

ISSN 1306-0007
e-ISSN 2651-4230

TARIM MAKİNALARI BİLİMİ DERGİSİ

Journal of Agricultural Machinery Science



2025

CİLT
VOLUME

21

SAYI
NUMBER

2

Tarım Makinaları Derneği Yayınıdır
Published by Agricultural Machinery Association

DERGİMİZİN BU SAYISINI TARIM MAKİNALARI BİLİMİ ALANINDA ÇALIŞMALAR YAPARAK KATKI SAĞLAYAN DEĞERLİ EMEKLİ HOCALARIMIZA İTHAF EDİYORUZ...

Prof. Dr. Musa AYIK

Çamlıdere/Ankara’da doğan AYIK, ilkokulu 1960, orta öğretimi 1966 yılında tamamladı. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi-Tarım Makineleri Bölümünü 1970 yılında bitirdi. Doktora çalışmasını, MEB bursiyeri olarak 1971-1975 Münih Teknik Üniversitesi Tarım Teknolojileri Bölümü’nde gerçekleştirdi. Sonrasında Dr. Asistan olarak Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü’nde 1976-1981 yıllarında çalıştı. 1979-1980 yıllarında Berlin Teknik Üniversitesi Tarım Tekniği Enstitüsü’nde, 1984-1985 yıllarında Braunschweig Tarım



Araştırma Enstitüsü’nde (FAL) Alexander von Humboldt bursiyeri olarak bulundu. 1981 yılında Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümünde Doçent, 1988 yılında Profesör olarak atandı. 2008-2009 yıllarında Kırgızistan-Türkiye Manas Üniversitesi, Bişkek’te Ziraat Fakültesi kurucu üyesi olarak çalıştı. 2016 yılında emekliye ayrıldı. Akademik yaşamı süresinde Tarımda Elektrik Enerjisi Kullanımı, sıvı tarım ilaçlarının tutumlu kullanımı, sulama teknolojileri v.b. alanlarda araştırmalarda bulundu, Ürün işleme Tekniği, Hayvancılıkta Mekanizasyon, Süt İşleme Mühendisliği dallarında ders kitapları yazdı, bireysel ve ortak bilimsel makaleleri vardır, doktora ve yüksek lisans öğrencilerine danışmanlık ile bilim insanı yetiştirme faaliyetlerinde bulundu. Halen ikamet ettiği Finike/Antalya’da 2024 yılından beri TORAÇDER (Toroslar ve Akdeniz Çevre Koruma) derneğinde Tarım ve Deniz komisyonu başkanlığı yapmaktadır. İki erkek evladı ve iki kız torunu vardır.

Prof. Dr. Ali KASAP

Tokat'ın Niksar ilçesinde doğdu. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümünden 1976 yılında mezun oldu. Doktora eğitimini aynı Anabilim Dalında 1982'de tamamlamıştır. 1984-1992 yılları arasında Cumhuriyet Üniversitesi Tokat Ziraat Fakültesi'nde Yrd. Doç. Dr, 1992-1996 yılları arasında GOP Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'nde Yrd. Doç. Dr. olarak çalışmış, 1996 yılında Doçent ve 2008 yılında Profesör unvanını almıştır. 1985-2000 ve 2008-2012 yılları arasında



Tarım Makinaları Bölüm Başkanlığı, 2012-2015 yılları arasında GOP Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dekanlığı, 2009-2010 ve 2014-2017 yıllarında Rektör Yardımcılığı görevinde bulunmuştur. Tarımda Enerji Sistemleri Anabilim Dalı konularında yayınlanmış çok sayıda bilimsel yayınları vardır. 2017 yılında emekli olan KASAP, evli ve bir çocuk babasıdır.

Öğr. Gör. Dr. Muharrem ZEYTİNOĞLU

Balıkesir Susurluk'ta doğan Muharrem ZEYTİNOĞLU, 1977 yılında Ankara Devlet Mimarlık Mühendislik Akademisi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. 1985 Yılında Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları bölümünde Uzman olarak göreve başlamıştır. ZEYTİNOĞLU aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalından 1989 yılında, Yüksek Lisans, 1994 yılında Doktora çalışmasını tamamlamıştır. Uzmanlık alanı, Makine Konstrüksiyon, Tasarım, Hasat ve Harman



Makinalarıdır. 1995 yılında adı geçen bölümde Öğretim Görevlisi kadrosuna atanmıştır. Dr. ZEYTİNOĞLU emekli olduğu 2015 yılına kadar Ziraat Fakültesinde, Teknik Resim ve uzmanlık alanı ile ilgili konularda dersler vermiştir.

Prof. Dr. Yılmaz YILDIZ

Burdur doğumlu YILDIZ, ilk ve orta öğrenimini Burdur'da tamamladı. Temmuz 1977 yılında Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü'nden mezun oldu. Mezuniyet sonrası yaklaşık bir yıl, Van Tarım Meslek Lisesi ve Adana Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nde çalıştı. 21.11.1978'de Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Mekanizasyon Bölümü'ne asistan olarak girdi. 1983 yılında Doktor ünvanını aldı. 1986 yılında Yardımcı Doçent, 1989 yılında Doçent ve 1995 yılında Profesör oldu.



Akademik yaşamında, Hayvancılıkta Mekanizasyon, Hayvan Barınaklarında Çevre Denetimi konularında çalışmalar gerçekleştirdi. Çukurova Üniversitesi Ceyhan Meslek Yüksekokulu Müdürlüğü görevini yaklaşık 7 yıl yaptı. 27.01.2020 tarihinde emekliye ayrıldı. Evli ve bir çocuk sahibidir.

Prof. Dr. Yücel ERKMEN

Erzurum ili Şenkaya ilçesinde doğan ERKMEN, ilkokul ve ortaokulu Erzurum-Horasan'da, liseyi ise Erzurum Lisesi Deneme Fen Bölümünde tamamladı. 1972 yılında Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Kültürteknik ve Makina Bölümü'ne girdi. 1977 yılında mezun olduktan sonra yaklaşık bir yıl süreyle Doğu Anadolu Ziraat Araştırma Enstitüsü Bölge Müdürlüğü'nde Ziraat Yüksek Mühendisi olarak görev yaptı. 1978 yılında Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'nde asistan olarak göreve başladı. 1981 yılı



Kasım ayı ile 1982 yılı Mart ayı arasında kısa dönem askerlik hizmetini yaptı. 1983 yılında doktora eğitimini tamamladı. Doktora unvanını aldıktan sonra bölümle ilgili çeşitli dersler ve uygulamalar yürüttü. 1985 yılında İngiltere'de Reading Üniversitesi'nde kısa süreyle tarım makinaları konusunda akademik çalışmalar gerçekleştirdi. 1987 yılında Atatürk Üniversitesi Tarımsal Mekanizasyon Bölümü'nde Yardımcı Doçent kadrosuna atandı. 1988 yılında doçentlik merkezi yabancı dil sınavını başarıyla geçti. 1991-1994 yılları arasında Ziraat Fakültesi Yönetim Kurulu'nda Yardımcı Doçent temsilcisi olarak görev yaptı. 11 Ekim 1994 tarihinde Tarım Makinaları Bilim Dalında Doçentlik bilim sınavını geçerek doçent unvanı aldı. 31 Ocak 1995 tarihinde Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü Doçent, 1999 yılında ise Profesör kadrosuna atandı. Atatürk Üniversitesi Araştırma Fonunca ve TÜBİTAK tarafından desteklenen "Toprak İşleme" ve "Hasat" konularında çeşitli projeler yürüttü. Akademik hayatı süresince uluslararası ve ulusal düzeyde çok sayıda bilimsel yayını bulunmaktadır. Fen Bilimleri Enstitüsünde beş yüksek lisans ve üç doktora tezini yöneterek başarıyla tamamlamıştır. İdari görev olarak Aşkale Meslek Yüksekokulu Müdürlüğü, Tarım Makineleri bölüm başkanlığı ve Atatürk Üniversitesi Etik Kurul başkanlığı yapmıştır. 2020 yılında Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümünden emekliye ayrılmıştır. Evli ve üç çocuk babası olarak yaşamını devam ettirmektedir.

Prof. Dr. Mehmet Tunç ÖZCAN

Balıkesir doğumlu ÖZCAN, Anadolu'nun çeşitli şehirlerinde ve çok sayıda farklı okulda okudu. 1978 yılında Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Alet ve Makinaları bölümünden Ziraat Yüksek Mühendisi olarak mezun oldu. 1979 yılında Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı, Adana Mekanizasyon Eğitim Merkezinde göreve başladı. 1980 yılında Çukurova Üniversitesi Tarımsal Mekanizasyon Bölümünde Asistan olarak göreve başladı. 1983 yılında kısa dönem askerliğini tamamladı. 1985 yılında Mercimek hasat mekanizasyonu üzerinde doktorasını tamamladı. 1995 yılında Doçent, 2001 yılında Profesör kadrosuna atandı. 2017 yılında emekli olan ÖZCAN, evli ve iki erkek çocuk babasıdır.



Prof. Dr. Kamil ALİBAŞ

Lisans ve yüksek lisans eğitimini 1976 yılında Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'nde tamamlayan ALİBAŞ, 1981 yılında aynı üniversiteden doktorasını almıştır. Akademik kariyerine Ankara Üniversitesi'nde Araştırma Görevlisi olarak başlamış, ardından 1985 yılında Hacettepe Üniversitesi Zonguldak Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde yardımcı doçent olarak görev yapmıştır. 1993 yılında Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi'nde Doçent, 1997 yılında ise Profesör unvanını almıştır. 2021



yılında Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Tarımsal Enerji Sistemleri Anabilim Dalı'ndan emekli olmuştur.

Akademik çalışmaları tarımsal enerji kullanımı, biyokütle ve biyodizel üretimi, kurutma teknolojileri, yenilenebilir enerji kaynakları ve çevre dostu tarım teknolojileri üzerine yoğunlaşmıştır. Bu alanlarda yürüttüğü araştırmalar sonucunda ulusal ve uluslararası düzeyde çok sayıda bilimsel yayını bulunmaktadır. Ayrıca, birçok lisansüstü tez çalışmasına danışmanlık yapmış ve çeşitli TÜBİTAK projelerinde görev almıştır.

Çalışma hayatı boyunca hem eğitmen hem de katılımcı olarak çeşitli mesleki kurslara ve eğitim programlarına katılan ALİBAŞ, tarım teknolojilerinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması konusunda önemli katkılar sağlamıştır. Özellikle biyodizel üretimi, biyogaz sistemleri ve tarımda enerji verimliliği konularındaki çalışmaları, sektörel uygulamalara da yön vermiştir.

Prof. Dr. Erdem AYKAS

1977 yılında Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümünden Ziraat Yüksek Mühendisi ünvanı ile mezun oldu. 1977-1980 yılları arasında Siirt Ziraat Ortaokulunda çalıştı ve askerlik hizmetini yaptı. 1980-1981 yıllarında Bornova Zeytincilik Araştırma Enstitüsünde görev yaptı.

Ağustos 1981 yılında Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Kürsüsü'ne Proje Şefi olarak atanan Aykas, 1988 yılında doktora çalışmasını tamamlayarak Bilim Doktoru unvanını aldı.



Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'nde 1993 yılında Yardımcı Doçent, 1996 yılında Doçent, 2003 yılında Profesör kadrosuna atandı.

2011-2021 tarihleri arasında Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölüm Başkanlığı ve Anabilim Dalı Başkanlığı yapan Aykas, Ekim, Dikim ve Gübreleme Makinaları, Tarım Makinaları Tasarım ve Konstrüksiyonu, Koruyucu Toprak İşleme ve Doğrudan Ekim konularında çalışmalar yaptı.

Erdem AYKAS, 1989 yılında yaklaşık 2 ay süre ile İsrail'de "Agricultural Research Organization-The Volcani Center International Courses" etkinliğine, 2004-2005 yıllarında A.B.D. Auburn Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü'nde "High Residue Cover Crops, Crop Rotation and Tillage System Effect on Soil Compaction and Organic Matter" ve "Improving Rollers for Alternative Cover Crops Kill Method", ayrıca 2011 yılında 3 ay süre ile A.B.D. Auburn Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü, USDA-ARS Toprak Dinamiği Laboratuvarında "Modeling of Prediction Soil Compaction" çalışmalarına katıldı.

Erdem AYKAS'a, TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası Tarafından 2019 yılı Hizmet Ödülü verildi.

2021 yılında emekli olan Aykas evli olup, iki çocuğu ve iki torunu vardır.

Prof. Dr. İbrahim ÇİLİNGİR

Ankara’da doğan ÇİLİNGİR, ilk, orta ve lise öğrenimini Ankara’da tamamladı. 1974 yılında girdiği Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ziraat Makinaları Bölümü’nden 1979 yılında Yüksek Ziraat Mühendisi olarak mezun oldu. Aynı yıl Ziraat Alet ve Makinaları Bölümüne aiastan olarak atandı. Askerlik görevini yerine getirdikten sonra 1983 yılında doktora çalışmasını tamamladı. 1987 yılında Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Mekanizasyon Bölümü’ne Yardımcı Doçent olarak atandı ve 1989 yılında Doçent ünvanını aldı. 1995 yılında Profesörlük kadrosuna atandı. 1994 yılında Bölüm Başkan Yardımcılığı, 2018-2023 yıllarında da Bölüm Başkanlığı görevini yürütmüştür. 2023 yılında emekli olan Çilingir, evli ve bir çocuk babasıdır.



Dr. Öğretim Üyesi Gürcan YÜKSEL

Gebze'ye bağlı Denizli köyünde doğan YÜKSEL, ilkokulu Eskişehir'de, ortaokulu Ankara'da ve liseyi Balıkesir'de okudu. 1972 yılında girdiği Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ziraat Makinaları bölümünden 1977 yılında mezun oldu. 1977-1978 yılları arasında Bala Devlet Üretim Çiftliğinde çalıştı. 1978-1980 yıllarında askerlik vazifesini tamamladı. Askerlik dönüşü Ankara Devlet Üretim Çiftliği Genel Müdürlüğünde çalıştıktan 1 sene sonra Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümünde Asistan olarak göreve başladı. Doktora eğitimini



tamamladıktan sonra Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümüne Yardımcı Doçent olarak atandı. 2001 yılında kendi isteği ile emekliye ayrıldı. Evli ve iki çocuk sahibidir.

Prof. Dr. Emin GÜZEL

İlk ve orta öğrenimini Yozgat'ta tamamlayan GÜZEL, 1980 yılında Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü'nden mezun oldu. 1985 yılında Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'nde Doktorasını tamamladı, aynı bölüme 1993 yılında Doçent, 1998 yılında Profesör olarak atandı. Çok farklı ülkelerde farklı zamanlarda yurt dışı deneyimleri oldu. Çeşitli konularda kurslar ve seminerler verdi. Uluslararası toplantılarda en iyi makale ve sunum ödülleri aldı. Çukurova Üniversitesi'nde çeşitli idari görevlerde bulundu. Bilim, Teknoloji ve Sanayi Bakanlığı, TÜBİTAK, KOSGEB, DPT ve Üniversite BAP projeleri yürütücülüğü yaptı. Lisansüstü eğitim-öğretim faaliyetlerine katkı vererek Yüksek Lisans ve Doktora çalışmaları tamamlattı. Evli, iki çocuk babası ve iki torun sahibidir.



Prof. Dr. Hüseyin ÖĞÜT

Tokat'ta doğan ÖĞÜT, İlk öğrenimini Tokat'ta, Orta öğrenimini Ayancık/Sinop'ta ve Lise öğrenimini Ankara'da tamamladı. 1981 yılında Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümünden mezun oldu. 1981-1982 yıllarında Köyişleri Bakanlığında, 1982-1987 yılları arasında Tarım, Orman ve Köyişleri Bakanlığı Tarım Alet ve Makinaları Test Merkezi Müdürlüğünde mühendis olarak görev yaptı. Doktora eğitimini 1986 yılında Ankara Üniversitesinde tamamladı. 1987 yılında Selçuk Üniversitesi'ne Yardımcı



Doçent olarak atandı. Aynı bölümde 1993 yılında Doçent ve 1999 yılında Profesör oldu. Selçuk Üniversitesinde Bölüm Başkanlığı, Dekan Yardımcılığı, Meslek Yüksekokulu Müdürlüğü, Kurucu Dekanlık ve Kırgızistan-Türkiye Manas Üniversitesinde Rektör Yardımcılığı görevlerinde bulundu.

“*Biyoyakıt Dünyası*” dergisinin Bilim Kurulu Başkanlığını ve başyazarlığını yaptı. Biyoyakıtlar alanında yurt içi ve yurtdışında bilimsel etkinliklere katıldı, ulusal ve uluslararası dergilerde makaleleri yayınlandı.

Lisans öğrencileri için “*Tarım Traktörleri*”, sektöre yönelik “*Üçüncü Milenyumun Yakıtı: Biyodizel*” ve anı türünde “*Sıladan Sılaya*” kitaplarını yazdı.

FAO, AB, TÜBİTAK ve TAGEM projelerinde görev aldı. DAAD bursuyla Almanya'da bulundu. Konya Ticaret Borsasına on yıl danışmanlık yaptı. “*Traktörler İçin Aktif Güvenlik Sistemi*” başlıklı buluşu Türk Patent ve Marka Kurumu tarafından tescil edildi.

2024 yılında Selçuk Üniversitesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümünden kendi isteğiyle emekli oldu.

Dr. Öğretim Üyesi Ahmet DARGA

Karacabey'in Eskisarıbey Köyünde doğan DARGA, ilkokulu burada bitirdi. 1971 yılında Sakarya-Arifiye Öğretmen Lisesi'ne girdi ve 1977 yılında mezun oldu. Aynı yıl girdiği üniversite sınavını kazanarak Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'nün ilk öğrencilerinden oldu. 1981 yılında Lisans, 1982 yılında Yüksek Lisans eğitimini tamamladı. 20 Ağustos 1982'de aynı bölümde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. İki yıl bu bölümde çalıştıktan sonra Eylül 1984'de Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'ne geçti.



Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim dalında başladığı Doktora çalışmasını Ekim 1989'da bitirdi. Aynı yılın sonunda askere gitti ve Nisan 1991'de bu görevini tamamladı. 20 Eylül 1995 tarihinde Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'ne Yrd. Doç. olarak atandı. Bu görevini 19 Eylül 2007 tarihine kadar sürdürdü ve bu tarihte kendi isteği ile emekliye ayrıldı.

NOT: Sunulan bilgiler hocalarımızdan veya görev yaptıkları bölümlerimizden alınmış, doğum tarihlerine göre sıralanmıştır.

YIL (YEAR) 2025

CİLT (VOLUME) 21

SAYI (ISSUE) 2

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)

Anıl ÇAY

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale

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)

Aslı AYHAN ARSLAN

Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa

Ömer EREN

*Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi,
Hatay*

Seher Yusnieva KADİROVA

*University of Ruse "Angel Kanchev",
Ruse, Bulgaria*

Yüksel AYDOĞAN

*Aydın Adnan Menderes
Üniversitesi, Aydın*

Gülden ÖZGÜNALTA

*ERTUĞRUL
Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi,
Kırşehir*

Engin ÖZGÖZ

*Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi,
Tokat*

Heinz BERNHARDT

*Technical University of Munich,
Germany*

Gürkan Alp Kağan GÜRDİL

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun

Bahadır SAYINCI

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik

Sorin-Stefan BIRIS

*Politehnica University of
Bucharest, Romania*

Shoojin JUN

Hawaii University, USA

Bernhard STREIT

*Bern University of Applied Sciences,
Switzerland*

Zeynep DUMANOĞLU

Bingöl Üniversitesi, Bingöl

Shuichi YAMAMOTO

Yamaguchi University, Japan

Yabancı Dil Editörleri (English Language Editors)

Selçuk ARSLAN

*Bursa Uludağ Üniversitesi,
Bursa*

Anđan DEĞİRMENCİOĞLU

*Ege Üniversitesi,
İzmir*

Ömer ERTUĞRUL

*Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi,
Kırşehir*

Mizanpaj Editörü (Layout Editor)

İsmail BOYAR

Akdeniz Üniversitesi, Antalya

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**



CiteFactor
Academic Scientific Journals



Etik İlkeler ve Yayın Politikası (Ethical Principles and Publication Policy)

Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, yayın sürecinde tüm paydaşların (yazar, hakem, editör vb.) COPE rehberleri doğrultusunda bilimsel araştırma ve yayın etiğine uygun hareket etmesini beklemektedir. İntihal, sahtecilik, çarpıtma, mükerrer yayın, araştırma sonuçlarını parçalara ayırarak yayımlama ve haksız yazarlık gibi etik ihlallere karşı sıfır tolerans politikası benimsenmiştir. Değerlendirme süreci çift taraflı kör hakemlik esasına göre yürütülmekte olup, benzerlik denetimi için Turnitin programı kullanılmaktadır.

(The Journal of Agricultural Machinery Science expects all stakeholders (authors, reviewers, editors, etc.) to act in accordance with scientific research and publication ethics, as guided by COPE. A zero-tolerance policy is adopted against ethical violations such as plagiarism, fabrication, falsification, redundant publication, salami slicing, and unjustified authorship. The evaluation process is conducted under a double-blind peer review system, and similarity checks are performed using the Turnitin software.)

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)

Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Prunus domestica L. (Erik) ve Cornus mas L. (Kızılcık) Çekirdeğinin Karışımından Pelet Elde Edilmesi ve Biyoyakıt Olarak Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi

Obtaining Pellets from the Mixture of Prunus domestica L. (Plum) and Cornus mas L. (Cranberry) Kernels as a Renewable Energy Source and Evaluating Its Usability as Biofuel

85-103

Birol Petek

Alıç Meyvesinin Bazı Mühendislik Özellikleri

Some Engineering Properties of Hawthorn Fruit

104-120

Abdullah Sessiz, Fatıma Susen Çevik, Nadide Solamaz, Ezgi Lorin Karaer

Farklı Nem İçeriklerinin Aspir Tohumlarının Geometrik, Hacimsel, Sürtünme ve Renk Özelliklerine Etkisi

Effect of Different Moisture Contents on Geometrical, Volumetric, Frictional and Color Properties of Safflower Seeds

121-138

Şerife Aysuhan Gedik, Şaziye Dökülen, Ebubekir Altuntaş

Satellite-Based Monitoring of Vegetation and Soil Moisture Indices for Stress Detection and Irrigation Planning in a Semi-Arid Apple Orchard

Yarı Kurak İklim Koşullarında Bir Elma Bahçesinde Stres Tespiti ve Sulama Planlaması için Uydu Tabanlı Bitki Örtüsü ve Toprak Nemi Endekslerinin İzlenmesi

139-161

Alperay Altıkat

Rüzgâr Enerjisinin Türkiye Tarımına Etkisi ve Geleceği

The Impact and Future of Wind Energy in Turkish Agriculture

162-169

Buse Yılmaz, Onur Taşkın, Ali Vardar

Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak *Prunus domestica* L. (Erik) ve *Cornus mas* L. (Kızılcık) Çekirdeğinin Karışımından Pelet Elde Edilmesi ve Biyoyakıt Olarak Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi¹

Obtaining Pellets from the Mixture of *Prunus domestica* L. (Plum) and *Cornus mas* L. (Cranberry) Kernels as a Renewable Energy Source and Evaluating Its Usability as Biofuel

Birol Petek¹ 

¹T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Erzurum, Türkiye.

