Kameralar ve aydınlatma birimleri, robotun altında gölgeli bir alana monte edilmiştir. Kamera yeşil alanları tespit etmek için kullanılmakta ve pülverizasyon memeleri, herbisitlerin yalnızca bitkilerin bulunduğu alanlara uygulanacağı şekilde kontrol edilmektedir. Bu teknoloji, homojen normdaki uygulamalara kıyasla uygulanan pestisitlerde büyük bir azalma potansiyeline sahiptir. Ayrıca robotun yerleşik uygulama modülleri ile mekanik yapısı değiştirilebilir ve farklı saha operasyonları için çeşitli işlevler için özelleştirilebilmektedir. İstenen mekanik, elektriksel ve mantıksal arayüzler robot platformuna entegre edilebilmektedir. İzleme istasyonu veya robot, drone gibi farklı araçlarla iletişim kurmak için kablolu veya kablosuz iletişim arayüzleri bulunmaktadır. İstendiğinde sürücünün robotu kontrol etmesine izin verilebilmektedir.



Şekil 4. BoniRob tarım robotu (Bangert vd., 2013)

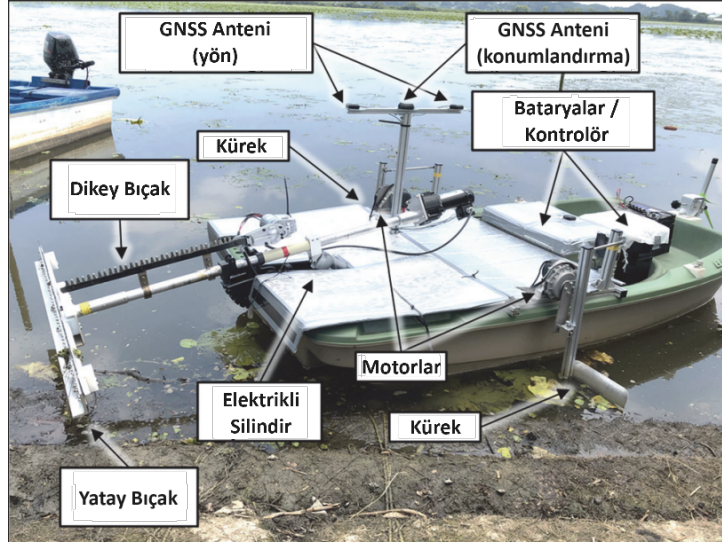
Kutyrev vd., (2022) tarafından elma toplama için bir robotik platformun otonom seviyesinin artırılması ve yerleşik verilerin entegre işlendiği bir kontrol sistemi geliştirilmiştir. Robotizasyonun ve geliştirilen kontrol sisteminin etkinliğinin belirlenmesi için en önemli üç faktörün işin otonom seviyesi, konumlandırma doğruluğu ve tanıma doğruluğu olduğu sonucuna varılmıştır. Robotik platform, dört raflı X şeklinde bir çerçeve, bir enerji kaynağı ünitesi ve bir elektrikli tahrik şanzımanından oluşmaktadır. Çalışmada, tekerlek dönüş eksenlerine sabitlenmiş dört LPD3806-600BM-G5-24C artımlı kodlayıcı ve direksiyon eksenine sabitlenmiş bir Autonics EP50S8-1024-1R-P-24 mutlak kodlayıcı (Şekil 5), tekerleklerin çevresel hızını, dönüş açısını ve kaymasını kontrol etmek için kullanılmıştır. Platformun hareketi, arka aksta monte edilmiş koaksiyel silindirik dişli motorları Transtecno ECMG600-033U vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Robotik platformun güç besleme sistemi, lityum-demir-fosfat pilleri LiFePO₄ 24 V 105 Ah'nin şarjını %20 oranında azaltırken otomatik olarak şarj eden bir sistemle donatılmış, elektrikli marşlı LIFAN S-PRO 5500 tek fazlı bir benzinli güç ünitesi bulunmaktadır. Güç besleme sistemi, 8 saatlik bir çalışma vardiyasında platformun kesintisiz çalışmasını sağladı. Platformun otomatik olarak yönlendirilmesi için, yüksek başlangıç torkuna sahip