* Corresponding author (Sorumlu Yazar): B. Petek, e-mail (e-posta): birolpetek2016@hotmail.com

Makale Bilgisi

Alınış tarihi : 09.03.2025
Düzeltilme tarihi : 25.06.2025
Kabul tarihi : 27.06.2025

Anahtar Kelimeler:

Pelet
Biyoyakıt
Isıl Değer

Atıf için:

Petek, B. (2025). "Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak *Prunus domestica* L. (Erik) ve *Cornus mas* L. (Kızılcık) Çekirdeğinin Karışımından Pelet Elde Edilmesi ve Biyoyakıt Olarak Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi", *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 21(2): 85-103.

ÖZET

Bu çalışmada ülkemizin büyük bir bölümünde yetiştirilen erik ile kıızılcık meyvesinin işlendikten sonra genelde doğaya atılan çekirdeklerinin biyokütle (pelet) olarak değerlendirilmesi konusunda bir çalışma yürütülmüştür. Yenilenebilir enerji üretim teknikleri alanında günümüzde büyük ilerlemeler olmasına rağmen bu enerjinin üretim teknikleri geliştirilmeye ihtiyaç duymaktadır. İşlendikten sonra genelde doğaya atılan erik ve kıızılcık meyvelerinin çekirdeklerinin karışımları pelet ünitesinde sıkıştırılarak belirli bir standarda sahip katı yakıt haline getirilmiştir. Daha sonra peletlerin katı biyoyakıt olarak değerlendirilebilme olanakları araştırılmıştır. Elde edilen peletlerin fiziksel özellikleri (mekanik dayanıklılık direnci, yığın yoğunluğu) ve kimyasal özellikleri (nem içeriği, üst ısı değerini, kül miktarı tayini, yanma gazları (O₂, CO₂, CO, NO, NO_x, SO₂) belirlenmiştir. Pelet yapımında kullanılan materyalin özelliğine göre 1.2069 g ağırlığında 6.30 mm çapında, 33.69 mm uzunluğunda silindirik peletler elde edilmiştir. Çalışmada peletlerin fiziksel test sonuçları olan peletlerin yığın yoğunluğu 609 kg/m³, mekanik dayanıklılık oranı %92.2, nem alma direnci %9.6 olarak bulunmuştur. Peletlerin kimyasal test sonuçlarında ise kül yığını %2, nem miktarı %6.9, üst ısı değer pelet haline gelmemiş hammaddede 5013 Cal/g, pelet haline gelen üründe 5016 Cal/g olarak bulunmuştur. Elemental analiz sonuçlarını oluşturan yanma gazları değerleri O₂=%16.6, CO₂=%4.2, CO=82ppm, NO=110ppm, NO_x=115ppm, SO₂=0 ppm olarak tespit edilmiştir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın verilerine göre ülkemizde çıkarılan linyit kömürünün %96.6'sının ısı değeri 4000 Cal/g altında, %3.4'ünün ısı değeri ise 4000 cal/g üzerindedir. Bu oranlar dikkate alındığında, araştırmamızda elde ettiğimiz peletin (biyoyakıt) ısı değerinin "5016 cal/g" linyit kömürüne göre daha yüksek ve çevre dostu enerji kaynağı olduğu sonucuna varılmıştır.

Article Info

Received date : 22.02.2025
Revised date : 24.04.2025
Accepted date : 25.04.2025

Keywords:

Pellet
Biofuel
Calorific Value

How to Cite:

Petek, B. (2025). "Obtaining Pellets from the Mixture of *Prunus domestica* L. (Plum) and *Cornus mas* L. (Cranberry) Kernels as a Renewable Energy Source and Evaluating Its Usability as Biofuel", *Journal of Agricultural Machinery Science*, 21(2): 85-103.

ABSTRACT

In this research, a study was carried out on the utilization of the seeds of plum and cranberry fruits, which are grown in a large part of our country, as biomass (pellets), which are usually thrown into nature after processing. Although there has been great progress in the field of renewable energy production techniques today, the production techniques of this energy need to be developed. The mixture of plum and cranberry fruit pits, which are usually thrown into nature after processing, was compressed in the pellet unit and turned into solid fuel of a certain standard. Then, the possibilities of utilization of the pellets as solid biofuel were investigated. In this context, physical properties (mechanical strength resistance, bulk density) and chemical properties (moisture content, upper heating value determination, ash content determination, combustion gases (O₂, CO₂, CO, NO, NO_x, SO₂) of the pellets obtained were determined. Cylindrical pellets weighing 1.2069 g, 6.30 mm in diameter and 33.69 mm in length were obtained according to the characteristics of the material used in pellet making. The physical test results of the pellets in the study, the bulk density of the pellets was 609 kg/m³, the mechanical strength rate was 92.2%, and the dehumidification resistance was 9.6%. In the chemical test results of the pellets, ash pile was 2%, moisture content was 6.9%, upper calorific value was found as 5013 Cal/g in the raw material that was not pelletized and 5016 Cal/g in the pelletized product. The combustion gas values constituting the elemental analysis results were determined as O₂=16.6%, CO₂=4.2%, CO=82ppm, NO=110ppm, NO_x=115ppm, SO₂=0 ppm. According to the data of the Ministry of Energy and Natural Resources, 96.6% of the lignite coal mined in our country has a calorific value below 4000 cal/g and 3.4% has a calorific value above 4000 cal/g. Considering these ratios, it was concluded that the calorific value of the pellet (biofuel) obtained in our study, **5016 cal/g**, is higher than that of lignite coal and represents a more environmentally friendly energy source.

1. GİRİŞ

1.1. Biyokütle Enerji

Bitki ve hayvanlardan elde edilen, biyolojik kökenli olan organik madde kütlesine biyokütle denir. Biyokütle enerjinin kaynakları arasında orman sektöründeki odun ve odun atıkları, tarımsal atıklar, hayvansal atıklar, kentsel atıklar, çeşitli su bitkileri (su yosunları, algler vb.) yer alır. Biyokütle, enerji üretiminde kullanılacak bir kaynak olup, güç, ısı ve buhar elde etmenin yanı sıra taşımacılık sektöründe yakıt üretmek içinde kullanılabilir. Ayrıca gıda ve ağaç işleme sektörü ile hayvan yemi üretme alanında da kullanılmaktadır (Duku vd., 2011).

Günümüz dünyasında enerji ihtiyacının karşılanmasında genelde petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil kökenli yakıtlar kullanılmaktadır. Hızlı nüfus artışı ve sanayi alanındaki ülkeler arası rekabet, enerjiye olan ihtiyacı daha da artırmıştır. Bu durum fosil kökenli enerji kaynaklarının rezervlerinin azalmasına neden olmuştur. Fosil kökenli enerji kaynaklarının gelecekte rezervlerinin tükeneceği öngörülmektedir. Ayrıca fosil kökenli enerji kaynaklarının fiyatlarının artması insanoğlunu farklı enerji kaynakları arayışına itmiştir (Yolcu, 2019). Fosil kökenli enerji kaynaklarının sera gazları yaymaları sonucu küresel iklim değişikliğine yol açmaları ve dünyadaki mevcut rezervlerinin sınırlı olması gelecekte yenilenebilir enerji kaynaklarının öneminin daha da artacağını göstermektedir (Develi, 2020).

Biyokütle, çevre dostu ve yenilenebilir enerji kaynaklarından birisidir. Biyokütle enerjinin kaynaklarından olan tarımsal atıklar büyük bir paya sahiptir. Ülkemizin de büyük bir tarımsal potansiyele sahip olması, biyokütleden enerji alanında yararlanılması üzerine yapılacak çalışmaları önemli kılmaktadır (Yolcu, 2019).

Biyokütle enerjisini klasik ve modern olmak üzere iki gruba ayırmak mümkündür. Klasik biyokütle enerjisi; bağ ve bahçelerden, ormanlardan elde edilen işlenmemiş odun ve yakacak olarak kullanılan bitki (sera atıkları vb.) ve hayvan atıklarından oluşur. Bu gruptaki biyokütle kaynakları kırsal kesimde daha çok kullanılır. Modern biyokütle enerjisi ise orman ve ağaç endüstrisi atıkları, enerji ormancılığı tarım sektöründeki bitkisel atıklar, kentsel atıklar, tarıma dayalı endüstri atıkları olarak sıralanabilir (Kaplukan, 2014). Sürdürülebilir bir şekilde üretilen modern biyokütle, biyokütlenin yakıt-odun olarak geleneksel kullanımları hariç tutar ve tarımsal ve orman kalıntıları ile katı atıklardan ısı ve elektrik üretiminin yanı sıra ulaşım yakıtlarının üretiminde içerir (Demirbaş, 2007).



Şekil 1. Türkiye atık potansiyeli (Aydemir, 2017'den alınmıştır).

Şekil 1'de Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün yayınladığı "Biyokütle Potansiyel Atlası" na göre en yüksek biyokütle potansiyeline sahip kaynak %78 oranla bitkisel atıklardır. Bundan dolayı bu potansiyelin hayata geçirilmesi için gerekli yatırımlar yapılmalıdır (Aydemir, 2017).

Türkiye, güneşlenme süresi uzun, tarım arazisi potansiyeli yüksek, su kaynakları bakımından zengin ve iklim koşullarının uygun olması gibi nitelikleri ile biyokütle üretimi bakımından uygun bir ülkedir (Bayraç ve Özarslan, 2018). Türkiye ayrıca zengin tarımsal potansiyele sahip bir ülkedir. Ülkemizde yıllık ortalama toplam 54.4 milyon ton tarımsal atık mevcuttur. Tarımsal atıklarda genelde yoğunluk düşük, nem oranı yüksektir. Bundan dolayı tarımsal atıklardan enerji elde etmek için doğrudan yakma yönteminin kullanılması çok verimli değildir. Ayrıca bu tarımsal atıkların depolanma ve taşınma süreçlerinde zorluklar yaşanmakta, yoğunluklarının düşük olmasından dolayı taşıma ve depolama masrafları artmaktadır (Doğan, 2017). Bu bilgiler doğrultusunda tarımsal atıkların ülkemizde yenilenebilir enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi çok önemlidir. Bu atıklardan biyokütle enerji üretmede en çok tercih edilen şekli pelet haline getirmektir (Yılmaz, 2014).

1.2. Pelet

Pelet, hammaddenin (tarımsal atık vb.) önce kurutulması daha sonra öğütülüp talaş haline getirilmesinden sonra yüksek basınç altında sıkıştırılması sonucunda 6-12 mm çapında, 10-30 mm uzunluğunda elde edilen silindirik şeklindeki yakıt parçacıklarına denilmektedir. Pelet; ağaç kabuğu, odun yongaları, talaş, tarımsal ürünler, buğday vb. ekinlerin sapları, ceviz, fındık ve badem kabukları, atık kâğıt (karton vb.), şeker pancarı küspesi, mısır koçanları, ayçiçeği çenekleri, kurutulmuş kiraz ve zeytin gibi meyvelerin çekirdekleri ile birçok atık ürünlerden üretilebilmektedir (Severoğlu, 2010). Şekil 2’de farklı biyokütle ürünlerden elde edilmiş pelet örnekleri görülmektedir (Küsek vd., 2015).



Şekil 2. Biyopeletler

Peletler kimyasal bağlayıcı madde katarak ya da katmadan da yüksek basınç altında oluşturulurlar. Peletleme yöntemi ile biyokütlenin nitelikleri iyileşmekte, hacimsel ısı değeri yükselmekte, yanma özelliği daha da düzeltmekte, taşıma ve depolama maliyetleri azalmakta, sobalarda daha kolay yakılabilmekte, atmosferi kirleten partikül emisyonları (CO vb.) azalmakta, belli bir standarda sahip iyi bir yakıt elde edilmektedir. Örneğin odundan elde edilen pelet, aynı ağırlıktaki işlenmemiş yakacak oduna göre ısı değeri daha fazladır, daha temizdir ve yakacak oduna göre daha uzun süre yanma özelliğine sahiptir (Öztürk, 2012). Tablo 1’de peletlerin ve briketlerin özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir (Tüzün, 2012).

Tablo 1. Pelet ve briketlerin özelliklerinin karşılaştırılması

Özellikler	Peletler	Briketler
Isıl Değeri	4300-5000 kcal/h	5500-6000 kcal/h
Yoğunluk	650-700kg/m ³	650-700kg/m ³
Çap	6-16 mm	65 mm
Uzunluk	20-30 mm	25 – 200 mm
Kül içeriği	% 0.4-1.0	%1.81
Rutubet	% 7-12	% 7-12

Tablo 1’de görüleceği gibi peletler yaklaşık olarak %7-12 arasında nem içermektedir. Pelet haline gelmiş biyoyakıtta nem içeriği düşük olduğu için yakacak oduna göre kalorisi daha yüksektir.

Bu çalışma, ülkemizin büyük bir bölümünde yetiştirilen erik ile kıvılcık meyvesinin çekirdeklerinin karışımından pelet elde ederek bunun biyoyakıt olarak kullanılabilirliğini belirlemek için yapılmıştır. Çalışmamızın alt amaçları ise;

- Peletlerin fiziksel, kimyasal özelliklerini belirlemek,
- Araştırma kapsamında elde edilecek peletlerin ısı ve gaz emisyon değerlerini belirlemek,
- Erik ve kıvılcık meyvesinin tarımsal atıkları olan çekirdeklerinin sıfır (0) atık kapsamında ülkemizde yaygınlaşmasını sağlamak
- Fosil kökenli yakıtlara alternatif olabilecek yenilenebilir temiz bir enerji kaynağı geliştirerek, ülkemizin enerjide dışa bağımlılığının azaltılmasına bir çözüm önerisi sunmaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Bu araştırma, Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü’ne bağlı, Enerji Tarımı Bölümü Biyoyakıt Laboratuvarı ile Atatürk Üniversitesi bünyesinde bulunan Kimya Bölümü Laboratuvarında yürütülmüştür. Bu çalışmada materyal olarak Erzurum Tortum ilçesinin Suyatağı Mahallesi ile Bağbaşı (haho) Mahallesi’nden temin edilen erik ile kıvılcık çekirdeklerinin karışımı kullanılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Kurutulmuş erik ve kıvılcık çekirdeği karışımı

Öğütme ve peletleme işleminden önce materyal uygun nem içeriğine getirilmiştir. Materyalin parçalama işleminde çekiçli değirmen kullanılmıştır. Bu çekiçli değirmen; 60 cm’lik materyal besleme ünitesine, 22 kw motor gücüne ve 4 mm’lik eleğe sahiptir (Şekil 4).



Şekil 4. Çekiçli değirmen

Materyalin peletlenmesinde 6 mm pelet çapına sahip pelet makinası kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan bu peletleme makinası dairesel sıralı delikli düz kalıp, sıkıştırma silindirleri ve pelet boyu ayarlama ünitesinden oluşmaktadır (şekil 5).



şekil 5. Pelet makinası

Peletlerin dayanıklılık direnci TS EN ISO 17831-1 standardına göre yapılmıştır. Motor gücü 0.5 BG, “peletlerin yerleştirileceği kafes ölçüleri 300x300x125 mm ve kafes i merkezine çapraz simetrik olarak yerleştirilen 50 mm eninde 230 mm uzunluğunda bir levhaya sahip dayanıklılık test cihazı” kullanılarak peletlerin dayanıklılık değerleri ölçülmüştür (şekil 6).



şekil 6. Pelet dayanıklılık test cihazı

Peletlerin st ısı değerleri TS EN ISO 18125 standardına uygun kalorimetre cihazı kullanılarak ölçülmüştür (şekil 7). Pelet yakıtlarının st ısı değeri cal/g cinsinden bulunmuştur.



şekil 7. Kalorimetre cihazı

Peletlerin kül içerikleri TS EN ISO 18122 standardına uygun kül fırını kullanılarak belirlenmiştir. Baca gazı emisyon değerlerinin ölçümü için ise Şekil 8'de verilmiş olan pelet sobası ve 5 adet elektrokimyasal sensöre sahip baca gazı analiz cihazı kullanılmıştır. Ölçüm cihazı ile O_2 , CO_2 , CO , NO , NO_x , SO_2 emisyon değerleri hesaplanmıştır.



(a)



(b)

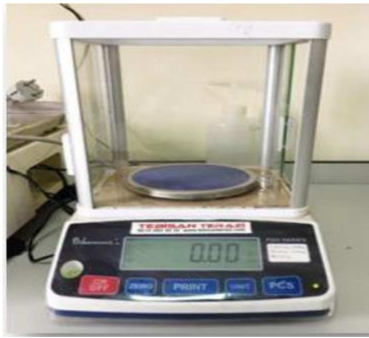
Şekil 8. Pelet sobası (a) ve baca gazı emisyon cihazı (b)

Peletlerin yığın yoğunluklarını belirlemek için TS EN ISO 17828 standardına sahip kalıp kullanılmıştır. Yığın yoğunluğunu belirleme yönteminde peletler 5 lt hacme sahip kap içerisine doldurulmuş ve sonra bu kap üç kez yaklaşık 15 cm yükseklikten serbest olarak sert zemine bırakılmıştır. Bu işlemi takiben düz ve uzun bir ahşap malzeme ile kabın üst kısmındaki fazla pelet örnekleri kabın dışına itilmiş ve kabın üst kısmında oluşan daha büyük boşluklar el ile doldurulmuştur (Şekil 9).



Şekil 9. Pelet yığın yoğunluğunu belirleme işlemi

Peletlerin ağırlıklarının ölçülmesinde hassas terazi kullanılmış ve peletlerin uzunluk ve çap ölçümleri dijital kumpas yardımıyla tespit edilmiştir (Şekil 10).



(a)



(b)

Şekil 10. Elektronik hassas terazi (a), dijital kumpas (b)

2.2. Yöntem

Erzurum ilinin Tortum ilçesine bağlı Suyatağı Mahallesi ile Bağbaşı (haho) Mahallesi'nden temin edilen erik ve kıvılcık çekirdeği tarımsal atıkları açık ortamda sert bir zemin üzerine serilmiş ve yaklaşık 1 ay boyunca kurutulmuştur. Daha sonra bu materyal peletleme için Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Enerji Tarımı Araştırma Merkezi'ne sevk edilmiştir. Tarımsal çekirdek atıkları

%30 EÇ+%70 KÇ oranında karıştırılarak işleme alınmıştır. Materyallerin nem içerikleri %10'un altında olduğu tespit edilince çekiçli değirmende 4 mm inceliğinde ön öğütme yapılmış, peletleme işlemi için uygun boyutlara getirilmiş ve peletleme işlemi başlayınca kadar kapalı çuvallar içinde hava almayacak şekilde bekletilmiştir. Ortalama nem içeriği %8-10 materyal ile peletleme yapılmıştır. Peletleme işlemine geçmeden önce erik ve kıvılcık meyvesinin çekirdekleri ile pelet makinasında yaklaşık 13 dakika çalışılmış ve kalıp sıcaklığı yaklaşık 70-80 C° sıcaklığa yükseltilmiştir. Bu işlemden sonra tarımsal atık materyali, pelet makinasında materyali kıran diskin bulunduğu materyal deposuna aralıksız şekilde bir kürek yardımı ile doldurulmuştur. Pelet makinasının kalıp deliklerindeki kesit daralmasına bağlı olarak peletler silindirik halde çıkmaya başlamıştır. Üretilen peletlerin uzunluğu yaklaşık 3-4 cm'dir. Böylece peletleme işlemi tamamlanmıştır. Elde edilen peletler Şekil 11'de verilmiştir



Şekil 11. Erik ve kıvılcık meyvesinin çekirdeklerinin karışımından elde edilen peletler

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

3.1. Pelet Ağırlık, Çap ve Uzunluk Değerleri

Peletlerin çap, uzunluk ve ağırlık değerlerine ilişkin analiz sonuçlarının görünümüleri (Şekil 12).



(a)



(b)

Şekil 12. Peletlerin uzunluk değeri (a), peletlerin çap değeri (b)

Avrupa Pelet Konseyi'nin belirlemiş olduğu ENplus-A1, ENplus-A2 ve EN-B sınıflarına ait pelet standartlarında pelet uzunluğunun 3.15-40 mm arasında, pelet çap değerinin ise 6-9 mm arasında olması gerektiği belirtilmiştir. Erik ve kıvılcık meyvesinin çekirdeklerinin karışımından elde edilen peletin ağırlık değeri 1.2069 g, uzunluk değeri 33.69 mm, çap değeri 6.30 mm olarak tespit edilmiştir. Peletlerin çap ve uzunluk değerleri Avrupa Pelet Konseyi'nin belirlediği standartlara uygundur. Sezer (2022) tarafından yapılan çalışmada peletlerin çapları 7.89-8.15 mm aralığında, uzunluk değerleri ise 14.66-33.69 mm aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Sezer (2022) tarafından bulunan pelet uzunluk değeri bu araştırma sonucuyla benzerlik göstermektedir. Elfakı (2024) tarafından yapılan çalışmada farklı katkı maddeleri içeren domates bitkisinden elde edilen peletlerin uzunluk değeri 40.67-48.44 mm arasında, pelet ağırlık değerleri 1.64-1.85 g arasında, pelet çaplarının ise 6.02-6.05 mm arasında değiştiği tespit edilmiştir. Bu çalışmada tespit edilen pelet uzunluk ve ağırlık değerleri Elfakı (2024) tarafından elde edilen sonuçlardan düşük, pelet çap değerleri ise yüksektir. Bu farklılığın oluşmasında peletlenen hammaddenin özelliklerinin etkili olduğu düşünülmektedir.

3.2. Pelet Mekanik Dayanıklılık Direnci

Pelet dayanıklılık direnci peletlerin taşınması sürecinde çok önemlidir. İmalat endüstrisinde dayanıklılık direnci yüksek olan peletler, kalitesi yüksek peletler olarak kabul edilmektedir (Kaliyan ve Morey, 2009). Peletlerin dayanıklılık direnci test sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Peletlerin mekanik dayanıklılık direnci test sonuçları

<i>Numune</i>	<i>Mekanik dayanıklılık direnci (%)</i>
%30 EÇ+%70 KÇ	92.2

Tablo 2'de görüldüğü gibi peletlerin dayanıklılık direnci %92.2 bulunmuştur. Tabil ve Sokhansanj (1997) peletlerin mekanik dayanıklılık direncinin %80 ve üzeri olduğu durumlarda pelet kalitesinin iyi olduğunu belirtmişlerdir. Fakat Avrupa Pelet Konseyinin açıklamış olduğu B sınıfı pelet standartlarında odun paletlerinin dayanıklılık direncinin ≥ 97.5 olması gerektiği belirtilmiştir. Avrupa Pelet Konseyi'nin açıklamış olduğu standart değerler dikkate alındığında (Tablo 3) erik ve kıvılcık çekirdeği karışımından elde edilen peletlerin Avrupa Pelet Konseyi'nin açıklamış olduğu standartlara uygun olmadığı görülmüştür.