Transtecno EC100.120.66 DC elektrik motorlu bir solucan tipi direksiyon dişlisi kullanılmıştır. Robotik cihaz üç serbestlik derecesine sahip olup, bir taban, alt ve üst kol, dişli ve kavramalı döner kremayerden oluşmaktadır. Kullanılan tahrikler, açılı sensörlü bir adım motoru, üst ve alt kol yer değiştirme aktüatörleri CAHB-22E, bum uzatma aktüatörü CALA 36A, sıkıştırma ve gevşetme aktüatörleri Wallstech 30'dur. Bağlantıların yatay ve dikey düzlemlerde hareket ederken pozisyonlarını, bacağın uzamasını ve kremayerin kendi eksenine etrafında dönmesini kontrol etmek için Holzer P3022 manyetik açılı sensörleri ve KTR 25 doğrusal hareket sensörleri tercih edilmiştir. Meyveleri kavramadan kutuya taşımak için 24 V 16 A santrifüjlü bir ekstraktörle tahrik edilen PVC spiralli bir poliüretan kılıf kullanılmıştır. STM32F207ZGT6 mikrodenetleyicisi robotik cihazın bağlantılarının konumlarını kontrol etmek ve izlemek için kullanılmaktadır. Robotik cihazın maksimum yakalama erişimi 1,5 m, bacağın sonunda maksimum yük kapasitesi 0,5 kg, rafın eksenine etrafındaki maksimum dönüş açısı 270 derecedir. Çalışmada atalet ve uydu navigasyonuna dayalı otonom bir robotik tekerlekli platformun hareketini kontrol etmek ve aşılması gereken yolun hesaplanması için bir sistem geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılım, elma bahçesindeki robotik platformun gübreleme, büyüme ve hastalık kontrolü ve meyve hasadı gibi çeşitli teknolojik işlemleri otomatik olarak gerçekleştirmesi için bir rota tasarlamaya olanak tanımaktadır. Yazılım modülünün yardımıyla, hareketin X, Y koordinatları, hızı ve azimutu verilmiş ve platformun yoğun bir bahçecilik ortamında verilen tipik dönüş yörüngeleri boyunca hareketi görselleştirilmiştir.



Şekil 5. Meyve toplama robotu (Kutyrev vd., 2022)

Kaizu vd., (2021) yaptıkları çalışmada, su bitkilerini biçmek için otonom bir tekne geliştirmişlerdir (Şekil 6). Bu otonom tekne, gerçek zamanlı RTK-GNSS tarafından otomatik olarak kontrol edilmektedir. Su bitkilerinin dolanmasını önlemek ve uzun süreli otomatik navigasyonu sağlamak için geleneksel bir pervanenin yerini alan bir kürek mekanizması bir tahrik mekanizması bulunmaktadır. Çalışmada, Japonya'nın Miyagi vilayetindeki Izunuma Gölü'nde nilüfer (*Nelumbo nucifera*) biçme işlemi, nilüfer en yoğun büyüme döneminde bile 9,4 cm'lik bir yanal sapma, 0,41 m s⁻¹ ortalama hız ve 518 W'lık ortalama güç tüketimiyle biçmenin düzgün bir şekilde yapılabileceğinin doğrulandığı bildirilmiştir. Ayrıca otonom teknenin kesme genişliğinin 1,2 m teorik alan verimi 0,133 ha h⁻¹ olarak hesaplandığı ve otonom tekneyle yapılan kesimin nilüferin büyümesini bastırmada etkili olduğu rapor edilmiştir.