Miranda vd. (2012) pelet nem oranının yüksek olmasının peletlerin dayanıklılık direncini düşürdüğünü ve pelet üretim denemelerinde kullanılan materyalin çeşidine, karışım oranlarına ve peletlerin bünyesindeki nem içeriğine bağlı olarak dayanıklılık direncinin %85.83-%97.08 aralığında değiştiğini belirtmişlerdir. Sezer (2022) tarafından yapılan çalışmada peletlerin mekanik dayanıklılık direnci %82.2-96.9 aralığında bulunmuştur. Bu çalışmada dayanıklılık direnci için elde edilen sonuçlar Tabil ve Sokhansanj (1996), Miranda vd. (2012), Sezer (2022) tarafından elde edilen sonuçlarla paralellik göstermektedir. Erdem (2023) tarafından yapılan çalışmada şeker pancarı atıklarından elde edilen peletlerin mekanik dayanıklılık direnci; farklı nem oranı, öğütme inceliği ve çapa bağlı olarak 94.13- 98.03 aralığında tespit edilmiştir. Akpınar (2023) tarafından yapılan çalışmada %8-10 ve %10-12 nem içeriğinde çerezlik kabak tarımsal atıklarından elde edilen peletlerin mekanik dayanıklılık değerleri %88.08-97.45 aralığında tespit edilmiştir. Elfakı (2024) tarafından yapılan çalışmada farklı katkı maddesi içeren domates hasat atıklarından elde edilen peletlerin dayanıklılık direnci %89.10-96.90 aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Bu çalışmada

tespit edilen dayanıklılık direnci değeri Akpınar (2023) ve Elfakı (2024) tarafından tespit edilen değerlerin bazılarında düşük bazılarında yüksek çıkmıştır. Bu farklılığın oluşmasında bu araştırmada hammaddenin tek bir nem oranı içeriğinde paletlenmesinin etkili olduğu düşünülmektedir. Avrupa pelet konseyi tarafından belirlenen pelet parametreleri ve standartları Tablo 3'te verilmiştir (ENplus, 2022).

Tablo 3. Avrupa pelet konseyi tarafından belirlenen pelet parametreleri ve standartları

Property	Unit	ENplusA1	ENplusA2	ENplusB	Testing standard
Çap	mm	6 ± 1 or 8 ± 1			ISO 17829
Uzunluk	mm	3,15 < L ≤ 40 ⁴⁾			ISO 17829
Nem	w-% ²⁾	≤ 10			ISO 18134
Kül	w-% ³⁾	≤ 0,7	≤ 1,2	≤ 2,0	ISO 18122
Mekanik dayanıklılık	w-% ²⁾	≥ 98,0 ⁵⁾	≥ 97,5 ⁵⁾		ISO 17831-1
Katkı maddesi (< 3,15 mm)	w-% ²⁾	≤ 1,0 ⁶⁾ (≤ 0,5 ⁷⁾			ISO 18846
Peletlerin sıcaklığı	°C	≤ 40 ⁸⁾			
Net ısııl değer	kWh/kg ²⁾	≥ 4,6 ⁹⁾			ISO 18125
Kütle yoğunluğu	kg/m ³²⁾	600 ≤ BD ≤ 750			ISO 17828
Katkı maddeleri	w-% ²⁾	≤ 2 ¹⁰⁾			-
Azot	w-% ³⁾	≤ 0,3	≤ 0,5	≤ 1,0	ISO 16948
Kükürt	w-% ³⁾	≤ 0,04	≤ 0,05		ISO 16994
Klor	w-% ³⁾	≤ 0,02		≤ 0,03	ISO 16994
Küldeformasyon sıcaklığı	°C	≥ 1200	≥ 1100		CEN/TC 15370-1
Arsenik	mg/kg ³⁾	≤1			ISO 16968
Kadmiyum	mg/kg ³⁾	≤ 0,5			ISO 16968
Krom	mg/kg ³⁾	≤10			ISO 16968
Bakır	mg/kg ³⁾	≤10			ISO 16968
Kurşun	mg/kg ³⁾	≤10			ISO 16968
Cıva	mg/kg ³⁾	≤ 0,1			ISO 16968
Nikel	mg/kg ³⁾	≤10			ISO 16968
Çinko	mg/kg ³⁾	≤100			ISO 16968

3.3. Pelet Yığın Yoğunluğu Değerleri

Erik ve kıvılcık meyvesinin çekirdeklerinin karışımından elde edilen peletlerin yığın yoğunluk değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Pelet yığın yoğunluğu değerleri

Numune	Yığın yoğunluğu(kg/m ³)
%30 EÇ+ %70 KÇ	609 kg/m ³

Tablo 4'te görüldüğü gibi pelet yığın yoğunluğu 609 kg/m³ olarak tespit edilmiştir. Avrupa Pelet Konseyi tarafından belirlenen ENplus-A1, ENplus-A2 ve EN-B sınıfı pelet standartlarında pelet yığın yoğunluğunun $600 \leq BD \leq 750$ kg/m³ olması gerektiği belirtilmiştir. Erik ve kıvılcık meyvesinin çekirdeklerinin karışımından elde edilen peletlerin bu değer aralığında olduğu görülmektedir. Sezer (2022) tarafından yapılan çalışmada pelet yığın yoğunluğu 517.12-617.79 kg/m³ aralığında, Topkoç

(2023) tarafından yapılan çalışmada en düşük pelet yoğunluğu 970 kg/m^3 ile kavak+kozalak peletinde, en yüksek pelet yoğunluğu 1270 kg/m^3 ile fındık küspesi peletinde tespit edilmiştir. Elfakı (2024) tarafından yapılan çalışmada en düşük yığın yoğunluğu 567.00 kg/m^3 ile katkısız peletlerde (KP), en yüksek yığın yoğunluğu ise 624.67 kg/m^3 ile sepiyolit ilaveli pelette (SP) tespit edilmiştir. Bu araştırmada elde edilen pelet yığın yoğunluğu değeri literatürle hem benzerlik hem de farklılık göstermektedir. Bu farklılığın oluşmasında peletlenen hammadde olan erik ve kıvılcık çekirdeklerinin hiçbir katkı maddesi olmadan ve farklı tarımsal atıklarla karıştırılmadan peletlenmesinin etkili olduğu düşünülmektedir. Tablo 5’de peletlerin nem alma direnci sunulmuştur.

3.4. Pelet Nem Alma Direnci Değerleri

Tablo 5. Peletlerin nem alma direnci değerleri

<i>Numune</i>	<i>Nem alma direnci (%)</i>
%30 EÇ+%70 KÇ	9.6

Peletlerin taşınması ve depolanmasında nem oranının yüksek olması pelet kalitesini olumsuz etkilemektedir (Kaliyan ve Morey, 2009). Peletlerin depolanması sürecinde nem alması peletlerin dayanım dirençlerini azaltmaktadır. Peletlerin sertlik düzeyinin yüksek olması kaliteli bir pelet için aranan özelliklerden biridir (Celma vd., 2012). Peletlerin nem içeriği arttığı zaman pelet yoğunluğu düşer ve peletlerin dirençleri azalır (Zamarona vd., 2011). Yılmaz (2014) tarafından yapılan çalışmada peletlerin nem içerikleri %7-8 aralığında bulunmuş ve nem içeriğinin %10’un altındaki peletlerin ortam koşullarından fazla etkilenmeden depolanabileceği belirtilmiştir. Akpınar (2023) tarafından yapılan çalışmada peletlerin nem alma direnci %8-10 nem içeriğine sahip peletlerde %7.63-12.13 aralığında, %10-12 nem içeriğine sahip peletlerde %6.42-9.53 aralığında tespit edilmiştir. Erdem (2023) tarafından yapılan çalışmada pelet nem alma direnci %6.53-13.22 aralığında, Elfakı (2024) tarafından yapılan çalışmada ise peletlerin nem alma direnci %7.12-9.21 aralığında tespit edilmiştir. Bu araştırmada elde edilen pelet nem alma direnci değeri literatürde bildirilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir.

3.5. Pelet Kül Değeri

Tablo 6. Peletlerin kül değeri

<i>Numune</i>	<i>Kül değeri (%)</i>
%30 EÇ+ % 70 KÇ	2

Tablo 6’da görüldüğü gibi pelet kül değeri %2 olarak bulunmuştur. Avrupa Pelet Konseyi pelet kül içeriğiyle ilgili 3 standart belirlemiştir. ENplus- A1 için kül değeri ≤ 0.7 , ENplus-A2 için kül değeri ≤ 1.2 ve EN-B sınıfı peletler için ≤ 2.0 değerlerinde olması gerektiği belirtilmiştir. Erik ve kıvılcık meyvesinin çekirdeklerinin karışımından elde edilen peletin kül değeri olan %2’lik değer EN-B standardına uygundur. Sezer (2022) tarafından yapılan çalışmada peletlerin kül içeriği değerleri %3.4-4.7 aralığında bulunmuştur. Topkoç (2023) tarafından yapılan çalışmada farklı materyallerden elde edilen peletlerin kül oranı %0.54-18.47 aralığında tespit edilmiştir. Erdem (2023) tarafından yapılan çalışmada şeker pancarından elde edilen peletlerin kül içeriği %7,28 olarak, Akpınar (2023) tarafından yapılan çalışmada ise çerezlik kabak tarımsal atıklarından elde

edilen peletlerin kül içeriği %8.24, Altun (2025) tarafından yapılan çalışmada ağaç atığı peletlerinde kül oranı %2.92, çimen+yaprak peletlerinde ise %15.51 olarak tespit edilmiştir. Bu araştırmada tespit ettiğimiz pelet kül değeri Erdem (2023), Akpınar (2023), Altun (2025) tarafından tespit edilen değerlerden daha düşük çıkmıştır. Bu sonuç bu araştırmada elde edilen peletin kalitesi hakkında bilgi vermektedir.

3.6. Pelet Nem Miktarı

Tablo 7. Pelet nem miktarı

<i>Numune</i>	<i>Nem miktarı (%)</i>
%30 EÇ+ %70 KÇ	6.9

Tablo 7’de görüldüğü gibi pelet nem miktarı %6.9 olarak bulunmuştur. Avrupa Pelet Konseyi tarafından belirlenen ENplus –A1, ENplus-A2 ve EN-B sınıfı olmak üzere 3 farklı standart tanımlamış ve tüm standartlarda peletlerin nem içeriklerinin ≤ 10 olması gerektiği belirtilmiştir. Erik ve kıvılcık meyvesinin çekirdeklerinin karışımından elde edilen peletin nem değeri Avrupa Pelet Konseyi tarafından belirtilen standartlara uygundur. Sezer (2022) tarafından yapılan çalışmada peletlerin nem içeriği değerleri %7.38-9.14 aralığında bulunmuştur. Topkoç (2023) tarafından yapılan çalışmada farklı materyalden yapılmış peletlerde nem oranı %6.06-17.22 aralığında tespit edilmiştir. Bu sonuç, bu araştırmada pelet örneğinde tespit edilen nem miktarı değeriyle uyumlu bulunmuştur. Altun (2025) tarafında yapılan çalışmada çimen+yaprak peletinde nem miktarı %7.65, ağaç atığı peletlerinde ise %7.35 olarak bulunmuştur. Kaliteli bir peletin nem oranı genelde %10’un altında olmalıdır. Düşük nem oranına sahip peletler daha verimli yanar ve daha az kül üretir.

3.7. Pelet Üst Isıl Değeri

Tablo 8. Pelet üst ısı değeri

<i>Numune</i>	<i>Üst ısı değeri (cal/g)</i>
Hammadde	5013
Pelet	5016

Tablo 8’de görüldüğü gibi hammaddede (erik ve kıvılcık çekirdeğinin işlenmemiş hali) üst ısı değeri 5013 cal/g, pelet haline gelmiş üründe 5016 cal/g olarak bulunmuştur. Hammaddenin ve peletlerin ısı değeri kalorimetre cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Avrupa Pelet Konseyi pelet standartlarıyla ilgili olarak üç farklı standart belirlemiş ENplus –A1, ENplus-A2 ve EN-B ve tüm standartlarda peletlerin $\geq 4.6=16\text{MJ/kg}=3821.5\text{ cal/g}$ olması gerektiği belirtilmiştir. Erik ve kıvılcık meyvesinin çekirdeklerinin karışımından elde edilen peletin ısı değeri 5016 cal/g=21.0 MJ/kg Avrupa Pelet Konseyi’nin belirlediği standartlara uygundur. Sezer (2022) tarafından yapılan çalışmada defne karışım peletlerin üst ısı değerleri 4556-4826 kcal/kg aralığında, Topkoç (2023) tarafından yapılan çalışmada peletlerin üst ısı değeri 3797-4741 kcal/kg aralığında, Erdem (2023) tarafından yapılan çalışmada 3733 cal/g, Akpınar (2023) tarafından yapılan çalışmada 4099 cal/g olarak bulunmuştur. Altun (2025) tarafından yapılan çalışmada ise çimen+yaprak peletinde üst ısı değeri 3834 cal/g, ağaç atık peletinde 4643 cal/g olarak tespit edilmiştir. Bu araştırmada erik ve

kızılçık çekirdeklerinin karışımından elde edilen peletin üst ısı değeri (5016 cal/g) literatürde bildirilen değerlerden yüksektir. Bu farklılığın oluşmasında özellikle kızılçık çekirdeğinin kimyasal yapısı ve yanma özelliğinin etkili olduğu düşünülmektedir.

3.8. Pelet Yanma Gazları Değerleri

Erik ve kızılçık meyvesinin çekirdeklerinin karışımından elde edilen peletlerin yanma gazları değerleri Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Pelet yanma gazları değerleri

O_2 (%)	CO_2 (%)	CO (ppm)	NO (ppm)	NO_x (ppm)	SO_2 (ppm)
16.6	4.2	82	110	115	0

Tablo 9’da görüldüğü gibi pelet yanma gazları değerleri $O_2=16.6$, $CO_2=4.2$, $CO=82$ ppm, $NO=110$ ppm, $NO_x=115$ ppm, $SO_2=0$ ppm olarak tespit edilmiştir. Araştırmada elde edilen peletlerin yanma gazları (baca gazları) emisyon değerleri ısınmadan kaynaklanan hava kirliliği kontrolü yönetmeliğinde biyokütle yakıtı için belirtilen üst sınır değerlerin altında kalmıştır. Tablo 10’da IKHKY (Isınmadan Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü) baca gazı emisyon sınır değerleri verilmiştir (Yolcu, 2019).

Tablo 10. IKHKY baca gazı emisyon sınır değerleri

O_2 (%)	CO_2 (%)	CO (ppm)	NO (ppm)	NO_x (ppm)	SO_2 (ppm)
18.1	20.5	3049	400	148	200

Tablo 10 incelendiğinde erik ve kızılçık meyvesinin çekirdeklerinin karışımından elde edilen peletlerin yanma sonucu açığa çıkan yanma gazları emisyon değerleri IKHKY sınır değerlerinin altında olduğu görülmüştür. Havadaki kükürt dioksit (SO_2) çevre üzerinde olumsuz etkilere neden olur. Bu etkilerin başında hava, toprak ve su kirliliği gelir. Ayrıca insan solunum sistemlerine ciddi zararlar verir. Öksürük, astım ve kronik bronşit gibi rahatsızlıklara neden olur. Bu araştırmada erik ve kızılçık çekirdeklerinin karışımından elde edilen peletin SO_2 değerinin sıfır (0) çıkması bu peletin çevre dostu bir biyoyakıt olduğunu gösterir.

4. SONUÇ

Ülkemizde oldukça geniş bir alanda üretimi yapılan erik ve kızılçık meyvesinin çekirdekleri (%30 EÇ- %70 KÇ) karışım oranında karıştırılarak pelet haline getirilmiş ve daha sonra peletin fiziksel, kimyasal özellikleri ile elemental analizi yapılmıştır. Elde edilen peletler, pelet sobasında yakılarak yanma gazları değerleri belirlenmiştir. Erik ve kızılçık meyvesinin biyokütle atıkları (çekirdekleri) katı yakacak olarak değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Peletlerin çap ve uzunluk değerlerinin ISO 17829 standardına uygun olduğu görülmüştür.
- Peletlerin nem oranı %6.9 olarak bulunmuştur. Avrupa Pelet Konseyi ENplus-A1, ENplus-A2 ve EN-B sınıfı olmak üzere 3 farklı standart tanımlamış ve tüm standartlarda peletlerin nem içeriklerinin ≤ 10 olması gerektiği belirtilmiştir. Erik ve kızılçık meyvesinin çekirdeklerinin karışımından elde edilen peletlerin nem değeri Avrupa Pelet Konseyi tarafından belirtilen

değerden düşük olduğu için araştırma kapsamında elde edilen peletlerin Avrupa Pelet Konseyi standartlarına uygun olduğu söylenebilir.

- Pelet mekanik dayanıklılık direnci %92.2 olarak bulunmuştur. Bu değer Avrupa Pelet Konseyinin belirlediği değerlere (ENplus- A1 $\geq$ 98.0, (ENplus-A2- ENplus-B $\geq$ 97.5) uygun değildir.
- Pelet yığın yoğunluğu değerleri 609 kg/m^3 olarak tespit edilmiştir. Avrupa Pelet Konseyi tarafından belirlenen ENplus-A1, ENplus-A2 ve EN-B sınıfı pelet standartlarında pelet yığın yoğunluğunun $600 \leq \text{BD} \leq 750 \text{ kg/m}^3$ olması gerektiği belirtilmiştir. Araştırmada elde edilen peletlerin standartlara uygun olduğu tespit edilmiştir.
- Peletlerin nem alma direnci %9.6 olarak tespit edilmiştir. Pelet nem alma direncinin
- %10'dan düşük çıkması, araştırmada elde edilen peletlerin belli bir standarda sahip olduğunu gösterir. Ayrıca nem alma direnci %10' dan düşük peletler ortamdaki hava koşullarından fazla etkilenmedikleri için depolanmaları daha kolaydır.
- Peletlerin kül içeriği %2 olarak belirlenmiştir. Avrupa Pelet Konseyi pelet kül içeriğiyle ilgili 3 standart belirlemiştir. ENplus- A1 için kül değeri ≤ 0.7 , ENplus-A2 için kül değeri ≤ 1.2 ve EN-B sınıfı peletler için ≤ 2.0 değerlerinde olması gerektiği belirtilmiştir. Kül içeriği bakımından araştırma kapsamında elde edilen peletlerin Avrupa Pelet Konseyi'nin belirlediği standartlara uygun olduğu görülmüştür.
- Peletlerin üst ısı değerleri hammaddede (erik ve kıvılcık çekirdeğinin işlenmemiş hali) üst ısı değeri 5013 cal/g , pelet haline gelmiş üründe 5016 cal/g olarak bulunmuştur. Avrupa Pelet Konseyi pelet standartlarıyla ilgili olarak üç farklı standart belirlemiştir. ENplus-A1, ENplus-A2 ve EN-B) ve tüm standartlarda paletlerin $\geq 4.6=16 \text{ MJ/kg}=3821.5 \text{ cal/g}$ olması gerektiği belirtilmiştir. Erik ve kıvılcık meyvesinin çekirdeklerinin karışımından elde edilen peletin ısı değeri $5016 \text{ cal/g}=21.0 \text{ MJ/kg}$ Avrupa Pelet Konseyi'nin belirlediği standartlara uygundur.
- Peletlerin yanma sonucunda açığa çıkan baca gazı emisyon değerleri ısınmadan kaynaklanan hava kirliliği kontrolü yönetmeliğinde (IKHKY) belirtilen sınır değerlerden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bundan dolayı araştırma kapsamında elde edilen peletin (biyoyakıt) çevre dostu olduğu söylenebilir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın yayınladığı verilerine göre ülkemizde çıkarılan linyit kömürünün %96.6'sının ısı değeri 4000 cal/g altında, %3.4'ünün ısı değeri ise 4000 cal/g üzerindedir. Yapılan araştırmalar tarımsal atıkların ısı değeri bakımından linyite göre daha yüksek değerlere sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca biyoyakıtların kül oranı ve baca gazı emisyon değerleri linyit kömürüne göre daha düşüktür. Bundan dolayı biyoyakıtların çevre dostu enerji kaynağı olduğu söylenebilir.

¹BİLGİLENDİRME

Bu araştırma makalesi, TÜBİTAK (2204-B) Ortaokul Öğrencileri Araştırma Projeleri Yarışması kapsamında Tübitak projesi olarak sunulmuştur. (Proje No: 1689B012320034). Sunumdan sonra literatür kısmı geliştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- Akpınar, S. (2023). *Çerezlik kabak tarımsal artıklarından elde edilen peletlerin, fiziko-mekanik ve ısısal parametrelerinin tespit edilerek görüntü işleme yöntemiyle peletlerin sınıflandırılması* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Erciyes Üniversitesi.
- Altun, B. (2025). *Kütahya Tavşanlı Belediyesi park bahçe atıklarının pelet yakıtı olarak kullanılabilirliği ve sürükleyici kanat ilavesi ile pelet yakıt presi tasarım iyileştirmesi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi.
- Aydemir, T. (2017). *Farklı tarımsal atıklar kullanılarak hazırlanan karışım peletlerinde kenevir sapı kullanımının pelet kalite özellikleri üzerine etkisi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Namık Kemal Üniversitesi.
- Bayraç, H. N. ve Özarslan, B. (2018). Biyokütle enerjisi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin ampirik bir analizi: Türkiye örneği. *Yalova Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(17), 1-17.
- Celma A.R., Cuadros, F. ve Lopez-Rodriguez, F. (2012). Characterization of pellets from industrial tomato residues. *Food and Bioprocess Processing*, 90(4), 700-706.
<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.01.007>
- Demirbas, A. (2007). Modernization of biomass energy conversion facilities. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 2(3), 227-235. <https://doi.org/10.1080/15567240500402784>
- Develi, C. H. (2020). *Antep fıstığı kabuğu ve zeytin küspesinden biyoyakıt amaçlı pelet elde edilmesi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Sütçü İmam Üniversitesi.
- Doğan, B. (2017). *Mısır ve buğday tarımsal atıklarından pelet biyoyakıt üretimi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Ondokuz Mayıs Üniversitesi.
- Duku, M. H., Gu, S. ve Hagan, E. B. (2011). A comprehensive review of biomass resources and biofuels potential in Ghana. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 404-415.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.033>
- Elfakı, M.A. (2024). *Domates hasat artıklarından yapılan silaj ve peletlerin yem değerinin in vitro yöntemlerle belirlenmesi* [Yayımlanmamış doktora tezi]. Ondokuz Mayıs Üniversitesi.
- ENplus (2022). *Pellet quality requirements for companies*. Place du Champ de Mars 2 1050 Brussels,
- Erdem, N.H. (2023). *Şeker pancarı yetiştiriciliği sonucu açığa çıkan tarımsal artıkların peletlenmesi ve fiziko mekanik ve ısısal özelliklerinin belirlenmesi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Erciyes Üniversitesi.
- Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği. (2005). *T.C. Resmi Gazete* (25699, 13.01.2005).
- Kaliyan, N. ve Morey, R. V. (2009). Factor affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass and Bioenergy*, 33(3), 337-359.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.08.005>

- Kapluhan, E. (2014). Enerji coğrafyası açısından bir inceleme: Biyokütle enerjisinin dünyadaki ve Türkiye'deki kullanım durumu. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (30). <https://doi.org/10.14781/mcd.98631>
- Küsek, G., Güngör, C., Öztürk, H. H. ve Akdemir, Ş. (2015). Tarımsal atıklardan biyopelet üretimi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29(2), 137-145.
- Miranda, M. T, Arranz, J. I, Montero, I, Román, S., Rojas, C. V. ve Nogales, S. (2012). Characterization and combustion of olive pomace and forest residue pellets. *Fuel Processing Technology*, 103, 91-96. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.10.016>
- Öztürk, H. H. (2012). *Enerji bitkileri ve biyoyakıt üretimi*. Hasad Yayıncılık
- Severoğlu, A. (2010). *Katı biyoyakıt üretimi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Atatürk Üniversitesi.
- Sezer, B. (2022). *Defne atıklarından biyopelet yakıtı üretimi ve özelliklerinin belirlenmesi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Mustafa Kemal Üniversitesi.
- Tabil, L. G. ve Sokhansanj, S. (1996). Process conditions affecting the physical quality of alfalfa pellets. *Applied Engineering in Agriculture*, 12(3), 345-350.
- Topkoç, E. (2023). *Çeşitli tarımsal atıklardan elde edilen biyopeletlerin bazı yakıt özelliklerinin değerlendirilmesi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Tarsus Üniversitesi.
- TS EN ISO 17828 (2015). Solid biofuels — Determination of bulk density.
- TS EN ISO 17831-1 (2015). Determination of mechanical durability of pellets and briquettes - Part 1: Pellets.
- TS EN ISO 18122 (2016). Solid biofuels - Determination of ash content
- TS EN ISO 18125 (2017). Solid biofuels — Determination of calorific value.
- Tüzün, K. M. (2012). *Katı yakıtlı kazanlara uyumlu pelet brülörü tasarımı ve imalatı* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Yıldız, Z. ve Topkoç, E. (2023). Tarımsal atıklardan elde edilen biyopeletlerin bazı yakıt özelliklerinin uluslararası pelet standartları ile karşılaştırılması. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 24(2), 1-9. <https://doi.org/10.17474/artvinofd.1231448>
- Yılmaz, H. (2014). *Bazı tarımsal atıkların peletlenmesi ve pelet fiziksel özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Akdeniz Üniversitesi.
- Yolcu, E. (2019). *Çay işleme fabrikalarından çıkan çay atıklarının pelet biyoyakıt olarak kullanılabilme olanaklarının araştırılması* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Ondokuz Mayıs Üniversitesi.
- Zamorano, M., Popov, V., Rodríguez, M. L. ve García-Maraver, A. (2011). A comparative study of quality properties of pelletized agricultural and forestry logging residues. *Renewable Energy*, 36, 3133-3140. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.03.020>

EXTENDED ABSTRACT

Introduction and Research Questions & Purpose

In today's world, fossil fuels such as oil, natural gas and coal are generally used to meet energy needs. Rapid population growth and competition between countries in the industrial field have further increased the need for energy. This situation has caused the reserves of fossil-based energy resources to decrease. It is predicted that fossil-based energy resources will run out of reserves in the future. In addition, the increase in the prices of fossil-based energy resources has pushed mankind to search for different energy sources (Yolcu, 2019). The fact that fossil-based energy sources cause global climate change as a result of emitting greenhouse gases and that their current reserves in the world are limited shows that the importance of renewable energy sources will increase in the future (Develi, 2020). Turkey is a suitable country for biomass production with its long sunshine hours, high agricultural land potential, rich in water resources and favorable climatic conditions (Bayraç and Özarslan, 2018). Turkey is also a country with rich agricultural potential. In our country, there is a total of 54.4 million tons of agricultural waste annually. Agricultural wastes generally have low density and high moisture content. Therefore, it is not very efficient to use direct incineration method to obtain energy from agricultural wastes. In addition, there are difficulties in the storage and transportation processes of these agricultural wastes, and transportation and storage costs increase due to their low density (Doğan, 2017). In line with this information, it is very important to utilize agricultural wastes as a renewable energy source in our country. The most preferred way to produce biomass energy from these wastes is to turn them into pellets (Yılmaz, 2014). This study was carried out to obtain pellets from a mixture of plum and cranberry fruit pits grown in a large part of our country and to determine its usability as biofuel.

Methodology

Plum and cranberry seed agricultural wastes obtained from Suyatağı and Bağbaşı (haho) neighborhoods of Tortum district of Erzurum province were laid on a hard surface in an open environment and dried for about 1 week. This material was then shipped to the Energy Agriculture Research Center of the Black Sea Agricultural Research Institute Directorate for pelletization. Agricultural seed wastes were processed by mixing 30% plum seeds (PS) + 70% cranberry seeds (CS). When it was determined that the moisture content of the materials was below 10%, they were pre- grinded in a hammer mill to a fineness of 4 mm, brought to the appropriate size for pelletizing and kept in airtight closed bags until the pelletizing process started. Pelletizing was performed with an average moisture content of 8-10%. Before pelletizing, plum and cranberry fruit pits were worked with the pellet machine for about 13 minutes and the mold temperature was raised to about 70-80C°. After this process, the agricultural waste material was filled continuously with a shovel into the material tank where the disk breaking the material in the pellet machine was located. Due to the narrowing of the cross-section in the mold holes of the pellet machine, the pellets started to come out in cylindrical form. The length of the pellets produced is approximately 3-4 cm. Thus, the pelletizing process was completed.

Results and Conclusions

The seeds of plum and cranberry fruits, which are produced in a wide area in our country, were made into pellets by mixing (30% PS - 70% CS) at a mixture ratio and then the physical, chemical

properties and elemental analysis of the pellet were carried out. The pellets were burned in a pellet stove and combustion gas values were determined. The results obtained in this study, which was carried out to utilize the biomass waste (pits) of plum and cranberry fruit as solid fuel, are given below.

The diameter and length values of the pellets were found to comply with ISO 17829 standard. The moisture content of the pellets was found to be 6.9%. The European Pellet Council has defined 3 different standards as ENplus-A1, ENplus-A2 and EN-B class and it is stated that the moisture content of the pellets should be ≤ 10 in all standards. Since the moisture content of the pellets obtained from the mixture of plum and cranberry fruit kernels is lower than the value specified by the European Pellet Council, it can be said that the pellets obtained within the scope of the research comply with the European Pellet Council standards. Pellet mechanical durability resistance was found to be 92.2%. This value does not comply with the values determined by the European Pellet Council (ENplus- A1 ≥ 98.0 , (ENplus-A2- ENplus-B ≥ 97.5). Pellet bulk density values were determined as 609 kg/m³. In ENplus-A1, ENplus-A2 and EN-B class pellet standards determined by the European Pellet Council, it is stated that the pellet bulk density should be $600 \leq BD \leq 750$ kg/m³. It was determined that the pellets obtained in the research were in compliance with the standards. The dehumidification resistance of the pellets was determined as 9.6%. The fact that the pellet dehumidification resistance is lower than 10% indicates that the pellets obtained in the research have a certain standard. In addition, pellets with a dehumidification resistance lower than 10% are easier to store as they are not affected much by the weather conditions in the environment. The ash content of pellets is set at 2%. The European Pellet Council has set 3 standards for pellet ash content. It is stated that the ash value should be ≤ 0.7 for ENplus- A1, ≤ 1.2 for ENplus-A2 and ≤ 2.0 for EN-B class pellets. In terms of ash content, the pellets obtained within the scope of the research were found to comply with the standards set by the European Pellet Council. The upper heating value of the pellets was found to be 5013 cal/g for the raw material (unprocessed plum and cranberry seeds) and 5016 cal/g for the pelletized product. The European Pellet Council has set three different standards regarding pellet standards. ENplus-A1, ENplus-A2 and EN-B) and in all standards it is stated that pellets should be $\geq 4.6=16\text{MJ/kg}=3821.5\text{cal/g}$. The calorific value of the pellet obtained from the mixture of plum and cranberry fruit pits is $5016\text{cal/g}=21.0\text{MJ/kg}$ which is in compliance with the standards set by the European Pellet Council. The flue gas emission values released as a result of the combustion of the pellets were found to be lower than the limit values specified in the regulation on air pollution control from heating (IKHKKY). Therefore, it can be said that the pellet (biofuel) obtained within the scope of the research is environmentally friendly.

Yazarların Biyografisi



Birol PETEK

Uzman Öğretmen Birol PETEK, 2008 yılında Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilgiler Eğitimi Bölümü'nden lisans derecesi ile mezun olmuştur. 2014 yılında Atatürk Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Sosyal Bilgiler Eğitimi Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimini tamamlamıştır. Aynı bölümde doktora eğitimi devam etmektedir. 2015 yılından itibaren MEB bünyesinde Sosyal Bilgiler Öğretmeni olarak çalışmaya başlamıştır. Birol PETEK, TÜBİTAK (2204-B) proje yarışmaları kapsamında hazırlanan yenilenebilir enerji kaynakları, doğal gıda kaynakları, tıbbi ve aromatik bitkiler alanlarında hazırlanan projelere öncülük ve danışmanlık yapmaya devam etmektedir.

İletişim

birolpetek2016@hotmail.com

ORCID Adresi

<https://orcid.org/0009-0005-0189-1719>

Alıç Meyvesinin Bazı Mühendislik Özellikleri Some Engineering Properties of Hawthorn Fruit

Abdullah Sessiz^{1,*}  Fatıma Susen Çevik²  Nadide Solmaz²  Ezgi Lorin Karaer² 

¹Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye.

²Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı, Diyarbakır, Türkiye.

* Corresponding author (Sorumlu Yazar): A. Sessiz, e-mail (e-posta): asessiz@dicle.edu.tr

Makale Bilgisi

Alınış tarihi : 26.06.2025
Düzeltilme tarihi : 11.88.2025
Kabul tarihi : 13.08.2025

Anahtar Kelimeler:

Alıç
Fiziko-mekanik özellik
Tasarım

Atf için:

Sessiz, A., Çevik, F.S., Solmaz, N., Karaer, E.L.
(2025). "Alıç Meyvesinin Bazı Mühendislik
Özellikleri", *Tarım Makinaları Bilimi
Dergisi*, 21(2): 104-120.

ÖZET

Alıç (*Crataegus spp.*), dağlık alanlarda kendiliğinden yetişen ağaç şeklinde bir bitkidir. Taze veya işlenmiş formda yaygın tüketilen alıç, insan sağlığı açısından önemli bahçe ürünlerinden biridir. Bu çalışmada, taze Alıç (*Crataegus spp.*) meyvesinin hasadı, taşınması, iletilmesi, depolanması ve işlenmesinde kullanılacak mekanizasyon araçlarının tasarımı için ihtiyaç duyulan meyvenin boyut, geometrik ortalama çap, küresellik, yuvarlaklık, ağırlık, hacim, yığılma açısı, renk, sürtünme kuvveti gibi bazı mühendislik özellikleri belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan Alıç meyvesi için ortalama genişlik ve uzunluk değerleri sırasıyla 15.578 mm ve 17.00 mm olarak bulunmuştur. Kalınlık ve genişlik aynı olduğundan aritmetik ve geometrik ölçümler için bu iki değişken için aynı değerler kullanılmıştır. Bir adet meyvenin ortalama ağırlığı 2.54 g olarak ölçülürken, aynı tanenin ortalama tane hacim değeri ise 3.04 cm³ olarak bulunmuştur. Küresellik değeri %94.38, yuvarlaklık değeri %91.70 ve yüzey alanı ise 50.48 mm² olarak bulunmuştur. Porozite değeri ise %27.91 olarak hesaplanmıştır. Renk ölçümleri sonucunda elde edilen CIELAB değerlerine göre alıç meyvesinin orta parlaklık düzeyinde hafif kırmızı ton barındıran yoğun sarı renkte olduğu belirlenmiştir. Malzemelerin yığılma açısı kullanılan yüzey malzemesinden etkilenmemiştir. Aralarındaki fark istatistik açıdan önemsiz ($p > 0.05$) olmuştur. Statik ve dinamik sürtünme katsayılarına ilişkin yapılan varyans analiz sonuçlarına göre yüzey malzemeleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli olmuştur ($p < 0.05$). Kauçuk yüzeyde en düşük statik ve kinetik sürtünme katsayısı elde edilirken PVC yüzeyde en yüksek statik ve kinetik sürtünme katsayıları elde edilmiştir. Hızlar arasındaki fark ise istatistiksel olarak önemli olmuştur. Yani hız artışı statik ve kinetik sürtünme kat sayılarını etkilemiştir. Hız artışına bağlı olarak hem statik hem de dinamik sürtünme katsayılarında artış meydana gelmiştir. Hız değerleri grupları arasındaki fark incelendiğinde, en düşük statik ve dinamik sürtünme katsayısı 5 mm s⁻¹ hızda sırasıyla 0.744 ve 0.711 olarak elde edilmiş, en yüksek statik ve dinamik sürtünme katsayısı ise 25 mm s⁻¹ hızda 0.891 ve 0.852 olarak elde edilmiştir.

Article Info

Received date : 26.06.2025
Revised date : 11.88.2025
Accepted date : 13.08.2025

Keywords:

Hawthorn
Physical-mechanical properties
Design

How to Cite:

Sessiz, A., Çevik, F.S., Solmaz, N., Karaer, E.L.
(2025). "Some Engineering Properties of
Hawthorn Fruit", *Journal of Agricultural
Machinery Science*, 21(2): 104-120.

ABSTRACT

Hawthorn (*Crataegus spp.*) is a tree-like plant that grows naturally in mountainous areas. Widely consumed fresh or processed, hawthorn is one of the most important horticultural products for human health. In this study, some engineering properties of fresh hawthorn (*Crataegus spp.*) fruit, such as size, geometric mean diameter, sphericity, roundness, weight, volume, angle of accumulation, color, and friction force, were determined for the design of mechanization tools for harvesting, transporting, conveying, storing, and processing. The average width and length values for the hawthorn fruit used in the study were found to be 15.578 mm and 17.00 mm, respectively. Because the thickness and width were the same, the same values were used for these two variables for arithmetic and geometric measurements. The average weight of a fruit was measured as 2.54 g, while the average berry volume was found to be 3.04 cm³. The sphericity value was found to be 94.38%, the roundness value was found to be 91.70% and the surface area was found to be 50.48 mm². The porosity value was calculated as 27.91%. According to the CIELAB values obtained as a result of color measurements, the hawthorn fruit was determined to be intense yellow with a slight red tone at a medium brightness level. The stacking angle of the materials was not affected by the surface material used. The difference between them was statistically insignificant ($p > 0.05$). According to the variance analysis results performed on the static and dynamic friction coefficients, the difference between the surface materials was statistically significant ($p < 0.05$). While the lowest static and kinetic friction coefficients were obtained on the rubber surface, the highest static and kinetic friction coefficients were obtained on the PVC surface. The difference between the speeds was statistically significant. In other words, the increase in speed affected the static and kinetic friction coefficients. An increase occurred in both static and dynamic friction coefficients depending on the increase in speed. When the difference between the speed values was examined, the lowest static and dynamic friction coefficients were obtained as 0.744 and 0.711 at 5 mm s⁻¹ speed, respectively, while the highest static and dynamic friction coefficients were obtained as 0.891 and 0.852 at 25 mm s⁻¹ speed.

1. GİRİŞ

Alıç (*Crataegus spp.*), Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Ortadoğu, Çin, Asya ülkeleri başta olmak üzere çoğu ülkede dağlık ve ormanlık alanlarda doğal olarak yetişen, gülgiller (Rosaceae) familyasına ait, küçük boylu, dikenli, çalı formunda veya ağaççık şeklinde bir bitkidir (Özcan ve ark., 2005; Khanali ve ark., 2017; Zandi ve ark., 2021; Wei ve ark., 2024). Meyveleri yuvarlak ve turuncu renkli olup hafif ekşimsidir. Türkiye'de en çok "Alıç" olarak bilinen *Crataegus* türü, Türkiye'nin birçok bölgesine özgüdür. Türkiye genelinde yetişen yaklaşık 20 tür ve alt tür olduğu ifade edilmektedir (Dokumacı ve ark., 2021). Ülkemizdeki yerel türlerin çoğu meyvelerini sonbaharın başından ortasına kadar olgunlaştırır (Özcan ve ark., 2005; Zandi ve ark., 2021). Taze veya işlenmiş formda en yaygın tüketilen alıç, insan sağlığı açısından önemli bahçe ürünlerinden biridir. Alıç meyvesi taze olarak tüketildiği gibi reçel, şarap, meyve suyu ve sirke gibi çeşitli amaçlar için tüketilmektedir. Ayrıca, bir tıbbi ve yenilebilir meyve olarak, alıç meyvesi, benzersiz aroması, çekici rengi, bol miktarda besin maddesi ve biyoaktif bileşenleri nedeniyle taze olarak veya konserve ürünler, reçeller, jeller ve meşrubatlarda işlenerek yaygın olarak tüketilmektedir (Roman ve ark., 2021). Alıç meyvelerindeki tüm bileşenler arasında, pektin, antioksidan, anti glikasyon, hipolipidemik ve probiyotik aktivitelerin yanı sıra geniş bir anti bakteriyel aktivite spektrumu da dahil olmak üzere olağanüstü biyolojik etkilere sahip doğal ve sağlıklı işlevsel bir bileşenin yeni bir kaynağıdır (Roman ve ark., 2021; Li ve ark., 2021; Wei ve ark., 2024). Ayrıca Alıç meyvesi kardiyovasküler koruma, endotel bağımlı vazorelaksasyon, koroner dolaşımın iyileştirilmesi ve hipolipidemik gibi insan sağlığını koruyucu etkilere sahiptir (Özcan ve ark., 2005; Roman ve ark., 2021). Yerli türlerimizin meyveleri, özellikle yüksek tansiyon ve zayıf kalp rahatsızlıklarının tedavisinde sıklıkla kullanılmaktadır (Baytop, 1984; Özcan ve ark., 2005). Nitekim Alıç meyvesinin kimyasal içerik, gıdasal faydalar ve insan sağlığına olan etkileri ile ilgili yürütülen çoğu çalışmada alıç meyvelerinin antioksidan bileşenlerinin iyi bir kaynağı olduğu bildirilmiştir. Ayrıca içeriğindeki zengin flavonoidler, antioksidan özellikler, kuersetin, kateşin ve C vitamini nedeniyle önemli bir tıbbi bitki olmanın yanı sıra lezzeti, çekici rengi ve birçok makro ve mikro besin maddesinin yüksek içeriği nedeniyle birçok işlenmiş gıda ürününün önemli bir bileşenidir. Bu yüzden uygun koşullarda depolanmalıdır. Uygun olmayan depolama koşulları, Alıç meyvelerinde önemli derecede kalite kaybına yol açar. Meyve ile ilgili yeterli bilgiye sahip olunmadığı zaman tüketicinin meyve seçimini ve dolayısıyla tüketimini etkilemektedir. Hasat sonrası meyve kalitesinde oluşabilecek değişikliklerin tahmin edilebilmesi için öncelikli olarak depolama koşullarının bir fonksiyonu olan Alıç meyvesinin renk, sertlik, boyut veya ağırlık gibi bazı kalite göstergelerinin yanı sıra dayanımı hakkında bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır (Zandi ve ark., 2021). Depolama koşullarında birçok biyokimyasal ve fizyolojik süreçte oluşan solunum ve terleme sonucunda meyve olgunlaşmasına da bağlı olarak değişiklikler meydana gelmektedir. Ayrıca, bu değişiklikler meyvenin maruz kaldığı dış koşullara da bağlıdır.

Anlaşılabileceği gibi birçok yönde değerli olan Alıç meyvelerinin kimyasal ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesine yönelik yapılan mühendislik çalışmalarının sınırlı olduğu görülmüştür. Ülkemizde Özcan ve ark. (2005), Dursun ve ark. (2021), Dokumacı ve ark. (2021) tarafından Alıç meyvesinin bazı özellikleri incelenmiştir. Oysa tarım dışı arazi koşullarında herhangi bir girdiye gereksinim duyulmadan doğal olarak yetişen ve başta sağlık olmak üzere birçok alanda önemli olan bu bitkinin meyvelerinin hasadı, taşınması, depolanması ve işlenmesinde kullanılan ekipmanın tasarımı için meyvenin fiziksel ve mekanik bazı özelliklerinin belirlenmesine ihtiyaç vardır. Çünkü tarımsal ürünlerin fiziksel ve mekanik özellikleri, ekim, hasat-harman ve özellikle hasat sonrası ilgili endüstrilerin tarımsal makina ve taşıma

ekipmanlarının tasarımı ve imalatının yanı sıra tarımsal ürünlerin sınıflandırılması ve işlenmesinde sıkça dikkate alınan temel parametrelerdir. Bazı fiziksel özellikler, temel boyutlar (uzunluk, genişlik ve kalınlık), kütle, geometrik ortalama çap, küresellik ve sürtünme katsayılarıdır. Ürünlerin özelliklerinin farklı olması nedeniyle bu parametrelerden bağımsız olarak tasarlanan ve imal edilen tarımsal makinalar çeşitli olumsuzluklara yol açmaktadır (Özarslan, 2002; Nesvadba ve ark., 2004; Jalilantabar ve ark., 2013; Ghodki ve Goswami, 2016; Shafaei ve Kamgar, 2017). Temel boyutlarının yanı sıra statik ve kinetik sürtünme kuvveti ve bunlara bağlı olarak hesaplanan sürtünme katsayılarının farklı yüzey malzemelerinde belirlenmesi bu nedenle önemlidir, çünkü malzemelerin yüzey özellikleri taşınan her ürün için farklı sürtünme direnci gösterebilmektedir. Ancak, tarımsal amaçlı kullanılan taşıma, depolama, ayırma, temizleme yapılarında kullanılan malzemeler farklılıklar gösterdiğinden sürtünme özellikleri de ürün nem içeriği, yüzey malzemesi ve koşulları, taşınma veya depolama sırasında uygulanan basınç ve ürünün yüzey malzemesi üzerinde çekilme hızlarına bağlı olarak değişmektedir (Mohsenin, 1986; Puchalski ve ark., 2003; Çalışkan ve Vursavuş, 2009; Bakhtiari ve ark. 2011; Sologubik ve ark., 2013; Shafaei ve Kamgar, 2017). Bu nedenle sürtünme kayıplarını azaltmak ve verimliliği artırmak için değişik yüzeyler için sürtünme özelliklerinin farklı koşullarda belirlenmesi bu tür yapıların tasarımı için önemlidir (Mohsenin, 1986; Alayunt, 2000; Amin ve ark., 2004; Obi ve Offorha, 2015; Shafaei ve Kamgar, 2017). Sürtünme konusunda çok çalışma olmasına rağmen alıç meyvesinin fiziksel ve sürtünme özelliklerinin belirlenmesine yönelik sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Ülkemizde Alıç meyvesinin yaygın olarak yetiştiği bölgelerden birisi de Güneydoğu Anadolu Bölgesidir. Bölgede başta Diyarbakır ve Mardin illerinin kırsalında doğal olarak yetişmekte ve yöre halkı tarafından farklı şekilde sevilerek tüketilmektedir. Özellikle sonbaharda şehir merkezlerinde tezgahlarda yerini alan ilginç meyvelerden birisidir. Bu yüzden bu meyvenin hasadı, taşınması, temizlenmesi, sınıflandırılması, derecelendirilmesi, kurutulması, depolanması, paketlenmesi ve hasat sonrası farklı amaçlar için işlenmesinde kullanılacak makinaların tasarımı için bu meyvenin fiziksel özelliklerinin bilinmesi doğru bir tasarı için gereklidir.

Bu nedenle, gelecekte bu meyveden farklı şekilde yararlanma ve sanayi sektöründe değerlendirilmesi için bu çalışma yapılmıştır. Çalışmanın amacı, doğada kendiliğinden yetişen ve Anadolu'da Alıç olarak bilinen bitkinin meyvenin fiziksel özelliklerini, sürtünme kuvveti ve katsayılarını farklı malzeme yüzeyleri ve farklı çekilme hızlarına bağlı olarak belirlemek ve elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda çoklu regresyon eşitliklerinin geliştirilmesidir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Bitkisel Materyal

Doğal olarak yetişen taze alıç meyveleri (Şekil 1), Eylül 2024 yılında Mardin ilinde tezgah satıcısı aracılığı ile doğrudan üreticiden ve hasattan hemen sonra temin edilmiştir. Meyveler, denemelere başlayana kadar yaklaşık bir ay Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümünün laboratuvarında bulunan buzdolabında +4°C derece sıcaklıkta plastik kaplarda muhafaza edilmiştir. Deneme öncesinde buzdolabından çıkarılan meyveler plastik kaplardan alınıp paslanmaz bir zemine serilerek oda sıcaklığına gelmesi için yaklaşık 1 saat bekletilmiştir. Meyve tanelerinin fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla tane uzunluğu (mm), genişliği (mm), kalınlığı (mm) 0.01 mm hassasiyetle ölçüm yapan dijital kumpas, tane ağırlığı (g) 0.001 g hassasiyetle çalışan hassas bir terazi ve tane hacmi (ml) ölçü silindiri kullanılarak belirlenmiştir. Nem içeriği ölçümü için her testte 25 gramlık örnekler 3 tekrarlı olarak hazırlanarak tartılmış ve 103°C'de 24 saat fırında kurutulmaya bırakılmıştır (Altuntas ve ark., 2005; Aviara ve ark., 2015; Obi ve Offorha, 2015; Sessiz ve ark., 2018).