Şekil 6. Su bitkilerini biçmek için geliştirilen otonom tekne (Kaizu vd., 2021)

3. TARTIŞMA

Artan gıda talebinin karşılanması amacıyla dünya genelinde dijital tarım uygulamaları kullanılarak tarımsal uygulamaların iyileştirilmesi ve işletme verimliliğinin en üst düzeye çıkarılmasına çalışılmaktadır. Gelişmiş teknolojilerin kullanılmasıyla tarımsal faaliyetlerden elde edilen bilgiler ve veriler çiftçiler tarafından anlık takip edilebilmekte ve gerekli uygulama kararları anında alınabilmektedir. Günümüz koşullarında dijital tarım uygulamalarının çiftçi ve işletmeler tarafından kullanılabilmesi teknik ve ekonomik şartlar ile nitelikli insan gücü ile doğrudan ilişkilidir. İmkanlar dahilinde tarımsal verimliliği, çiftçi gelirlerini artıracak ve tarımsal işlemleri kolaylaştıracak dijital tarım uygulamalarının geliştirilmesi ve çiftçiler tarafından yaygın kullanılabilmesi için gerekli çalışmalar ve destekler verilmelidir. Destek kapsamının belirlenmesinde ön şart dijital tarım teknolojilerinin uygulanması sonucunda mutlaka ekonomik, teknik ve çevresel faydalar sağlanmasına odaklanılmalıdır.

4. SONUÇ

Tarımsal üretimde dijital teknolojilerin kullanılmasıyla verim ve ürün kalitesinin artırılması, girdi kullanımının azaltılması ile üretici gelirlerinin artırılması, tarımsal işlerin kolaylaştırılması, doğal kaynaklar ve çevrenin korunması mümkün olabilmektedir. Bu teknolojilerin geliştirilmesi amacıyla son yıllarda akademik ve ticari çalışmalarda önemli artış görülmektedir. Uluslararası raporlara göre bazı ülkeler büyük bütçeli firmaları ile önemli ürünler geliştirerek bu alanda ön plana çıkmışlardır. Global Market Insight (2024) tarafından yapılan pazar araştırması raporunda, küresel tarımsal otonom araç pazarı büyüklüğünün 2023 yılında yaklaşık 5.9 milyar ABD doları değerinde olduğunu ve 2024 ile 2032 yılları arasında yaklaşık %17'lik bir bileşik yıllık büyüme oranıyla 2032 yılına kadar yaklaşık 23,7 milyar ABD dolarına çıkacağı tahmin edilmektedir. Ülkemizde bu teknolojilerin geliştirilmesi amacıyla çeşitli ticari ve akademik çalışmalar bulunmakla birlikte dünyadaki gelişmeler incelendiğinde, dışa bağımlılığın ortadan kaldırılması ve rakip ürünlerle rekabet edebilecek seviyede olunması amacıyla bu konudaki destek kapsamının genişletilmesi ve ASELSAN gibi yeni yapılanmaların kurulması gerekmektedir. Teknolojik makinaların çiftçilerimiz tarafından kullanılabilmesi için satın alma destekleri verilmeli veya müteahhitlik hizmetleri veren yeni organizasyonlar kurulmalıdır.