Kurutmadan sonra örnekler tekrar tartılarak meyve nem içerikleri belirlenmiştir. Örneklerin ortalama nem içeriği (y.b.) %61.44 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 1. Taze Alıç Meyveleri

2.2. Boyut Özellikleri

Alıç meyvesinin; tane uzunluğu (mm), genişliği (mm), kalınlığı (mm), tane ağırlığı (g), tane hacmi (cm³), aritmetik ortalama çapı (mm), geometrik ortalama çapı (mm), küresellik değeri (%), porozitesi (%), yığılma açısı (θ), yüzey alanı (mm²), renk özellikleri ve farklı yüzeyler için sürtünme kuvveti ve katsayıları belirlenmiştir. Fiziksel özellikler için aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır (Mohsenin, 1986; Deshpande ve ark., 1993; Alayunt, 2000; Kaleemullah ve Gunasekar, 2002; Çalışır ve Aydın, 2004; Wilhelm ve ark., 2004; Özcan ve ark., 2005; Altuntaş ve Yıldız, 2007; Koochehi ve ark., 2007; Kashaninejad ve ark., 2008; Boac ve ark., 2009; Sologubik ve ark., 2013; Figueiredo ve ark., 2011; Zielinska ve ark., 2012; Wandkar ve ark., 2012; Özlü ve Güner, 2016; Ndukwu ve Ejirika., 2016; Shafaei ve Kamgar, 2017). Meyvelerin üç ana boyutu (uzunluk, genişlik ve kalınlık) için 25 adet meyve dijital bir kumpasla ölçülmüştür. Ortalama aritmetik çap (D_a), geometrik ortalama çap (D_g), küresellik ($\emptyset$), yuvarlaklık (R), porozite (P), yığılma açısı (θ) ve yüzey alanı (S_a) hesaplanmasında kullanılan eşitlikler Eş (1-8)'de verilmiştir.

$$D_a = \frac{L + W + T}{3} \quad (1)$$

$$D_g = (LWT)^{1/3} \quad (2)$$

Genişlik ve kalınlık ölçüleri eşit olduğundan;

$$D_g = (L \times D^2)^{1/3} \text{ formülü kullanılmıştır.} \quad (3)$$

$$\emptyset = \frac{(LWT)^{1/3}}{L} \times 100 \quad (4)$$

$$R = \frac{W}{L} \times 100 \quad (5)$$

$$P = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_t}\right) \times 100 \quad (6)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{2H}{D} \right) \quad (7)$$

$$S_a = \pi(LWT)^{1/3} \quad (8)$$

Burada,

Semboller ve Anlamları	
D_a : Ortalama Aritmetik Çap (mm)	ρ_t : Gerçek Hacim Ağırlığı (g cm ⁻³)
D_g : Geometrik Ortalama Çap	ρ_b : Tane Hacim Ağırlığı (g cm ⁻³)
$\emptyset$: Küresellik (%)	P : Porozite (%)
θ : Yığılma Açısı (°)	μ_s : Statik Sürtünme Katsayısı
R : Yuvarlaklık (%)	μ_k : Kinetik Sürtünme Katsayısı
S_a : Yüzey Alanı (mm ²)	F_s : Statik Sürtünme Kuvveti (N)
L : Uzunluk (mm)	F_k : Kinetik Sürtünme Katsayısı (N)
W : Genişlik (mm)	w : Kutu ağırlığı + Meyve ağırlığı (N).

2.3.Yığılma açıları

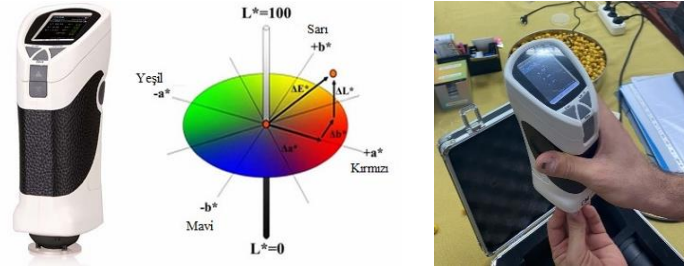
Farklı malzemelerin yüzeylerinde yığılma açılarını belirlemek amacıyla 100 mm çapında ve 500 mm yüksekliğinde krom malzemeden yapılmış bir silindir kullanılmıştır (Şekil 2). Silindire konulan alıç meyveleri kontrollü bir şekilde yukarıya doğru kaldırılarak ürünün malzeme üzerinde kayması sağlanmıştır. Yığılma açıları, çekilme sonunda oluşan yığının yüksekliği ve kullanılan malzemelerin dağılma çapına bağlı olarak ve Şekil 2’de görülen dijital açı ölçer kullanılarak belirlenmiştir (Wandkar ve ark., 2012; Dhineshkumar ve ark., 2015; Ghodki ve Goswami, 2016; Sessiz ve ark., 2019).



Şekil 2. Silindir ve Dijital açı ölçer

2.4.Renk Özellikleri

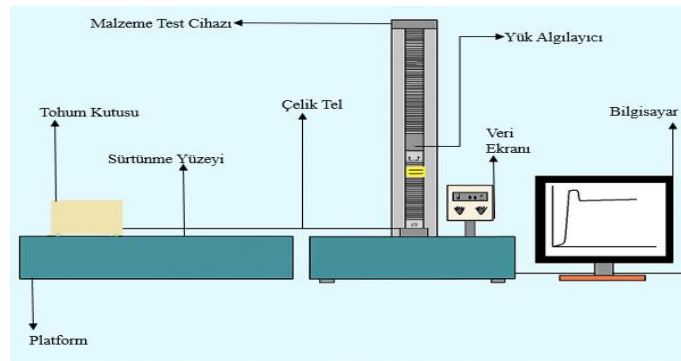
Renk skalası olan L*, a* ve b* değerlerinin ölçümlerinde Şekil 3’de görülen CM11P marka renk ölçer kullanılmıştır. Burada, L* değeri beyazlık veya siyahlık derecesini (0’dan 100’e doğru beyazlık artar) göstermektedir. a* değeri yeşilden kırmızıya doğru (+a ise kırmızı oranı, -a ise yeşil oranı artar), b* değeri sarıdan maviye doğru olan (+b ise sarı oranı, -b ise mavi oranı artar) renk değişiminin göstergesidir. Ölçümler için alıç meyvesi numune kabına doldurulmuş ve cihaz doğrudan tohumların yüzeyine temas edecek şekilde ölçümler yapılmıştır. Bu işlem 10 kez tekrar edilmiş ve ortalamaları alınmıştır (Zielinska ve ark., 2012; Sessiz ve ark., 2019).



Şekil 3. CM11P dijital renk ölçer

2.5. Sürtünme Özellikleri

Sürtünme özelliklerini belirlemek için üç ünitelerden oluşan bir test düzeneği özel olarak oluşturulmuştur (Şekil 4). Bu üniteler; ürün kabı, sürtünme yüzeyi ve veri ölçüm düzeneğidir. Alıç meyvelerinin konulduğu kutunun alt kısmı açık bırakılmış ve yüzeye temasını önlemek için kutunun altına raylı bir düzenek yerleştirilmiştir (Şekil 4). Sürtünme deneyleri %61.44 meyve nem içeriğinde, kauçuk, krom, galvanizli sac ve PVC olmak üzere 4 farklı yüzey malzemesinde ve 5, 10, 15, 20 ve 25 mm s⁻¹ (Lorestani, 2012; Esgici ve ark., 2018) olmak üzere 5 farklı sabit çekilme hızlarında yürütülmüştür. Meyve kutusu 250 x 250 x 90 mm boyutlarında olup, meyvelerin yüzeyler üzerinde çekilme işlemi ve sürtünme kuvvetlerinin ölçümü Şekil 4’de görülen çeki-basıya çalışan 2500 N kapasiteye sahip Llyod Plus marka test cihazı ve düzeneği kullanılmıştır.



Şekil 4. Sürtünme kuvveti ölçme düzeneği ve Llyod test cihazı.

Her yüzey malzemesi için yapılan testlerin verileri cihaz tarafından otomatik olarak kuvvet-yer değiştirme grafikleri şeklinde kaybedilmiştir. Çekilme işlemi 50 cm’lik mesafede kutunun harekete başladığı en yüksek kuvvet değeri statik sürtünme kuvveti olarak, pikten sonra düşen ve normal hareket halinde ölçülen ortalama sürtünme değerleri kinetik sürtünme kuvveti olarak dikkate alınmıştır. Statik ve kinetik sürtünme kuvveti değerler için çekilme süreleri boyunca ölçülen değerlerden 25 ölçümün ortalaması bir tekerrür olarak hesaplanmıştır. Analizler 4 farklı yüzey ve 5 farklı çekilme hız değeri için ve 3 tekerrür olacak şekilde yapılmıştır. Statik ve kinetik sürtünme katsayıları aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır (Mohsenin, 1986; Chandrasekar ve Viswanathan, 1999; Alayunt, 2000; Balasubramanian, 2001; Blau, 2001; Amin ve ark., 2004; Sessiz, 2007; Çalışkan ve Vursavuş, 2009; Aviara ve ark., 2015., Sessiz ve ark., 2019). Statik ve kinetik sürtünme katsayıları sırasıyla Eş (9) ve Eş(10) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\mu_s = \frac{F_s}{W} \quad (9)$$

$$\mu_k = \frac{F_k}{W} \quad (10)$$

Burada,

μ_s = Statik sürtünme katsayısı,

μ_k = Kinetik sürtünme katsayısı,

F_s = Statik sürtünme kuvveti (N),

F_k = Kinetik sürtünme kuvveti (N),

w = Kutu ağırlığı+ Alıç ağırlığı (N).

2.6. İstatistik Analizi

Elde edilen veriler yani sonuçlar SPSS 27.0.1 programı kullanılmıştır. Analizlerin tamamında %5 hata payına göre analiz yapılmıştır. Yüzey ve hız faktörünün etkilerinin belirlenmesi için öncelikle tek yönlü varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Önemlilik değerinin 0.05'ten küçük olduğu değerler için gruplar arası farkın belirlenmesi açısından Tukey analizi uygulanmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Alıç meyvesine ait ölçülen boyut ve diğer fiziksel özelliklerine ilişkin ölçülen ortalama değerler Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelgeden görüleceği gibi Alıç meyvesi için ortalama genişlik ve uzunluk değerleri sırasıyla 15.58 mm ve 17.00 mm olarak bulunmuştur. Kalınlık ve genişlik değerleri aynı olduğundan aritmetik ve geometrik ölçümler için bu iki değişkenin değerleri aynı alınmıştır. Bir adet meyvenin ortalama ağırlığı 2.54 g olarak ölçülürken, aynı tanenin ortalama tane hacim değeri ise 3.04 cm³ olarak bulunmuştur. Küresellik değeri %94.38, yuvarlaklık değeri %91.70 ve yüzey alanı ise 50.48 mm² olarak bulunmuştur. Gerçek (1adet) hacim ağırlığı (g cm⁻³) 0.86, hacimsel (yığın) ağırlık (g cm⁻³) 0.62 olarak hesaplanmıştır. Gerçek tane hacim ağırlığı ve meyve yığın hacim ağırlığından hesaplanan ve depo yapıları için gerekli olan porozite değeri ise %27.91 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 1. Alıç Meyvesinin Fiziksel Özelliklerine İlişkin Ölçülen Ortalama Değerler

Özellik	Ortalama	Standart Sapma	Varyasyon Katsayısı
Genişlik (mm)	15.57	0.94	6.04
Uzunluk (mm)	17.00	0.74	4.35
Ağırlık (g)	2.54	0.33	12.99
Hacim (cm ³)	3.04	0.71	23.36
Geometrik Orta Çap(mm)	16.50	0.82	4.97
Aritmetik Ortalama Çap (mm)	16.29	0.75	4.60
Küresellik (%)	94.38	2.42	2.56
Yuvarlaklık (%)	91.70	3.49	3.80
Yüzey Alanı (mm ²)	50.48	238	4.71
Gerçek (1 adet) Hacim Ağırlığı (g cm ⁻³)	0.86	0.15	17.44
Hacimsel (Yığın) Ağırlık (g cm ⁻³)	0.62	0.01	1.61
Porozite (%)	27.91	0.62	2.22

Her yüzey malzemesi için ölçülen yığılma açılarının hem açılı ölçer değerleri ve eşitlik kullanılarak hesaplanan değerler Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelgeden görüleceği gibi iki ölçüm yöntemi arasında belirgin bir fark oluşmamıştır. Yöntemler arasında oluşan ± 2 fark normal sayılmaktadır. Yapılan varyans analizleri sonuçlarına göre de malzemelerin yığılma açısına etkisinin istatistiki açıdan önemsiz ($p > 0.05$) olmuştur. Yani yüzey malzemeleri arasında istatistiksel olarak bir fark oluşmamıştır.

Çizelge 2. Alıç Meyvesinin Farklı Yüzeylerdeki Yığılma Açıları

<i>Malzeme</i>	<i>Açı Ölçer (°)</i>			<i>Yığılma Açısı (°)</i>		
	<i>Ortalama</i>	<i>Standart Sapma</i>	<i>Varyasyon Katsayısı</i>	<i>Ortalama</i>	<i>Standart Sapma</i>	<i>Varyasyon Katsayısı</i>
<i>Galvaniz</i>	21.77	1.66	7.63	20.36	2.72	13.36
<i>Krom</i>	22.80	5.89	25.83	20.74	3.35	16.15
<i>Kauçuk</i>	21.10	3.41	16.16	22.89	0.49	2.14
<i>PVC</i>	19.45	0.40	2.06	18.76	1.13	6.02

Denemelerden elde edilen sürtünme kuvvetleri değerlerinden hesaplanarak elde edilen statik ve dinamik sürtünme katsayılarına ilişkin ölçülen veriler Çizelge 3'te verilmiştir. Yapılan varyans analiz sonuçlarına göre yüzey malzemeleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli olmuştur ($p < 0.05$). Tukey analiz sonuçlarına göre iki alt grup oluşmuştur. Aynı grup içerisinde yer alan kauçuk ve krom yüzeyler ile galvanizli sac ile PVC malzemeler arasındaki fark istatistiki açıdan önemsiz bulunmuştur. Yapılan analizlere göre hem statik hem dinamik sürtünme katsayıları için aynı sonuç elde edilmiştir. Kauçuk ve krom yüzeyler 1. grubu oluştururken galvaniz ve PVC yüzeyler 2. grubu oluşturmuştur. Kauçuk yüzeyde en düşük statik ve kinetik sürtünme katsayısı elde edilirken PVC yüzeyde en yüksek statik ve kinetik sürtünme katsayıları elde edilmiştir.

Çizelge 3. Yüzey Faktörü Tukey Analiz Sonuçları (SPSS)

<i>Statik Sürtünme Katsayısı</i>			<i>Dinamik Sürtünme Katsayısı</i>		
<i>Yüzey malzemesi</i>	N	P = 0.05	<i>Yüzey malzemesi</i>	N	P = 0.05
		1 2			1 2
<i>Kauçuk</i>	15	0.7396 ^b	<i>Kauçuk</i>	15	0.6970 ^b
<i>Krom</i>	15	0.7863 ^b	<i>Krom</i>	15	0.7468 ^b
<i>Galvaniz</i>	15	0.8606 ^a	<i>Galvaniz</i>	15	0.8218 ^a
<i>PVC</i>	15	0.8851 ^a	<i>PVC</i>	15	0.8579 ^a

Alıç meyvesinin sürtünme katsayısının çekilme hızlarına göre değişimi Çizelge 4'te verilmiştir. Yapılan varyans analizlerine göre çekilme hızının sürtünme katsayılarına etkisi önemli bulunmuştur ($p < 0.05$ Hız artışı statik ve kinetik sürtünme katsayılarını etkilemiştir ve bu etki istatistiki açıdan önemli bulunmuştur. Tukey analiz sonuçlarına göre 3 alt grup oluşmuştur (Çizelge 4). 5 ile 10 mm s⁻¹, 10 ile 15 mm s⁻¹, 15, 20 ve 25 mm s⁻¹ hız değerleri arasındaki fark önemsiz bulunurken, hız artışına bağlı olarak hem statik hem de dinamik sürtünme katsayılarında artış meydana gelmiştir. Hız değerleri grupları arasındaki fark incelendiğinde en düşük statik ve dinamik sürtünme katsayısının 5 mm s⁻¹ hızda sırasıyla 0.744 ve 0.711 olarak elde edilirken en yüksek statik ve dinamik sürtünme katsayısının 25 mm s⁻¹ hızda 0.891 ve 0.852 olarak elde edilmiştir. Sürtünme özelliklerinin yüzey malzemesi ve ürünün yüzey malzemesi üzerinde çekilme hızlarına bağlı olarak değişim gösterdiğini Mohsenin (1986), Alayunt (2000), Puchalski ve ark., (2003), Çalışkan ve Vursavuş, (2009), Bakhtiari ve ark., (2011), Sologubik ve ark., (2013), Shafaei ve Kamgar (2017) tarafından da ifade edilmiştir.

Çizelge 4. Hız Faktörü Tukey Analiz Sonuçları (SPSS)*

Statik Sürtünme Katsayısı				Kinetik Sürtünme Katsayısı			
Tukey HSD^a				Tukey HSD^a			
Hız (mm s⁻¹)	N	P = 0.05		Hız (mm s⁻¹)	N	P = 0.05	
		1	2			1	2
5	15	0.74467		5	15	0.71133	
10	15	0.77833	0.77833	10	15	0.74633	0.74633
15	15		0.82000	15	15	0.78058	0.78058
20	15		0.85508	20	15		0.81383
25	15		0.89150	25	15		0.85242

*Aynı grupta yer alan ortalamalar arasında fark yoktur.

Farklı yüzey malzemeleri ve farklı çekme hızlarında oluşan statik ve kinetik sürtünme katsayıları Çizelge 5'te toplu olarak verilmiştir. Kauçuk yüzey, 5 mm s⁻¹ hızda en düşük statik ve kinetik sürtünme katsayıları elde edilirken, PVC yüzey ve 25 mm s⁻¹ hızda en yüksek statik ve dinamik sürtünme katsayıları elde edilmiştir. Her yüzey için hız faktörüne varyans analizi uygulandığında önemlilik değerleri 0.05'ten (p<0.001) küçük olarak hesaplanmıştır. Gruplar arası fark anlamlıdır ve bu sonuca göre hız tüm yüzeylerde, statik ve dinamik sürtünme katsayılarını etkilemiştir. Hız faktörünün etkilerinin incelenmesi için Tukey analizi uygulanmıştır. Analiz sonuçlarına göre krom yüzeyde hız faktörü için dinamik sürtünme katsayısı adına 4 farklı grup oluşmuştur ve 3 numaralı grup içerisinde 15 ve 20 mm s⁻¹ hız değerleri yer almıştır. Galvaniz yüzeyde hız faktörü için dinamik sürtünme katsayısı adına 4 farklı grup oluşmuştur ve 4 numaralı grup içerisinde 20 ve 25 mm s⁻¹ hız değerleri yer almıştır. PVC yüzeyde hız faktörü için statik sürtünme katsayısı adına 3 grup oluşmuştur. 1 numaralı grup içerisinde 5 ve 10 mm s⁻¹ hız değerleri ve 2 numaralı grup içerisinde 15 ve 20 mm s⁻¹ hız değerleri yer almıştır. Aynı grup içerisinde yer alan değerler için fark istatistiki açıdan önemsizdir. Bahsedilen değerler hariç diğer yüzeylerde her hız değeri statik ve kinetik sürtünme katsayıları için ayrı gruplarda yer almıştır. Sonuç olarak hız her yüzey için önemlidir ve istatistiki açıdan ciddi bir önem taşımaktadır. Hız arttıkça statik ve dinamik sürtünme katsayılarında artış olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5. Yüzey ve Hız Faktörü İçin Statik ve Dinamik Sürtünme Katsayıları

Çekilme Hızı (mm s⁻¹)	Statik Sürtünme Katsayısı				Dinamik Sürtünme Katsayısı			
	Kauçuk	Krom	Galvaniz	PVC	Kauçuk	Krom	Galvaniz	PVC
5	0.654	0.706	0.788	0.831	0.619	0.664	0.759	0.803
10	0.694	0.748	0.822	0.849	0.656	0.717	0.789	0.824
15	0.725	0.788	0.872	0.895	0.683	0.757	0.821	0.861
20	0.793	0.826	0.894	0.908	0.740	0.771	0.859	0.885
25	0.833	0.864	0.926	0.942	0.787	0.824	0.881	0.917

Denemelerde kullanılan malzemeler ve hız değerleri için oluşturulan sürtünme değerleri için oluşturulan regresyon eşitlikleri ve çoklu regresyon katsayıları Çizelge 6'da toplu olarak verilmiştir. Regresyon analizleri sonucunda bağımsız parametre olarak seçilen, meyvenin farklı yüzey malzemeleri üzerinde çekilme hızlarının artışına bağlı olarak tüm yüzeylerde sürtünme katsayılarında artış görülmüştür (Sessiz ve ark., 2018).

Çizelge 6. Her Malzeme İçin Hıza Bağlı Oluşturulan Regresyon Eşitlikleri ve R Değeri

Malzeme	Statik Sürtünme Katsayısı		Dinamik Sürtünme Katsayısı	
	Regresyon Denklemi	R	Regresyon Denklemi	R
Krom	$F_s = 0.668 + 0.040 \times \text{Hız}$	0.981	$F_k = 0.634 + 0.037 \times \text{Hız}$	0.981
PVC	$F_s = 0.801 + 0.028 \times \text{Hız}$	0.966	$F_k = 0.771 + 0.029 \times \text{Hız}$	0.987
Galvaniz	$F_s = 0.756 + 0.035 \times \text{Hız}$	0.988	$F_k = 0.727 + 0.031 \times \text{Hız}$	0.979
Kauçuk	$F_s = 0.602 + 0.046 \times \text{Hız}$	0.988	$F_k = 0.571 + 0.042 \times \text{Hız}$	0.987

CM-11P marka renk ölçer cihazı ile renk özelliklerine ilişkin ölçülen veriler Çizelge 7’de verilmiştir. Alıç yüzey rengi RGB modunda ölçülmüştür ve veriler Microsoft Excel 2016 kullanılarak CIELAB renk uzayına dönüştürülmüştür (Çizelge 2). Renk ölçümleri sonucunda elde edilen CIELAB değerlerine göre alıç meyvesinin L değeri 65.20, a değerinin +3.53, ve b değerinin +57.67 olduğu bulunmuştur. Bu sonuçlara göre alıç meyvesi orta parlaklık düzeyinde hafif kırmızı ton barındıran yoğun sarı renkte olduğunu söyleyebiliriz.

Çizelge 7. Alıç Meyvesinin Renk Özellikleri

Renk Ölçümü	R	768.00	L (Koyu-Açık)	65.2
	G	616.00	a (Yeşil-Kırmızı)	3.53
	B	190.75	b (Mavi-Sarı)	57.67

4. SONUÇ

Çalışmada fiziksel özellikleri incelenen Alıç meyvesi için ortalama genişlik ve uzunluk değerleri sırasıyla 15.578 mm ve 17.00 mm olarak bulunmuştur. Ortalama bir adet meyvenin ağırlığı 2.54 g olarak ölçülürken, aynı tanenin ortalama tane hacim değeri ise 3.04 cm^3 olarak bulunmuştur. Küresellik değeri %94.38, yuvarlaklık değeri %91.70 ve yüzey alanı ise 50.48 mm^2 olarak bulunmuştur. Gerçek (1adet) hacim ağırlığı (g cm^{-3}) 0.86, hacimsel (yığın) ağırlık (g cm^{-3}) 0.62 olarak hesaplanmıştır. Gerçek tane hacim ağırlığı ve meyve yığın hacim ağırlığından hesaplanan ve depo yapıları için gerekli olan porozite değeri ise %27.91 olarak hesaplanmıştır.

Galvanizli sac, krom, PVC ve kauçuk malzemeler kullanılarak yapılan testler sonucunda elde edilen veriler her farklı malzeme yüzeyi için statik ve kinetik sürtünme özelliklerine ilişkin çoklu regresyon eşitlikleri ve çoklu regresyon katsayıları oluşturulmuştur. Eşitliklerde yer alan kısmi regresyon katsayıları pozitif olanların sürtünme kuvveti ve sürtünme katsayıları değerlerini artırıcı yönde etkilerken, kısmi regresyon katsayısı negatif olanlar azaltıcı yönde etkili olmuştur. Sabit ve kısmi katsayıları yüksek olan galvanizli sac ve kauçuk malzemede sürtünme kuvveti ve katsayıları krom ve PVC malzemeye göre daha yüksek olmuştur. Dolayısıyla, farklı yüzeyler için geliştirilen bu eşitlikler kullanılarak hem statik hem kinetik sürtünme değerleri için deneysel verilere gerek kalmadan tahmini veriler elde edilebilecektir.

Yüzey malzemeleri ve çekilme hızları dikkate alınacak olursa en düşük sürtünme katsayısı değerleri kauçuk ve krom malzemelerde ve 5 mm s^{-1} ile 10 mm s^{-1} çekilme hızlarında elde edilmiştir. Statik ve dinamik sürtünme katsayısı değerleri karşılaştırıldığında tüm malzeme ve hız değerlerinde statik sürtünme katsayısı değerlerinin dinamik katsayılarına göre daha yüksek olmuştur.

KAYNAKLAR

- Alayunt, F. (2000). Biyolojik malzeme bilgisi. *EÜ Ziraat Fakültesi Yayınları* No: 541. Ofset Atelyesi.
- Altuntas, E., Özgöz, E., and Ö.F. Taser. 2005. Some physical properties of fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.) seeds. *Journal of Food Engineering*, 71: 37–43.
- Altuntaş, E. ve Yıldız, M. (2007). Effect of moisture content on some physical and mechanical properties of faba bean (*Vicia faba* L.) grains. *Journal of Food Engineering*, 78(1), 174–183.
- Amin, M. N., Hossain, M. A., and Roy, C. (2004). Effects of moisture content on some physical properties of lentil seeds. *Journal of Food Engineering*, 65, 83–87.
- ASABE. (2006). ASAE S352.2 FEB03, Moisture measurement unground grain and seeds. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*.
- Aviara, N. A., Onaji, M. E., and Lawal, A. A. (2015). Moisture-dependent physical properties of detarium microcarpum seeds. *Journal of Biosystems Engineering*, 40(3), 212–223.
- Bakhtiari, M. R., Ahmad, D., Othman, J., and Ismail, N. (2011). Physical and mechanical properties of kenaf seed. *Applied Engineering in Agriculture*, 27(2), 263–268.
- Balasubramanian, D. (2001). Physical properties of raw cashew nut. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 78(3), 291–297.
- Baytop, T. (1984). Treatment with plants in Turkey (in Turkish). *Istanbul University Publication* No. 3255.
- Blau, P.J. (2001). The significance and use of The friction coefficient. *Tribology International* 34: 585–591
- Boac, J. M., Casada, M. E., Maghirang, R. G., and Harner, J. P. (2009). Material and interaction properties of selected grains and oilseeds for modeling discrete particles. *In 2009 ASABE Annual International Meeting*, Reno, Nevada, June 21–24, 2009.
- Chandrasekar, V., and Viswanathan, R. (1999). Physical and thermal properties of coffee. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 73, 227–234.
- Çalışır, S., and Aydın, C. (2004). Some physico-mechanic properties of cherry laurel (*Prunus laurocerasus* L.) fruits. *Journal of Food Engineering*, 65(1), 145–150.
- Çalışkan, N., and Vursavuş, K. K. (2009). Washington navel portakalın hasat sonrası işlemlere yönelik fiziksel ve sürtünme özelliklerinin belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 5(1), 83–92.
- Deshpande, S. D., Bal, S., and Ojha, T. P. (1993). Physical properties of soybean. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 56(2), 89–98.
- Dhineshkumar, V., Ramasamy, D., and Sudha, K. (2015). Physical and engineering properties of pomegranate fruit and arils. *International Journal of Farm Sciences*, 5(3), 89–97.
- Dokumacı, K. Y., Uslu, N., Haciseferoğulları, H., and Örnek, M. N. (2021). Determination of some physical and chemical properties of common hawthorn (*Crataegus monogyna* Jacq. var. *monogyna*). *Erwerbs-Obstbau*, 63(1), 99–106.
- Dursun, A., Çalışkan, O., Güler, Z., Bayazit, S., Türkmen, D., and Gündüz, K. (2021). Effect of harvest maturity on volatile compounds profiling and eating quality of hawthorn (*Crataegus azarolus* L.) fruit. *Scientia Horticulturae*, 288, Article 110398.

- Esgici, R., Pekitkan, F. G., Güzel, E., and Sessiz, A. (2018). Friction coefficients for Gundelia tournefortii seed on various surfaces. In XIX. World Congress of CIGR, April 22–25, 2018, Antalya, Turkey.
- Figueiredo, A. K., Bäuml, E., Riccobene, I. C., and Nolasco, S. M. (2011). Moisture-dependent engineering properties of sunflower seeds with different structural characteristics. *Journal of Food Engineering*, 102(1), 58–65. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.08.003>
- Ghodki, B. M., and Goswami, T. K. (2016). Effect of moisture on physical and mechanical properties of cassia. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1), 1192975. <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1192975>
- Kalamullah, S., and Gunasekar, J. J. (2002). Moisture-dependent physical properties of arecanut kernel. *Biosystems Engineering*, 82(3), 331–338.
- Kashaninejad, M., Ahmadi, M., Daraei, A., and Chabra, D. (2008). Handling and frictional characteristics of soybean as a function of moisture content and variety. *Powder Technology*, 188(1), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2008.03.004>
- Khanali, M., Heydari, B., and Khakpoor, A. (2017). Some physical and mechanical properties of crataegus fruit. *International Journal of Crop Science and Technology*, 3(1), 1–7.
- Koocheki, A., Razavi, S. M. A., Milani, E., Moghadam, T. M., Abedini, M., Alamatian, S., and Izadkhah, S. (2007). Physical properties of watermelon seed as a function of moisture content and variety. *International Agrophysics*, 21(4), 349–359.
- Li, L., Gao, X. L., Liu, J. G., Chitrakar, B., Wang, B., and Wang, Y. C. (2021). Hawthorn pectin: Extraction, function and utilization. *Current Research in Food Science*, 4, 429–435.
- Lorestani, A. N. (2012). Design and construction of an automatic coefficient of friction measuring device. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 14(1), 120–124.
- Mohsenin, N. N. (1986). Physical properties of plant and animal materials (2nd ed.). *Gordon and Breach Science Publishers*.
- Nesvadba, P., Houška, M., Wolf, W., Gekas, V., Jarvis, D., Sadd, P. A., and Johns, A. I. (2004). Database of physical properties of agro-food materials. *Journal of Food Engineering*, 61(4), 497–503.
- Ndukwu, M. C., and Ejirika, C. (2016). Physical properties of wild Persian walnut (*Juglans regia* L.) from Nigeria. *Cogent Food & Agriculture*, 2, 1232849. <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1232849>
- Obi, O. F., and Offorha, L. C. (2015). Moisture-dependent physical properties of melon (*Citrullus colocynthis lanatus*) seed and kernel relevant in bulk handling. *Cogent Food & Agriculture*, 1(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1020743>
- Özcan, M., Haciseferoğulları, H., Marakoğlu, T., Arslan, D. (2005). Hawthorn (*Crataegus* spp.) fruit: Some physical and chemical properties. *Journal of Food Engineering*, 69(4), 409–413.
- Özlü, R. R., and Güner, M. (2016). Farklı nem düzeylerinde kanola tohumlarının fiziksel özelliklerinin belirlenmesi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 33(1), 81–90.
- Özarslan, C. (2002). Physical properties of cotton seed. *Biosystems Engineering*, 83(2), 169–174.
- Puchalski, C., Brusewitz, G., and Slipek, Z. (2003). Coefficients of friction for apple on various surfaces as affected by velocity. *Agricultural Engineering International: The CIGR Journal of Scientific Research and Development*, V.

- Roman, L., Guo, M. M., Terekhov, A., Grossutti, M., Vidal, N. P., Reuhs, B. L., and Martinez, M. M. (2021). Extraction and isolation of pectin rich in homogalacturonan domains from two cultivars of hawthorn berry (*Crataegus pinnatifida*). *Food Hydrocolloids*, 113, Article 106476.
- Shafaei, S. M., and Kamgar, S. (2017). A comprehensive investigation on static and dynamic friction coefficients of wheat grain with the adoption of statistical analysis. *Journal of Advanced Research*, 8(4), 351–361.
- Sessiz, A., Esgici, R., and Kızıl, S. (2007). Moisture-dependent physical properties of caper (*Capparis* spp.) fruit. *Journal of Food Engineering*, 79(4), 1426–1431.
- Sessiz, A., Pekitkan, F. G., Esgici, R., and Güzel, E. (2018). Regresyon tekniği kullanılarak kenger (*Gundelia tournefortii*) tohumlarının sürtünme özelliklerinin farklı yüzeyler için belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 14(3), 143–148.
- Sessiz, A., Pekitkan, F. G., ve Esgici, R. (2019). Karacadağ yöresi yerel çeltik çeşitlerinin fiziksel ve sürtünme özelliklerinin karşılaştırılması. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 7(2), 357–364. <https://doi.org/10.33202/comuagri.593608>
- Sologubik, C. A., Campañone, L. A., Pagano, A. M., and Gely, M. C. (2013). Effect of moisture content on some physical properties of barley. *Industrial Crops and Products*, 43, 762–767.
- Wandkar, S. V., Ukey, P. D., and Pawar, D. A. (2012). Determination of physical properties of soybean at different moisture levels. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 14(2), 138–142.
- Wei, X., Xu, K., Qin, W., Lv, S., and Guo, M. (2024). Hawthorn (*Crataegus pinnatifida*) berries ripeness induced pectin diversity: A comparative study in physicochemical properties, structure, function and fresh-keeping potential. *Food Chemistry*, 455, Article 139703.
- Wilhelm, L. R., Suter, D. A., and Brusewitz, G. H. (2004). Physical properties of food materials. In *Food & Process Engineering Technology* (pp. 23–52). ASAE.
- Zandi, M., Ganjloo, A., and Bimakr, M. (2021). Evaluation of physicochemical characterization of hawthorn (*Crataegus pinnatifida*) during various storage conditions and modeling of changes using kinetic models. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 16(5), 507–523.
- Zielinska, M., Zapotoczny, P., Białobrzewski, I., Żuk-Golaszewska, K., and Markowski, M. (2012). Engineering properties of red clover (*Trifolium pratense* L.) seeds. *Industrial Crops and Products*, 37(1), 69–75.

EXTENDED ABSTRACT

Hawthorn (*Crataegus* spp.) is a tree-shaped plant that grows in mountainous areas. Its fruits are round, orange in color and slightly sour. It grows in most Anatolian provinces, especially in the Southeastern Anatolia region of Türkiye, and also in Middle Eastern countries. Some engineering properties of the fruit need to be known accurately for the design of mechanization equipment to be used in the harvest, transportation, conveyance, storage and processing of the fruits of this plant, which is valuable in many ways. In this study, the dimensional properties of the Hawthorn fruit, as well as the static and dynamic friction coefficients at different surface materials and pulling speeds, were determined. The average width and length values for the Hawthorn fruit used in the study were found to be 15.578 mm and 17.00 mm, respectively. Since the thickness and width were the same, the same values were used for these two variables for arithmetic and geometric measurements. While the average weight of one fruit was measured as 2.54 grams, the average grain volume weight of the same grain was found to be 3.04 cm³. The sphericity value was found to be 94.38%, the roundness value was found to be 91.70% and the surface area was found to be 50.48 mm². The porosity value was calculated as 27.91%.

According to the CIELAB values obtained as a result of color measurements, the hawthorn fruit was determined to be intense yellow with a slight red tone at a medium brightness level. The stacking angle of the materials was not affected by the surface material used. The difference between them was statistically insignificant ($p > 0.05$).

According to the variance analysis results performed on the static and dynamic friction coefficients, the difference between the surface materials was statistically significant ($p < 0.05$). While the lowest static and kinetic friction coefficients were obtained on the rubber surface, the highest static and kinetic friction coefficients were obtained on the PVC surface. The difference between the speeds was statistically significant. In other words, the increase in speed affected the static and kinetic friction coefficients. An increase occurred in both static and dynamic friction coefficients depending on the increase in speed. When the difference between the speed values was examined, the lowest static and dynamic friction coefficients were obtained as 0.744 and 0.711 at 5 mm s⁻¹ speed, respectively, while the highest static and dynamic friction coefficients were obtained as 0.891 and 0.852 at 25 mm s⁻¹ speed.

Introduction and Research Questions & Purpose

Hawthorn (*Crataegus* spp.) is a small, thorny, shrubby or shrub-shaped plant belonging to the Rosaceae family that grows naturally in mountainous and forested areas in many countries, especially in the Southeastern Anatolia Region of Turkey and the Middle East, China, and Asian countries. Its fruits are round and orange in color and slightly sour. Hawthorn, which is most commonly consumed in fresh or processed form, is one of the important garden products in terms of human health.

In order to estimate the changes that may occur in the quality of the fruit after harvest, we must first have the necessary information about some quality indicators such as color, hardness, size or weight of the Hawthorn fruit as a function of storage conditions, as well as its durability. Changes occur depending on the fruit ripening as a result of respiration and transpiration that occur in many biochemical and physiological processes under storage conditions. In addition, these changes depend on the external conditions to which the fruit is exposed.

As can be understood, it has been observed that engineering studies conducted to determine the chemical and physical properties of Hawthorn fruits, which are valuable in many ways, are limited.

There is a need to determine some physical and mechanical properties of the fruit for the design of the equipment used in harvesting, transporting, storing and processing the fruits of this plant, which grows naturally without any input in non-agricultural land conditions and is important in many areas, especially health. Because the physical and mechanical properties of agricultural products are the basic parameters that are frequently taken into consideration in the classification and processing of agricultural products as well as the design and manufacturing of agricultural machinery and transport equipment in the related industries such as planting, harvesting-threshing and especially post-harvest.

One of the regions where hawthorn fruit is widely grown in our country is the Southeastern Anatolia Region. It grows naturally in the rural areas of Diyarbakır and Mardin provinces in the region and is consumed by the local people in different ways. It is one of the interesting fruits that take their place on the stalls especially in the city centers in the fall. Therefore, it is necessary to know the physical properties of this fruit for the transportation of the machines that will be used in the harvest, transportation, cleaning, classification, grading, drying, storage, packaging and processing of this fruit for different purposes after harvest for a correct design. Therefore, this study was conducted to benefit from this fruit in a different way in the future and to evaluate it in the industrial sector. The aim of the study is to determine the physical and friction forces and coefficients of the fruit of the plant known as hawthorn in Anatolia, which grows naturally in nature, depending on different material surfaces and different shrinkage speeds and to develop multiple regression equations as a result of the evaluation of the obtained data.

Methodology

Naturally grown fresh hawthorn fruits were obtained from vendors in Mardin province in September 2024. In order to determine the physical properties of the fruit seeds, seed length (mm), width (mm) and thickness (mm) were determined using a digital caliper with a precision of 0.01 mm, seed weight (g) was determined using a precision balance with a precision of 0.001 g and seed volume (ml) using a measuring cylinder. Moisture content was determined according to the ASABE Standard (Standard S352.2, 2006), and 25 g samples for each test level were weighed in 3 replicates and left to dry in the oven at 103° C for 24 hours (Aviara et al., 2015; Obi and Offorha., 2015). After drying, the samples were weighed again and seed moisture content was determined. The average moisture content (w.b.) was measured as 61.44%. A cylinder made of chrome material with a diameter of 100 mm and a height of 500 mm was used to determine the accumulation angles on different surface materials. CM11P brand colorimeter was used to measure the color scale L^* , a^* and b^* values. A specially designed test setup consisting of three units was created to determine the friction properties. A Llyod Plus brand testing device and mechanism with a capacity of 2.500 N working in tension and compression was used to measure friction forces.

Results and Conclusions

In the study, the average width and length values for the hawthorn fruit whose physical properties were examined were found to be 15.578 mm and 17.00 mm, respectively. The average weight of one fruit was measured as 2.54 g, while the average grain volume weight of the same fruit was found to be 3.04 cm³. The sphericity value was found to be 94.38%, the roundness value was 91.70% and the surface area was found to be 50.48 mm². The real (1 piece) volume weight (g cm⁻³) was calculated as 0.86, and the volumetric (bulk) weight (g cm⁻³) was calculated as 0.62. The porosity value calculated from the real grain volume weight and fruit bulk volume weight and required for storage structures was calculated as

27.91%. The data obtained as a result of the tests conducted using galvanized sheet, chrome, PVC and rubber materials were used to create multiple regression equations and multiple regression coefficients for static and kinetic friction properties for each surface material. Partial regression coefficients in the equations have positive effects on the friction force and friction coefficient values, while those with negative partial regression coefficients have a decreasing effect. In galvanized sheet and rubber materials with high fixed and partial coefficients, the friction force and coefficients were higher than in chrome and PVC materials. Therefore, by using these coefficients developed for different surfaces, estimated data can be obtained without the need for experimental data for both static and kinetic friction values. When surface materials and withdrawal speeds are taken into account, the lowest friction coefficient values were obtained in rubber and chrome materials and at withdrawal speeds of 5 mm s⁻¹ and 10 mm s⁻¹. When static and dynamic friction coefficient values are compared, it is seen that static friction coefficient values were higher than dynamic coefficients in all materials and speed values.

Yazarların Biyografisi



Abdullah SESSİZ

Prof.Dr. Abdullah Sessiz, 1989 yılında Çukurova Üniversitesi Tarım Makinaları Bölümü'nden lisans derecesi ile mezun olmuştur. 1993 yılında Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Mekanizasyon Anabilim Dalında Yüksek Lisansı, 1998 yılında Trakya Üniversitesi FBE Tarım Makinaları Anabilim Dalında doktorasını tamamlamıştır. 1992-1999 yıllarında Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmıştır. Abdullah Sessiz, 1999 tarihinden bu yana Dicle Üniversitesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü'nde görev yapmaktadır. Toprak İşleme Sistemleri, Biyolojik Malzeme Bilgisi, Bitkisel Atık Yönetimi, Hasat ve Hasat sonrası konuları üzerinde çalışmaktadır

İletişim

ORCID Adresi

asesiz@dicle.edu.tr
<https://orcid.org/0000-0002-3883-0793>



Fatıma Susen ÇEVİK

2023 yılında Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalında Prof. Dr. Abdullah SESSİZ danışmalığında yüksek lisans yapmaktadır.

İletişim

ORCID Adresi

ozdemirsusen@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0001-8409-773X>



Nadide SOLMAZ

2022 yılında Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi bölümünden mezun olmuştur. D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalında Prof. Dr. Abdullah SESSİZ danışmalığında yüksek lisans yapmaktadır.

İletişim

ORCID Adresi

nadideya@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0005-5431-6777>



Ezgi Lorin KARAER

2024 yılında Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans yapmaktadır.

İletişim

ORCID Adresi

lorinkaraer@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0005-2383-4416>

Farklı Nem İçeriklerinin Aspir Tohumlarının Geometrik, Hacimsel, Sürtünme ve Renk Özelliklerine Etkisi

Effect of Different Moisture Contents on Geometrical, Volumetric, Frictional and Color Properties of Safflower Seeds

Şerife Aysuhan Gedik^{1,*} Şaziye Dökülen² Ebubekir Altuntaş³

¹Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, Tokat, Türkiye.

²Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Tokat, Türkiye.

³Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tokat, Türkiye.

* Corresponding author (Sorumlu Yazar): Ş.A. Gedik, e-mail (e-posta): aysuhangedik9@gmail.com

Makale Bilgisi

Alınış tarihi : 23.06.2025
Düzeltilme tarihi : 01.08.2025
Kabul tarihi : 08.08.2025

Anahtar Kelimeler:

Küresellik
Sürtünme katsayısı
Kroma

Atfı için:

Gedik, Ş.A., Dökülen, Ş., Altuntaş, E., (2025). "Farklı Nem İçeriklerinin Aspir Tohumlarının Geometrik, Hacimsel, Sürtünme ve Renk Özelliklerine Etkisi", Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 21(2): 121-138.

ÖZET

Bu çalışmada, aspir (*Carthamus tinctorius* L.) çeşitlerinin (Remzibey-05, Shifa, Göktürk), bazı fiziksel özellikleri (geometrik, hacimsel, sürtünme ve renk özellikleri), nem içeriğinin bir fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Denemeler üç farklı nem içeriğinde yürütülmüştür. Nem içerikleri, çeşitler bazında Remzibey-05 için %6.08; %10.31 ve %20.89; Shifa için %6.36; %11.59 ve %19.72 ve Göktürk için %6.04, %9.95 ve %20.69 olarak belirlenmiştir. Remzibey-05, Shifa ve Göktürk çeşitlerine ait tohumlarda nem içeriğinin artışıyla geometrik özellik (geometrik ortalama çap, küresellik, yüzey alanı) değerlerinde bir artış görülmüştür. Remzibey-05 ve Göktürk çeşitleri için, hacimsel özelliklerden tohum ağırlığı, 1000 tane ağırlığı, hacim değerleri nem içeriği ile artış gösterirken, hacim ağırlığı, gerçek hacim ağırlığı ve porozite değerlerinde azalışlar görülmüştür. Remzibey-05 çeşidinde doğal yığılma açısı değerleri nem içeriğinin artışıyla azalırken, Shifa ve Göktürk çeşitlerinde artışlar görülmüştür. Shifa ve Göktürk çeşitlerinde nem içeriği değişimiyle tüm sürtünme yüzeylerinde sürtünme katsayısı değerleri artış göstermiştir. Shifa ve Göktürk çeşitlerinde L^* ve a^* renk değerleri azalırken b^* , Kroma ve Hue açısı değerlerinde artışlar görülmüştür. Aspir tohumlarının geometrik, hacimsel, sürtünme ve renk özellikleri; hasat sonrası teknolojiler olarak ayırma, sınıflandırma, taşıma, pazarlama, koruma (depolama, işleme, vb.) proseslerinde kullanılacak makine ve sistemlerin dizaynı, geliştirilmesi ve işletme aşamalarında önemli mühendislik verileri olarak kullanılabilir.