KAYNAKLAR

- Albiero, D. (2019). Agricultural Robotics: A Promising Challenge. *Current Agriculture Research Journal*, v. 7, n. 1, p. 01-03. DOI: 10.12944/carj.7.1.01
- Bangert, W., Kielhorn, A., Rahe, F., Albert, A., Biber, P., Grzonka, S., Haug, S., Michaels, A., Mentrup, D., Hänsel, M., Kinski, D., Möller, K., Ruckelshausen, A., Scholz, C., Sellmann, F., Strothmann, W., ve Trautz, D. (2013). Field-robot-based agriculture: RemoteFarming. 1 and BoniRob-Apps. VDI. *Agricultural Engineering 2013*, 439-446.
- Ben-Ari, M., Mondada, F. (2018). Robotic Motion and Odometry. In: *Elements of Robotics*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-62533-1_5
- Blackmore, B.S., ve Griepentrog, H.W. (2006). Section 4.3 Autonomous Vehicles and Robotics, pp. 204-215 of Chapter 4 Mechatronics and Applications, in *CIGR Handbook of Agricultural Engineering Volume VI Information Technology*. Edited by CIGR-The International Commission of Agricultural Engineering; Volume Editor, Axel Munack. St. Joseph, Michigan, USA: ASABE. Copyright American Society of Agricultural Engineers. (Çevirmenler: Demirciođlu, P. ve Böğrekci, İ.; Çeviri Editörleri: Tarhan, S. ve Özgülven, M.M.)
- C&T Solution INC. (2024, Ocak 23). The 6 levels of autonomous driving explained. https://www.candtsolution.com/news_events-detail/the-six-level-of-autonomous-driving-explained/
- Fountas, S., Carli, G., Sørensen, C. G., Tsiropoulos, Z., Cavalaris, C., Vatsanidou, A., Liakos, B., Canavari, M., Wiebensohn, J., ve Tisserye, B. (2015). Farm Management Information Systems: Current Situation and Future Perspectives. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.115, p.40-50. DOI: 10.1016/j.compag.2015.05.011
- Global Market Insight. (2024). Autonomous Agricultural Vehicle Market. <https://www.gminsights.com/industry-analysis/autonomous-agricultural-vehicle-market>
- Kang, J., Kim, W., Lee, J., ve Yi, K. (2010). Skid Steering-Based Control of a Robotic Vehicle with Six in-Wheel Drives. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part D J. Automob. Eng.*, 224, 1369–1391
- Kavak, D. (2008). İnsansız Kara Araçları Navigasyonunda Genişletilmiş Kalman (GKF) ve Sıkıştırılmış Genişletilmiş Kalman Filtre (SGKF) Tabanlı Slam Yöntemlerinin Geliştirilmesi ve Karşılaştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Kontrol ve Otomasyon Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi. İstanbul
- Kutyrev, A., Kiktev, N., Jewiarz, M., Khort, D., Smirnov, I., Zubina, V., Hutsol, T., Tomasik, M., ve Biliuk, M. (2022). Robotic Platform for Horticulture: Assessment Methodology and Increasing the Level of Autonomy. *Sensors*. 22(22):8901. <https://doi.org/10.3390/s22228901>
- Moorehead, S. J., Wellington, C. K., Gilmore, B. J., ve Vallespi, C., (2012). Automating Orchards: A System of Autonomous Tractors for Orchard Maintenance. <http://www.cs.cmu.edu/~mbergerm/agrobotics2012/04Moorehead.pdf>
- Noguchi, N., (2013). Agricultural Vehicle Robot. (Editors Zhang, Q. and Pierce, F.J.) *Agricultural Automation Fundamentals And Practices*. CRC Press Taylor & Francis Group
- Noguchi, N., Kise, M., Ishii, K., ve Terao, H., (2002) Field automation using robot tractor. *Proceedings of Automation Technology for Off-Road Equipment*, pp. 239-245

- Nonami, K., Kendoul, F., Suzuki, S., Wang, W., ve Nakazawa, D. (2010). *Autonomous Flying Robots Unmanned Aerial Vehicles and Micro Aerial Vehicles*. Springer. ISBN 978-4-431-53855-4.
- Oetomo, D., Billingsley, J., ve Reid, J. F. (2009). Editorial: Agricultural robotics. *Journal of Field Robotics*, v.26, n.6-7, p.501-503. DOI: 10.1002/rob.20302
- Ozguven, M. M. (2018). *The Newest Agricultural Technologies. Current Investigations in Agriculture and Current Research*. 5(1), 573-580. DOI: 10.32474/CIACR.2018.05.000201
- Ozguven, M. M. (2023). *The digital age in agriculture*. CRC Press Taylor & Francis Group LLC. ISBN 978-103-23-8577-8
- Özgüven, M. M., Tan, M., Közkurt, C., Yardım, M. H., Özsoy, M., ve Sabancı, E. (2016). Çok Amaçlı Tarım Robotunun Geliştirilmesi. *GOÜ, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 33 (Ek sayı), 108-116
- Özgüven, M. M., Türker, U., Akdemir, B., Çolak, A., Acar, A. İ., Öztürk, R., ve Eminoğlu, M. B. (2020). *Tarımda Dijital Çağ. Türkiye Ziraat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi*. Ocak 2020, Ankara. *Bildiriler Kitabı-1*, s.55-78
- Özgüven, M. M., ve Közkurt, C. (2021). *Agricultural Robots and Smart Agricultural Machinery. International Symposium of Scientific Research and Innovative Studies*. 22-25 February 2021. *Bandırma-Türkiye*. p.81-85. 978-625-44365-8-1
- Özgüven, M.M. (2018). *Hassas Tarım*. Akfon Yayınları. Ankara. ISBN: 978-605-68762-4-0
- Özgüven, M.M. (2019a). *Teknoloji Kavramları ve Farkları. International Erciyes Agriculture, Animal & Food Sciences Conference 24-27 April 2019-Erciyes University - Kayseri, Türkiye*
- Özgüven, M.M. (2019b). *Tarım Robotlarının Sürdürülebilir Tarıma Katkıları. 3. Uluslararası UNİDOKAP Karadeniz Sempozyumu*. 21-23 Haziran 2019, Tokat. *Sempozyum Kitabı*. S.354-367. ISBN: 978-605-80568-1-7
- Özgüven, M.M. (2022). Bir Tarım Makinesi Nasıl Akıllı Tarım Makinesine Dönüşür?. *AKİTEK 4.0*, 1 (1), 46-53
- Özgüven, M.M. (2024). *Tarımdaki Dijital Uygulamalar Sektöre Can Suyu Olacak Mı? Strategy*, 30. Sayı (Temmuz Ağustos Eylül 2024), 66-69, Akfen Holding
- Pilarski, T., Happold, M., Pangels, H., Ollis, M., Fitzpatrick, K. and Stentz, A. (2002), *The Demeter system for automated harvesting. Autonomous Robots* 13: 19- 20
- Qiu, Q., Fan, Z., Meng, Z., Zhang, Q., Cong, Y., Li, B., Wang, N., ve Zhao, C. (2018). Extended Ackerman Steering Principle for the coordinated movement control of a four wheel drive agricultural mobile robot. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.152, p.40-50. DOI: 10.1016/j.compag.2018.06.036
- Rondelli, V., Franceschetti, B., ve Mengoli, D. A. (2022). Review of Current and Historical Research Contributions to the Development of Ground Autonomous Vehicles for Agriculture. *Sustainability*, 14, 9221. <https://doi.org/10.3390/su14159221>
- Roshanianfard, A., ve Faizollahzadeh-Ardabili, S. (2024). *Autonomous Agricultural Vehicles Concepts, Principles, Components, and Development Guidelines*. CRC Press, ISBN: 978-1-032-27655-7
- Tanakitkorn, K. (2019). A review of unmanned surface vehicle development. *Maritime Technology and Research*, 1(1), 2-8

EXTENDED ABSTRACT

Introduction and Research Questions & Purpose

Following the stages of mechanization, automation, control, and informatics, real-time and automatic expert systems, autonomous tractors or agricultural machinery, and agricultural robotic applications have been developed during the agricultural production development period due to the rapid development of information technologies.

The current level of technology has been reached due to the widespread use of technologies such as artificial intelligence, robotics, IoT, autonomous vehicles, drones, advanced computers, cloud computing and big data. Today, thanks to these technologies, autonomous tractors, robots and agricultural machines have started to be developed. Currently, there are intensive efforts to make agricultural machinery smart and to develop expert systems that work in real-time and automatically.