Article Info

Received date : 23.06.2025
Revised date : 01.08.2025
Accepted date : 08.08.2025

Keywords:

Sphericity
Coefficient of friction
Chroma

How to Cite:

Gedik, Ş.A., Dökülen, Ş., Altuntaş, E., (2025). "Effect of Different Moisture Contents on Geometrical, Volumetric, Frictional and Color Properties of Safflower Seeds", Journal of Agricultural Machinery Science, 21(2): 121-138.

ABSTRACT

In this study, some physical properties (geometrical, volumetric, frictional and color properties) of safflower (*Carthamus tinctorius*) cultivars (Remzibey-05, Shifa, Göktürk) were determined as a function of moisture content. The experiments were conducted at three different moisture contents. Moisture contents were determined as 6.08%, 10.31% and 20.89% for Remzibey-05, 6.36%, 11.59% and 19.72% for Shifa and 6.04%, 9.95% and 20.69% for Göktürk. There was an increase in geometric trait (geometric mean diameter, sphericity, surface area) values with the increase in moisture content in seeds of Remzibey-05, Shifa and Göktürk varieties. For Remzibey-05 and Göktürk varieties, seed weight, 1000 seed mass and volume values of volumetric traits increased with moisture content, while volume weight, actual volume weight and porosity values decreased. While natural angle of repose values decreased with increasing moisture content in Remzibey-05 variety, increases were observed in Shifa and Göktürk varieties. In Shifa and Göktürk varieties, friction coefficient values increased on all friction surfaces with the change in moisture content. While L^* and a^* color values decreased in Shifa and Göktürk varieties, b^* , Chroma and Hue angle values increased. Geometric, volumetric, friction and color properties of safflower seeds; design and development of machines and systems to be used in the processes of separation, classification, transportation, marketing, preservation (storage, processing, etc.) as post-harvest technologies.

1. GİRİŞ

Değerli bir yağ kaynağı olan aspir (*Carthamus tinctorius* L.) tek yıllık ve otsu bir bitkidir (Baydar ve Erbaş, 2020). Yalancı safran, Amerikan safranı ve boyacı safranı olarak da adlandırılan aspir, genellikle 50–150 cm arasında boylanabilen, dikenli ve dikensiz formları olan, sarı, beyaz, kırmızı ve turuncu gibi farklı renklerde çiçek açan, dallanan ve dallarının ucunda tablaları olan ve tablaların içerisinde beyaz ve krem renkli tohumlarının bulunduğu, yaklaşık 110-140 gün vejetasyon süresine sahip bir yağ bitkisidir (Babaoğlu, 2007; Nacar ve ark., 2016). Aspir, sıcak ve soğuk iklim şartlarına adapte olabilen ve kuru tarım koşullarında yetiştiriciliği yapılabilen, yabancı otlara ve tuzluluğa toleransıyla da sulu tarım koşullarında alternatif olarak değerlendirilebilecek bir bitkidir. Aspir bitkisinin bu önemli avantajları nedeniyle diğer yağ bitkilerine göre tarımsal üretim potansiyelinin daha yüksek olduğu görülmektedir (Baydar ve Turgut, 1993; Baydar ve Gökmen, 2003; Baydar ve Erbaş, 2007).

Aspir bitkisinin tarımı için Türkiye uygun ekolojik koşullara sahip olmasına karşın, yağlı tohumlar, bitkisel yağlar ve türevlerinin ithalatı petrol ve petrol ürünlerinden sonra ithalat kaleminizde ikinci sırada yer almaktadır. Yağ ithalatımızı azaltmak ve bitkisel yağ açığımıza katkı sağlamak adına alternatif yağ bitkilerinin üretimi büyük önem taşımaktadır (Küçük ve ark., 2021). Aspir bitkisinin neredeyse her bölgemizde kolaylıkla yetiştirilebilir olması, bitki kök yapısının derin ve aynı zamanda kuraklığa dayanıklılığı, Türkiye'nin yemeklik yağ gereksinimine katkı sağlayabilecektir. Ayrıca yüksek miktarda oleik asit içeriği olan aspir yağının, sera gazlarının azaltılması ve CO₂ emisyon miktarı ve hava kirliliğini azaltıcı bir biyodizel yakıt olarak önemli bir potansiyeli de mevcuttur (Öğüt ve ark., 2007; Kayaçetin ve ark., 2012; Babaoğlu, 2017).

Hem biyodizel üretim potansiyeliyle de alternatif bir enerji kaynağı olması hem de aspir bitkisinin küspesinin hayvan yemi olarak kullanılabilmesi, Türkiye'nin bitkisel yağ üretimindeki açığın giderilmesinde, üretim alanlarının artırılmasıyla hem üretici çiftçilerimize ve sanayicilerimize ticari anlamda önemli katkılarının olacağı görülmektedir (Erbaş, 2012). Tarımsal katkısı ve yüksek enerji potansiyeli olan aspir bitkisi, Türkiye'nin özellikle kurak ve yarı kurak tarım koşullarında alternatif ekim nöbetine uyabilecek değerli bir bitkidir (Uysal ve ark., 2006; Baydar ve Erbaş, 2007).

Tarımsal ürünlerin kaliteli ediniminde, hasat öncesi toprak, iklim ve tarımsal uygulama teknikleri gibi faktörler yanında, hasat yöntemleri, hasat sonrası koşullar, işlemler ve depolama önemli bir etkiye sahiptir. Tarımsal ürünlerin düzensiz şekil, boyut ve ölçülere sahip olduğu bilinmektedir. Bu ürünlere ait fiziksel özellikler (geometrik, hacimsel, sürtünme ve renk özellikleri), ekim, hasat, hasat sonrası işlemler, depolama, paketlenme ve kalite kontrol aşamalarında dikkate alınmalıdır (Anonim, 2022). Tarımsal ürünlerin hasat ve hasat sonrası hem asgari enerji ve iş gücü kullanımıyla eldesinde kullanılacak makine ve sistemlerin dizaynı, yapımı ve geliştirilmesine yönelik olarak ilgili ürüne ait fiziksel özellikler olarak geometrik, hacimsel, sürtünme ve renk özelliklerinin belirlenmesi büyük önem arz etmektedir (Bracacescu ve ark., 2018).

Literatür araştırmalarında, aspir bitkisi ve tohumlarına ait fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikler üzerine çeşitli çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Çalışır ve ark. (2005), Konya yöresinde yetiştirilen aspir tohumlarının fiziksel özelliklerine farklı nem düzeylerinin etkilerini; Aktaş ve ark. (2006), Dinçer aspir çeşidine ait tohumların bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine farklı nem içeriklerinin etkisini; Shahbazi ve ark. (2011) ise, aspir bitkisi sapının bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine farklı nem içeriklerinin etkisini; Kobuk ve ark. (2019), farklı aspir çeşitlerine ait tohumların bazı fiziksel ve

kimyasal özelliklerini; Elton ve ark. (2017a, b), kurutmanın aspir tanelerinin temel fiziksel özelliklerine ve tanelerin hacimsel değişimine etkilerini değerlendirmişlerdir.

Yapılan bu çalışmada, farklı aspir çeşitleri olarak Remzibey-05, Shifa ve Göktürk çeşitlerine ait tohumların farklı nem içeriklerinin geometrik, hacimsel, sürtünme ve renk özelliklerine etkileri birlikte incelenmiş olması nedeniyle daha önceki çalışmalardan farklılık göstermekte olup, çalışmanın bilimsel literatüre katkı sunacağı öngörülmektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada kullanılan Remzibey-05, Shifa ve Göktürk aspir çeşitlerine ait tohumlar, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü'nden temin edilmiştir.

Remzibey-05: Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü tarafından 2005 yılında tescil edilmiştir. Çiçek rengi sarı, tane rengi ise beyaz ve dikenli bir yapıya sahiptir. Bitki boyu 60-80 cm'dir. Bin tane ağırlığı 46-50 g ve yağ oranı ise %32-35'tir (Anonim, 2025a).

Shifa: Tacikistan'dan getirilen bir aspir çeşididir. Dikensiz bir çeşit olup, bitki boyu 50-97 cm'dir. Bin tane ağırlığı 37-43 g ve yağ oranı %24-28 arasında değişiklik göstermektedir (Katar ve ark., 2016; Yılmaz ve Dökülen, 2025).

Göktürk: Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü tarafından 2016 yılında tescil edilmiştir. Çiçek rengi sarı açıp turuncuya döner, tane rengi beyaz ve dikenli bir yapıya sahiptir. Bitki boyu 90-100 cm'dir. Bin tane ağırlığı 38-43 g ve yağ oranı %34-35 arasında değişiklik göstermektedir (Coşar, 2023; Anonim, 2025b).

Denemelerde kullanılan tohumlara ait geometrik, hacimsel özellikler, sürtünme ve renk özelliklerine ait ölçümler Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Biyolojik Malzeme Laboratuvarında yapılmıştır. Remzibey-05, Shifa ve Göktürk aspir çeşitlerine ait tohum örnekleri Şekil 1'de ve farklı nem içerikleri Çizelge 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Aspir çeşitlerine ait tohum örnekleri

2.1. Nem Ölçümünün belirlenmesi

Aspir çeşitlerine ait tohumların ilk nem içeriği, tohum örneklerinin $105\pm1^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta 24 saat süreyle kuru fırında (etüv) kurutulmasıyla, kuru baz (% k.b.) olarak belirlenmiştir (Altuntaş ve ark., 2020). Farklı nem içerikleri için tohum örnekleri, hesaplanan miktarlarda damıtılmış su ilave edilerek Eşitlik (1)'den yararlanılarak belirlenmiştir (Gupta ve Das, 1997; Saçılık ve ark., 2003).

$$Q = \frac{W_i (M_f - M_i)}{(100 - M_f)} \quad (1)$$

Q : Eklenecek saf su miktarı, (kg)

W_i : Materyal ağırlığı, (kg)

M_f : Arzu edilen son nem

M_i : Materyalin mevcut nemi

Arzu edilen farklı nem içerikleri için nem düzeyinin üniform bir şekilde kalması için tohum örnekleri kilitli plastik poşetlere konulmuş, 278°K'de 7 gün zarfında buzdolabında bekletilmiştir. Denemelere başlamadan önce istenilen miktarda örnekler buzdolabından alınarak oda sıcaklığına gelmesi sağlanmıştır (Aydın ve Özcan, 2002). Denemede, aspir çeşitlerine ait tohumlarının nem değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan aspir çeşitlerinin nem içeriği değerleri (% k. b.)*

<i>Nem içerikleri</i>	<i>Aspir çeşitleri</i>		
	<i>Remzibey-05</i>	<i>Shifa</i>	<i>Göktürk</i>
1. nem	6.08 ±0.129	6.36±0.391	6.04±0.216
2. nem	10.31±0.247	11.59 ±0.06	9.95±0.492
3. nem	20.80±0.428	19.72±0.136	20.69±0.292

*: % kuru baza göre nem içeriği

2.2. Boyut Özelliklerinin Belirlenmesi

Aspir tohumlarının geometrik ve hacimsel özelliklerini belirlemek için her bir çeşide ait nem içeriğinde 100 adet örnekleme tohumun uzunluk, (L_n), genişlik (W_d) ve kalınlık (T_i) değerleri 0.01 mm hassasiyetli dijital bir kumpas ile ölçülmüştür. Tohumların küresellik (S_h), geometrik ortalama çap (G_o) ve yüzey alanı (S_r) değerleri, aşağıda verilen Eşitlik (2-4) ile hesaplanmıştır (Mohsenin, 1980).

$$G_o = (L_n \times W_d \times T_i)^{0.33} \quad (2)$$

$$S_h = [(G_o/L_n)] \times 100 \quad (3)$$

$$S_r = \pi (G_o)^2 \quad (4)$$

L_n : Uzunluk

W_d : Genişlik

T_i : Kalınlık

G_o : Geometrik ortalama çap

S_h : Küresellik

S_r : Yüzey alanıdır

2.3. Hacim Ağırlıklarının Belirlenmesi

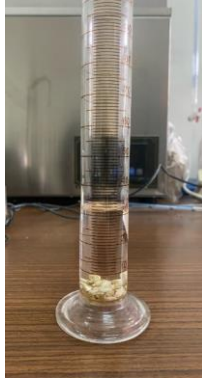
Her bir çeşide ait nem içerikleri için aspir tohum örneklerinin ağırlıklarının (M_t) ölçümü 0.001 g hassasiyetli elektronik dijital terazi ile yapılmıştır. 1000 tane ağırlıkları (M_{1000}) için üç tekrarlı 100 adet tohum örneğinin ağırlıklarının ortalamaları dikkate alınmıştır. Hektolitre yöntemiyle aspir tohumlarının yığın hacim ağırlığı (ρ_{mb}), gerçek hacim ağırlığı (ρ_{mt}) değerlerinde de sıvı yer değiştirme metodu

kullanılmış, sıvı akışkan olarak *Toluen* kullanılmıştır (Saçılık ve ark., 2003). Bu amaçla darası alınan dereceli ölçü kabına konulan aspir tohumlarının hacim (Şekil 2) ve örnek ağırlığından gerçek hacim ağırlığı (gerçek hacim ağırlığı, true density) kg m^{-3} cinsinden belirlenmiştir. Aspir tohumlarının hacmi (V_t) boyutsal eksenler porozite (P_{or}) değerinde ise hacim ağırlıkları dikkate alınarak Eşitlik (5 ve 6)'da belirlenebilmektedir (Mohsenin, 1980).

$$V_t = \pi/6 (L_n \times W_d \times T_i) \quad (5)$$

$$P_{or} = [(1 - \rho_{mb}) / (\rho_{mt})] \times 100 \quad (6)$$

Aspir çeşitlerine ait tohumların farklı sürtünme yüzeyleri (lastik, PVC, kontrplak, galvaniz sac ve laminant) kullanılarak statik sürtünme katsayısının belirlenmesinde, sürtünme ölçüm düzeneği kullanılmıştır. Bu düzenek, eğimi ayarlanabilir vidalı bir kola sahip olup, statik sürtünme katsayısı ölçüm sırasında, aspir tohumların eğimli yüzey üzerinde hareket etmeye başladığı ilk andaki okunan eğim (meyil) açısı dikkate alınarak belirlenmiştir (Yılmaz ve Altuntaş, 2020) (Şekil 3).



Şekil 2. Gerçek hacim ağırlığının belirlenmesi



Şekil 3. Statik sürtünme katsayısının belirlenmesi

Doğal yığılma açısının (θ_y °) belirlenmesinde 300 x 500 mm ölçülü üst ve altı açık bir silindir kullanılarak, örnekleme tohumlarla tamamen doldurulmuş silindirin düz bir plaka yüzey üzerinde konik bir şekil (Şekil 4) oluşmasına kadar yavaşça yukarı kaldırılmış, serbest yığılmalı tohumların oluşturduğu koninin eğim açısı, doğal yığılma açısı olarak belirlenmiş ve Eşitlik (7) ile hesaplanmıştır (Kaleemullah ve Gunasekar, 2002).

$$\theta_y = [(1 / \tan (\frac{H}{R}))] \quad (7)$$

H : Oluşan koninin yüksekliği, (cm)

R : Oluşan koninin taban yarıçapı, (cm)



Şekil 4. Doğal yığılma açısının belirlenmesi

2.4. Renk Özelliklerinin Belirlenmesi

Renk özelliklerinin belirlenmesi için farklı aspir tohumları renk ölçer cihazı kullanılmış, 9 ölçüm tekrarı yapılmıştır. Renk karakteristikleri arasında L^* (parlaklık), a^* (kırmızılık) değeri ve b^* (sarılık) değeri belirlenmiş, ilaveten Kroma (C) ve Hue açısı (α) Eşitlik (8 ve 9) kullanılarak hesaplanmıştır (McGuire, 1992).

$$C = (a^2 + b^2)^{0.5} \quad (8)$$

$$\alpha = 1/\tan \left[\left(\frac{b}{a} \right) \right] \quad (9)$$

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Farklı nem içeriklerinin Remzibey-05, Shifa ve Göktürk aspir çeşitlerine ait tohumların fiziksel özelliklerinden geometrik, hacimsel, sürtünme ve renk özelliklerine etkilerine sonuçlar başlıklar halinde verilmiştir.

3.1. Geometrik Özellikler

Farklı nem içeriklerinde aspir çeşitlerine ait tohumların geometrik özelliklerinden uzunluk, genişlik, kalınlık boyutlarının yanında geometrik ortalama çap, küresellik ve yüzey alanı değerleri çeşit bazında Remzibey-05, Shifa ve Göktürk çeşitleri için sırasıyla Tablo 2, 3 ve 4'te verilmiştir.

Tablo 2 incelendiğinde, Remzibey-05 çeşidinde boyut özelliklerinden uzunluk değeri nem içeriği değişimine göre 7.05-7.46 mm, genişlik değerleri 3.97-4.27 mm, kalınlık değerleri ise 2.78-2.91 mm arasında değişmiştir. Nem içeriğinin %6.08'den %20.89'a kadar artışında üç eksenli oluşturan boyutlarda sırasıyla %5.73, %7.64 ve %4.86 artışlar görülmüştür. Geometrik ortalama çap, küresellik ve yüzey alanı değerlerinin nem içeriği artışına göre değişimleri sırasıyla 4.25-4.51 mm, %60.36-60.58 ve 0.57-0.64 cm² arasında değişmiştir. Nem içeriğinin %6.08'den %20.89'a kadar artışında bu parametrelerde sırasıyla %6.12, %0.36 ve %12.28 artışlar görülmüştür. İstatistiksel olarak geometrik özelliklerden boyut özellikleri (uzunluk, genişlik, kalınlık), geometrik ortalama çap ve yüzey alanı değerleri üzerine nem içeriğinin etkisi $p < 0.01$ seviyesinde önemli bulunurken, küresellik değerlerine etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Tablo 2. Remzibey-05 aspir çeşidinde nem içeriğinin geometrik özelliklere etkisi

Nem içeriği (% k. b.)	Uzunluk (L_n , mm)	Genişlik (W_d , mm)	Kalınlık (T_i , mm)	Geometrik ortalama çap (G_o , mm)	Küresellik (S_h , %)	Yüzey alanı (S_r , cm ²)
6.08	7.052±0.172 b**	3.965±0.474 b**	2.777±0.334 b**	4.248±0.348 b**	60.359±4.098 a ^{ns}	0.569±0.093 b**
10.31	7.445±0.139 a**	4.199±0.173 a**	2.872±0.101 a**	4.463±0.120 a**	60.021±1.215 a ^{ns}	0.627±0.034 a**
20.89	7.456±0.146 a**	4.268±0.130 a**	2.912±0.059 a**	4.514±0.094 a**	60.582±0.520 a ^{ns}	0.642±0.028 a**
F değeri	22.600	12.549	6.167	18.249	0.583	16.750

±: standart sapma, ns: önemsiz, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

Shifa çeşidinde nem içeriğinin %6.36'dan %19.72'e kadar artışında uzunluk, genişlik ve kalınlık eksenlerinde sırasıyla %2.49, %4.27 ve %2.47 artışlar görülmüştür. Nem içeriğinin %6.36'dan %19.72'ye kadar artışında geometrik ortalama çap, küresellik ve yüzey alanı değerleri sırasıyla %3.12 %0.58 ve %6.35 artış göstermiştir. İstatistiki olarak geometrik ortalama çap ve küresellik değerleri üzerine nem içeriğinin etkisi önemsiz bulunmuş, yüzey alanına etkisi ise $p < 0.05$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 3).

Tablo 3. Shifa aspir çeşidinde nem içeriğinin geometrik özelliklere etkisi

Nem içeriği (% k. b.)	Uzunluk (L_n , mm)	Genişlik (W_d , mm)	Kalınlık (T_i , mm)	Geometrik ortalama çap (G_o , mm)	Küresellik (S_h , %)	Yüzey alanı (S_r , cm ²)
6.36	7.112±0.186 a ^{ns}	3.983±0.157 b ^{**}	2.833±0.133 a ^{ns}	4.297±0.137 b ^{ns}	60.548±1.576 a ^{ns}	0.583±0.037 b [*]
11.59	7.134±0.231 a ^{ns}	3.998±0.141 b ^{**}	2.849±0.126 a ^{ns}	4.316±0.126 a ^{ns}	60.625±1.101 a ^{ns}	0.589±0.033 ab [*]
19.72	7.289±0.257 a ^{ns}	4.153±0.164 a ^{**}	2.903±0.145 a ^{ns}	4.431±0.163 a ^{ns}	60.900±1.395 a ^{ns}	0.620±0.044 a [*]
F değeri	1.820	3.745	0.739	2.596	0.182	2.722

±: standart sapma, ns: önemsiz, *: p<0.05, **: p<0.01

Göktürk çeşidinde nem içeriğinin %6.04'den %20.69'a kadar artışında uzunluk, genişlik ve kalınlık boyutlarında sırasıyla %2.02, %3.07 ve %7.11 artışlar görülmüşken, geometrik ortalama çap, küresellik ve yüzey alanı değerlerinde ise %4.06, %2.12 ve %8.1 artışlar görülmüştür. Nem içeriğinin geometrik ortalama çap değerleri üzerine etkisi p<0.01, genişlik ve yüzey alanı değerleri üzerine p<0.05 seviyesinde önemli bulunurken, uzunluk ve küresellik değerleri üzerine etkileri ise önemsiz bulunmuştur (Tablo 4). Tüm çeşitler bazında yapılan genel bir değerlendirmede uzunluk ve küresellik üzerine nem içeriğinin etkisi önemsiz iken yüzey alanı üzerine de p<0.05 seviyesinde önemli etkileri olduğu görülmüştür.

Tablo 4. Göktürk aspir çeşidinde nem içeriğinin geometrik özelliklere etkisi

Nem içeriği (% k. b.)	Uzunluk (L_n , mm)	Genişlik (W_d , mm)	Kalınlık (T_i , mm)	Geometrik ortalama çap (G_o , mm)	Küresellik (S_h , %)	Yüzey alanı (S_r , cm ²)
6.04	7.245±0.414 a ^{ns}	4.013±0.417 b [*]	2.741±0.282 b ^{**}	4.289±0.279 b ^{**}	59.256±3.445 a ^{ns}	0.580±0.075 b [*]
9.95	7.296±0.483 a ^{ns}	4.014±0.354 b [*]	2.800±0.259 b ^{**}	4.331±0.257 b ^{**}	59.475±3.158 a ^{ns}	0.592±0.070 b [*]
20.69	7.391±0.499 a ^{ns}	4.136±0.323 a [*]	2.936±0.285 a ^{**}	4.463±0.257 a ^{**}	60.512±3.353 a ^{ns}	0.627±0.072 a [*]
F değeri	1.137	3.412	7.549	7.405	2.495	2.722

±: standart sapma, ns: önemsiz, *: p<0.05, **: p<0.01

Geometrik özellikler bakımından; aspir çeşitlerinin boyutsal değerlerinde nem artışıyla birlikte artış gözlemlenmiş, bu durum daha önce benzer sonuçlara ulaşan Aktas ve ark. (2006) ile paralellik göstermektedir. Özellikle Göktürk ve Remzibey-05 çeşitlerinde geometrik ortalama çap ve yüzey alanı değerlerinde anlamlı artışlar tespit edilmiştir. Elton ve ark. (2017a)'nın kurutma işlemleri sırasında aspir tohumlarının boyutlarda azalmanın tespit edildiğini açıklamışlardır. Dolayısıyla aspir tohumları nem artışının boyutsal olarak eksenele olarak artış göstermiştir.