In this study, autonomous vehicles are discussed and the features of autonomous vehicles are explained by giving examples of autonomous vehicles used in agriculture.

Methodology

Two important features that have emerged with the development of new hardware and software are the development of “intelligent” behavior and the ability to work “autonomously”. Intelligent behavior is the ability of the machine or robot to be aware of its surroundings during operation, decide on changes such as changing the way of movement or speed according to predetermined situations, and implement the decision itself. The ability of machines and robots to function without human assistance and to provide them with functions including sensing, assessment, decision-making, control, and problem detection for safe operation is known as an autonomous feature.

Various hardware and technologies are used in autonomous vehicles to map obstacles and objects in the surroundings, establish positions, and generate the required route properly. These sensors and systems include radar sensor, laser scanners, lidar, GPS / Inertial Navigation System, ultrasonic sensors and cameras with different features.

With advances in automation and the intertwining of electronics and communication technologies, autonomous agricultural machinery have become to perceive the physical environment. Examples of these autonomous agricultural vehicles are generally used in land, air and aquaculture applications.

Results and Conclusions

By using digital technologies in agricultural production, it is possible to increase yield and product quality, increase producer incomes by reducing input use, facilitate agricultural work, and protect natural resources and the environment. In recent years, there has been a significant increase in academic and commercial studies to develop these technologies. Although there are various commercial and academic studies for the development of these technologies in our country, when the developments in the world are examined, it is necessary to expand the scope of support and establish new structures in this field to eliminate foreign dependency. For technological machinery to be used by farmers, purchasing supports should be provided or new organizations providing contracting services should be established.

Yazarların Biyografisi

Mehmet Metin ÖZGÜVEN



1997 yılında Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümünde lisans eğitimini tamamladı. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı'nda 2000 yılında yüksek lisans eğitimini, 2009 yılında ise doktora eğitimini tamamladı. 2021 yılında Biyosistem Mühendisliği Bilim Alanında Üniversite Doçenti unvan ve yetkisini aldı. Halen Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Bölümünde Öğretim Üyesi olarak görev yapmaktadır. Hassas tarım, Akıllı-dijital tarım, Tarımda bilgi teknolojileri konularında çalışmaktadır. Adres: Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, 06135, Ankara, Türkiye. Tel: +90 312 596 1576.

İletişim mmozguven@ankara.edu.tr

ORCID Adresi <https://orcid.org/0000-0002-6421-4804>

Maksut Barış EMİNOĞLU



2007 yılında Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümünde lisans eğitimini tamamladı. 2009 yılında Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 2010 yılında yüksek lisans eğitimini, 2016 yılında ise doktora eğitimini tamamladı. 2023 yılında Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümünde Dr. Öğr. Üyesi olarak çalışmaya başladı. Halen Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Bölümünde Öğretim Üyesi olarak görev yapmaktadır. Tarım makinaları tasarımı, Tarım makinalarının saha testleri, Tarımda ergonomi konularında çalışmaktadır. Adres: Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, 06135, Ankara, Türkiye. Tel: +90 312 596 1174.

İletişim emिनoglu@agri.ankara.edu.tr

ORCID Adresi <https://orcid.org/0000-0003-3264-3636>

Ahmet ÇOLAK



1984 yılında Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Mekanizasyon Bölümünde lisans eğitimini tamamladı. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı'nda 1986 yılında yüksek lisans eğitimini, 1990 yılında ise doktora eğitimini tamamladı. 2002 yılında Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümüne Profesör olarak atandı. Halen aynı bölümde görev yapmaktadır. Hasat ve Hasat Sonrası Mekanizasyonu, Ergonomi, Biyolojik Materyallerin Teknik Özellikleri, Yenilenebilir Enerjiler ve Tarımda Kullanımları konularında çalışmaktadır. Adres: Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, 06135, Ankara, Türkiye. Tel: +90 312 596 1230.

İletişim akucolak@gmail.com

ORCID Adresi <https://orcid.org/0000-0001-5214-0644>