3.2. Hacimsel Özellikler

Aspir tohumlarının farklı nem içeriklerindeki tohum ağırlığı, 1000 tane ağırlığı yanı sıra tohum hacmi, hacim ağırlığı ve gerçek hacim ağırlığı, porozite değerleri Remzibey-05, Shifa ve Göktürk çeşitleri için sırasıyla Tablo 5, 6 ve 7'de verilmiştir.

Remzibey-05 çeşidinde tohum ağırlığı ve 1000 tane ağırlığı değerleri nem içeriği değişimine göre sırasıyla 0.043-0.053 g ve 39.40-45.37 g arasında değişirken, gerçek hacim ağırlığı ve porozite değerleri 978.3-884.6 kg m⁻³ ve %36.0-%32.8 aralığında değişim göstermiştir. Nem içeriğinin %6.08'den %20.89'a kadar artışında tohum tane ağırlığı ve 1000 tane ağırlığı değerleri sırasıyla %22.22 ve %15.15 artışlar, tohum hacim ağırlığı ve porozite değerlerinde ise sırasıyla %9.58 ile %8.91 oranında azalışlar görülmüştür. İstatistiki olarak tohum tane ağırlığı, 1000 tane ağırlığı ve hacim ağırlığı değerleri üzerine

nem içeriğinin etkisi $p<0.01$ seviyesinde önemli bulunurken, tohum hacmi ve porozite değerleri üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur (Tablo 5).

Tablo 5. Remzibey-05 aspir çeşidinde nem içeriğinin hacimsel özelliklere etkisi

Nem içeriği (% k. b.)	Tohum ağırlığı (M_t , g)	1000 tane ağırlığı (M_{1000} , g)	Hacim (mm^3) V_t , cm^3	Hacim ağırlığı ρ_{mb} ($kg\ m^{-3}$)	Gerçek hacim ağırlığı (ρ_{mt} , $kg\ m^{-3}$)	Porozite (P_{or} , %)
6.08	0.0432±0.0031 b**	39.40±0.2309 a**	0.0412±0.0106 a ^{ns}	616.84±2.53 a**	978.30±97.24 a*	36.02±5.93 a ^{ns}
10.31	0.0459±0.0030 b**	41.23±0.4247 a**	0.0470±0.0086 a ^{ns}	618.72±4.84 a**	957.07±67.66 ab*	35.09±4.50 a ^{ns}
20.89	0.0528±0.0037 a**	45.37±0.2524 b**	0.0463±0.0084 a ^{ns}	592.94±6.58b**	884.57±44.97 b*	32.81±3.75 a ^{ns}
F değeri	22.690	79.562	1.021	50.841	3.107	0.709

±: standart sapma, ns: önemsiz, *: $p<0.05$, **: $p<0.01$

Tablo 6 incelendiğinde, Shifa çeşidinde tohum ağırlığı, 1000 tane ağırlığı ve gerçek hacim ağırlığı değerleri nem içeriği değişimine göre sırasıyla 0.040-0.051 g, 35.23-39.80 g ve 959.9-939.9 $kg\ m^{-3}$ arasında değişmiştir. Nem içeriğinin %6.36'dan %19.72'ye kadar artışında tohum tane ağırlığı ve 1000 tane ağırlığı değerleri sırasıyla %28 ve %12.97 artışlar görülürken, tohum hacim ağırlığında ise %2.08 oranında bir azalış görülmüştür. İstatistiksel olarak tohum tane ağırlığı üzerine nem içeriğinin etkisi $p<0.01$ seviyesinde önemli bulunurken, 1000 tane ağırlığı ve hacim ağırlığı değerleri üzerine nem içeriğinin etkisi $p<0.05$ seviyesinde önemli bulunmuştur. Tohum hacmi, gerçek hacim ağırlığı ve porozite değerleri üzerine nem içeriğinin etkisi önemsiz bulunmuştur.

Tablo 6. Shifa aspir çeşidinde nem içeriğinin hacimsel özelliklere etkisi

Nem içeriği (% k. b.)	Tohum ağırlığı (M_t , g)	1000 tane ağırlığı (M_{1000} , g)	Hacim (mm^3) V_t , cm^3	Hacim ağırlığı ρ_{mb} ($kg\ m^{-3}$)	Gerçek hacim ağırlığı (ρ_{mt} , $kg\ m^{-3}$)	Porozite (P_{or} , %)
6.36	0.0400±0.0028 b**	35.23±0.3372 b*	0.0369±0.0099 a ^{ns}	635.98±1.03 b*	959.86±104.02 a ^{ns}	33.01±8.14 a ^{ns}
11.59	0.0502±0.0034 a**	37.47±1.3154ab*	0.0440±0.0136 a ^{ns}	643.51±2.40 a*	951.94±72.92 a ^{ns}	32.05±5.44 a ^{ns}
19.72	0.0512±0.0034 a**	39.80±1.0786 a*	0.0450±0.0102 a ^{ns}	611.97±4.99 c*	939.85±83.44 a ^{ns}	34.47±5.64 a ^{ns}
F değeri	37.450	6.875	1.511	153.792	0.079	0.209

±: standart sapma, ns: önemsiz, *: $p<0.05$, **: $p<0.01$

Göktürk çeşidinde tohum ağırlığı, 1000 tane ağırlığı, hacim ağırlığı ve gerçek hacim ağırlığı değerleri nem içeriği değişimine göre sırasıyla 0.041-0.052 g, 39.80-43.17 g, 612.6-564.1 $kg\ m^{-3}$ ve 1029.7-848.0 $kg\ m^{-3}$ arasında değişmiştir. Nem içeriğinin %6.04'ten %20.69'a kadar artışında tohum tane ağırlığı ve 1000 tane ağırlığı değerleri sırasıyla %26.46 ve %8.47 artışlar gösterirken, hacim ağırlığı ve gerçek hacim ağırlığı değerleri ise %7.93 ve %176.50 oranında azalış göstermiştir. İstatistiksel olarak tohum tane ağırlığı üzerine nem içeriğinin etkisi $p<0.01$ seviyesinde önemli bulunurken, 1000 tane ağırlığı, hacim ağırlığı ve gerçek hacim ağırlığı değerleri üzerine nem içeriğinin etkisi $p<0.05$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 7).

Tablo 7. Göktürk aspir çeşidinde nem içeriğinin hacimsel özelliklere etkisi

<i>Nem içeriği (% k. b.)</i>	<i>Tohum ağırlığı (M_t, g)</i>	<i>1000 tane ağırlığı (M₁₀₀₀, g)</i>	<i>Hacim (mm³) V_t, cm³)</i>	<i>Hacim ağırlığı ρ_{mb} (kg m⁻³)</i>	<i>Gerçek hacim ağırlığı (ρ_{mt}, kg m⁻³)</i>	<i>Porozite (P_{or}, %)</i>
6.04	0.0412±0.0029 a**	39.80±1.0786 b*	0.0444±0.0086 a ^{ns}	612.64±4.21 a*	1029.72±180.45a*	38.84±11.55 ^{ns}
9.95	0.0439±0.0021 b**	40.03±0.9008 b*	0.0420±0.0075 a ^{ns}	602.34±2.84b*	998.48±97.54 ab*	39.22±5.58b ^{ns}
20.69	0.0521±0.025 c**	43.17±1.1027 a*	0.0472±0.0071 a ^{ns}	564.06±3.43 c*	847.97±57.84 b*	33.23±4.48b ^{ns}
F değeri	51.331	6.981	1.116	314.420	3.743	1.098

±: standart sapma, ns: önemsiz, *: p<0.05, **: p<0.01

Hacimsel özellikler açısından değerlendirmede, tohum ağırlığı ve 1000 tane ağırlığı nem artışıyla birlikte önemli oranda artış göstermiştir. Ancak hacim ağırlığı ve porozite değerlerinde azalmalar saptanmıştır. Çalışır ve ark. (2005), aspir tohumlarının 5.61, 14.08 ve 23.32 % k.b. nem içeriklerinde hacim ağırlığı, gerçek hacim ağırlığı ve porozite değerlerinin sırasıyla 526.9-488.6 kg m⁻³, 1096.7-1187.6 kg m⁻³ ve % 52.0-56.7 arasında değiştiğini açıklamışlardır. Bu çalışmada bulunan sonuçlar, Çalışır ve ark. (2005)'nin aspir tohumlarında artan nemle birlikte porozite ve hacim ağırlığındaki azalma gözlemleriyle uyumludur. Aynı şekilde, Göktürk çeşidinde belirlenen yüksek hacimsel değer farklılıkları da çeşitler arası genetik farkların etkili olduğunu düşündürmektedir. Kobuk ve ark. (2019) da benzer şekilde genotip farklılıklarının fiziksel özellikler üzerinde etkili olduğunu bildirmiştir. Tüm çeşitler bazında yapılan genel bir değerlendirmede tohum hacmi ve porozite üzerine nem içeriğinin etkisi önemsiz iken tohum tane ağırlığı üzerine p<0.05 seviyesinde önemli etkisi olduğu görülmüştür.

3.3. Doğal Yığılma Açısı

Aspir çeşitlerine ait tohumların farklı nem içeriklerindeki doğal yığılma açısı değerleri değişimi Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8 incelendiğinde, nem içeriği değişimine göre yığılma açıları Remzibey-05 çeşidi için 6.88°-8.41°; Shifa çeşidi için 7.03°-8.84° ve Göktürk çeşidi için 6.25°-8.43° arasında bulunmuştur. Nem içeriklerindeki değişime göre, Remzibey-05 ve Göktürk çeşidinde değerler arasında değişkenlik söz konusu iken, Shifa çeşidinde ise %20.09'luk bir artış gözlenmiştir. İstatistiksel olarak yığılma açısı değerleri üzerine nem içeriğinin etkisi Shifa çeşidinde p<0.01 seviyesinde, diğer çeşitlerde ise p<0.05 önemli bulunmuştur.

Tablo 8. Aspir çeşitlerinde nem içeriğinin yığılma açısına etkisi

<i>Remzibey-05</i>		<i>Shifa</i>		<i>Göktürk</i>	
<i>Nem içeriği (% k. b.)</i>	<i>Yığılma açısı (θ, °)</i>	<i>Nem içeriği (% k. b.)</i>	<i>Yığılma açısı (θ, °)</i>	<i>Nem içeriği (% k. b.)</i>	<i>Yığılma açısı (θ, °)</i>
6.08	8.41±1.21 a*	6.04	7.11±0.7203 b**	6.36	7.02±1.490 b*
10.31	6.88±0.8281 b*	9.95	7.03±0.7896 b**	11.59	6.25±0.6753 b*
20.89	7.68±1.18 ab*	20.69	8.84±0.9860 a**	19.72	8.43±0.9972 a*
F değeri	3.001	F değeri	8.909	F değeri	6.007

±: standart sapma, *: p<0.05, **: p<0.01

Tüm çeşitler baz alındığında doğal yığılma açısı çalışmasında 6.25°-8.84° aralığında bulunmuştur. Kobuk ve ark. (2019), aspir tohumları için doğal yığılma açısı değerlerinin ise 23.17°-26.23° aralığında olduğunu bulmuştur. Sonuçlardaki farklılığın nedeninin kullanılan çeşit farklılığı yanında tohumların yetiştirildiği ekolojik koşulların ve toprak özelliklerinin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Doğal yığılma açısı değerleri literatüre göre bu çalışmada daha düşük değerlerde bulunmuştur. Çalışmada, doğal yığılma açısının, nem içeriğiyle birlikte artış gösterdiği görülmektedir.

3.4. Sürtünme Özellikleri

Farklı nem içeriklerinde aspir çeşitlerine ait tohumların sürtünme katsayısı değerleri, Remzibey-05, Shifa ve Göktürk çeşitleri için sırasıyla Tablo 9, 10 ve 11’de verilmiştir.

Tablo 9 incelendiğinde, Remzibey-05 çeşidinde nem içeriği değişimine göre sürtünme katsayıları lastik yüzey için 0.40-0.55 arasında (%37.59’luk artış), PVC yüzey için 0.29-0.41 arasında (%42.21’lik artış), galvaniz sac yüzey için 0.37-0.51 arasında (%39.13’lük artış) ve laminant yüzey için 0.28-0.34 arasında (%17.77’lik artış) gözlenmiştir. Nem içeriği ortalamalarına bakıldığında istatistiksel olarak sürtünme katsayıları üzerine nem içeriğinin etkisi $p<0.01$ seviyesinde önemli bulunmuştur.

Tablo 9. Remzibey-05 aspir çeşidinde nem içeriğinin statik sürtünme katsayısı üzerine etkisi

Nem içeriği (% k. b.)	Sürtünme yüzeyi					Nem içeriği ortalaması
	Lastik	PVC	Kontrplak	Galvaniz sac	Laminant	
6.08	0.399±0.0241	0.289±0.0148	0.325±0.0194	0.368±0.0132	0.287±0.0134	0.334 b**
10.31	0.416±0.0231	0.304±0.0149	0.284±0.0062	0.427±0.0190	0.281±0.0210	0.342 b**
20.89	0.549±0.0248	0.411±0.0291	0.311±0.0127	0.512±0.0172	0.338±0.0195	0.424 a**
Sürtünme yüzeyi ortalaması	0.453 a**	0.334 c**	0.308 d**	0.436 b**	0.302 d**	
F değeri	131.80					102.69

±: standart sapma, **: $p<0.01$

Shifa çeşidinde nem içeriğinin değişimine göre statik sürtünme katsayıları; lastik, PVC, kontrplak, galvaniz sac ve laminant yüzeyler için sırasıyla 0.37-0.64; 0.30-0.40; 0.29-0.35; 0.37-0.52 ve 0.27-0.37 aralığında değişmiştir. Nem içeriği değişimine göre lastik, PVC, kontrplak, galvaniz sac ve laminant yüzeyler için sırasıyla %72,43, %31,46, %16.84, %40.65, %36.57’lik artışlar gözlenmiştir. Nem içeriği ortalamalarına bakıldığında istatistiksel olarak sürtünme katsayıları üzerine nem içeriğinin etkisi $p<0.01$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 10).

Tablo 10. Shifa aspir çeşidinde nem içeriğinin statik sürtünme katsayısı üzerine etkisi

Nem içeriği (% k. b.)	Sürtünme yüzeyi					Nem içeriği ortalaması
	Lastik	PVC	Kontrplak	Galvaniz sac	Laminant	
6.36	0.371±0.0140	0.302±0.0185	0.297±0.0194	0.369±0.0216	0.268±0.0132	0.321 c**
11.95	0.436±0.0235	0.302±0.0208	0.291±0.0264	0.425±0.0252	0.289±0.0175	0.348 a**
19.72	0.636±0.0327	0.397±0.0174	0.347±0.0153	0.519±0.0196	0.366±0.0119	0.453 a**
Sürtünme yüzeyi ortalaması	0.481 a**	0.333 c**	0.312 d**	0.438 b**	0.308 d**	
F değeri	120.07					152.86

±: standart sapma, **: $p<0.01$

Göktürk çeşidinde nem içeriği artışına göre statik sürtünme katsayıları lastik (0.41-0.60); PVC (0.29-0.41), kontrplak (0.29-0.36), galvaniz sac (0.31-0.52) ve laminant (0.28-0.38) aralığında bulunmuştur. Nem içeriği artışına göre tüm yüzeylerde artış görülmüş oranlar ise sırasıyla %48.28, %40.27, %0.57, %64.65 ve %28.28 oranları elde edilmiştir. Nem içeriği değerlerinin sürtünme katsayıları üzerine etkisi istatistiksel olarak $p<0.01$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 11).

Tablo 11. Göktürk aspir çeşidinde nem içeriğinin statik sürtünme katsayısı üzerine etkisi

Nem içeriği (% k. b.)	Sürtünme yüzeyi					Nem içeriği ortalaması
	Lastik	PVC	Kontrplak	Galvaniz sac	Laminant	
6.04	0.406±0.0188	0.293±0.0134	0.353±0.01038	0.314±0.0217	0.297±0.0168	0.333 b**
9.95	0.436±0.0210	0.319±0.0288	0.287±0.0134	0.375±0.0227	0.281±0.0210	0.339 b**
20.69	0.602±0.0445	0.411±0.0338	0.355±0.0173	0.517±0.0272	0.381±0.0156	0.453 a**
Sürtünme yüzeyi ortalaması	0.481 a**	0.339 c**	0.327 c**	0.411 b**	0.317 c**	
F değeri	88.34					138.16

±: standart sapma, **: p<0.01

Tüm çeşitler bazında yapılan genel bir değerlendirmede statik sürtünme katsayısı değerleri üzerine nem içeriğinin etkisi tüm yüzeyler için p<0.01 seviyesinde önemli bulunmuştur. Tüm çeşitler bazında sürtünme katsayısı değerleri lastik yüzeyde 0.37-0.60; PVC yüzeyde 0.29-0.41; Kontrplak yüzeyde 0.28-0.36; galvaniz sac yüzeyde 0.27-0.52 ve laminant yüzeyde 0.32-0.45 aralığında bulunmuştur. Kobuk ve ark. (2019), Dinçer 5-118, Remzibey-05, Balcı, Linas ve Olası çeşitlerine sahip aspir tohumlarının statik sürtünme katsayılarını paslanmaz çelik sürtünme yüzeyinde 0.33-0.44 aralığında bulmuştur. Çalışır ve ark. (2005), statik sürtünme katsayılarını paslanmaz çelik ve galvaniz sac için sırasıyla 0.45 ve 0.39 olarak bulmuşlardır. Çalışmada bulunan değerlerle literatür değerleri arasında benzerlikler bulunmaktadır. Bu çalışmada hem Shifa hem de Göktürk çeşitlerinde sürtünme katsayılarında yüksek oranlı artışlar gözlemlenmiş olup, bu bulgu Aktaş ve ark. (2006) tarafından bildirilen sürtünme yüzeyi etkileriyle de örtüşmektedir.

3.5. Renk Özellikleri

Farklı nem içeriklerinde renk özelliklerinden L^* , a^* , b^* , Kroma, Hue açısı değerleri; Remzibey-05, Shifa ve Göktürk çeşitlerinde tohumlar için sırasıyla Tablo 12, 13 ve 14'te verilmiştir.

Tablo 12 incelendiğinde, Remzibey-05 çeşidinde nem içeriği değişimine göre L^* değeri 69.41-71.82, a^* değeri -1.01 ile -0.86, b^* değeri 16.70-17.21, Kroma değeri 16.73-17.24 ve Hue açısı ise -87.23° ile -86.50° aralığında bulunmuştur. Nem içeriği değişimine göre L^* değeri %3.36'lık bir azalışa, a^* değeri %9.2'lik bir artışa, b^* değeri %3.05'lik bir artışa, Kroma değeri %3.05'lük bir artışa neden olurken, Hue açısı değeri ise %0.19'lük bir azalış göstermiştir. İstatistiksel olarak L^* değeri üzerine nem içeriğinin etkisi p<0.05 seviyesinde önemli bulunurken, a^* , b^* , kroma ve Hue açısı değerlerine nem içeriğinin etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Tablo 12. Remzibey-05 aspir çeşidinde nem içeriğinin renk özelliklere etkisi

Nem içeriği (% k. b.)	L^*	a^*	b^*	Kroma	Hue açısı
6.08	71.82±1.003 a*	-0.783±0.395 a ^{ns}	16.70±1.455 a ^{ns}	16.73±1.441 a ^{ns}	-87.23±1.504 a ^{ns}
10.31	70.24±1.837 ab*	-1.008±0.474 a ^{ns}	16.96±1.625 a ^{ns}	17.00±1.610 a ^{ns}	-86.50±1.70 a ^{ns}
20.89	69.41±2.198 b*	-0.855±0.513 a ^{ns}	17.21±1.406 a ^{ns}	17.24±1.388 a ^{ns}	-87.06±1.850 a ^{ns}
F değeri	2.935	0.369	0.170	0.178	0.310

±: standart sapma, ns: önemsiz, *: p<0.05

Tablo 13 incelendiğinde, Shifa çeşidinde nem içeriğinin değişimiyle, L^* , a^* , b^* , Kroma ve Hue açısı değerleri sırasıyla 68.48-72.29; -1.22 ile -0.39; 17.11-17.46; 17.16-17.49 ve -88.04° ile -85.85° aralığında değişmiştir. Oransal artış ve azalışlar incelendiğinde, L^* ve a^* , sırasıyla %5.27 ve %63.97'lik bir azalış gösterirken, b^* , Kroma ve Hue açısı değerleri oransal olarak %1.45, %1.39 ve %1.97'lik artış

göstermiştir. İstatistiksel olarak L^* değeri üzerine nem içeriğinin etkisi $p<0.01$ seviyesinde önemli bulunmuş, a^* ve Hue açısı değerlerine nem içeriğinin etkisi $p<0.05$ seviyesinde önemli bulunmuş, b^* ve kroma değerlerine nem içeriğinin etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Tablo 13. Shifa aspir çeşidinde nem içeriğinin renk özelliklere etkisi

Nem içeriği (% k. b.)	L^*	a^*	b^*	Kroma	Hue açısı
6.36	72.29±1.117 a**	-1.088±0.332 b*	17.21±1.414 a ^{ns}	17.25±1.404 a ^{ns}	-86.34±1.228 a*
11.59	70.35±1.403 b**	-1.220±0.435 b*	17.11±1.059 a ^{ns}	17.16±1.036 a ^{ns}	-85.85±1.606 a*
19.72	68.48±1.989 b**	-0.392±0.541 a*	17.46±1.161 a ^{ns}	17.49±1.141 a ^{ns}	-88.04±1.048 b*
F değeri	9.117	6.020	0.132	0.120	4.565

±: standart sapma, ns: önemsiz, *: $p<0.05$, **: $p<0.01$

Tablo 14 incelendiğinde, Göktürk çeşidinde nem içeriğinin %6.04'ten %20.69'a kadar artışı için renk özellikleri olarak L^* değeri 66.70-72.48 aralığında; (%7.97'lik bir azalış), a^* değeri -1.01 ile -0.15 aralığında (%85.07'lik bir azalış), b^* değeri 16.84-18.56 aralığında (%5.76'lık bir artış), kroma değeri 16.71-18.66 aralığında (%6.58'lik bir artış) ve Hue açısı değeri -89.52° ile -86.56° aralığında (%3.42'lik bir artış) göstermiştir. İstatistiki açıdan, L^* , a^* Hue açısı değerleri üzerine nem içeriğinin etkisi $p<0.01$ seviyesinde önemli bulunmuş, b^* değerine nem içeriğinin etkisi $p<0.05$ seviyesinde önemli bulunmuş, kroma değerine nem içeriğinin etkisi ise önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 14. Göktürk aspir çeşidinde nem içeriğinin renk özelliklere etkisi

Nem içeriği (% k. b.)	L	a	b	Kroma	Hue açısı
6.04	72.48±0.615 a**	-1.005±0.368 c**	16.84±1.221 b*	16.71±1.291 a ^{ns}	-86.56±1.151 a**
9.95	67.59±3.231 b**	-0.512±0.305 b**	18.56±0.528 a*	18.66±2.296 a ^{ns}	-88.42±0.936 b**
20.69	66.70±1.606 b**	-0.150±0.137 a**	17.81±0.877a b*	17.81±0.878 a ^{ns}	-89.52±0.434 b**
F değeri	13.004	13.431	5.307	2.234	16.873

±: standart sapma, ns: önemsiz, *: $p<0.05$, **: $p<0.01$

Genel olarak renk özelliklerinde ise özellikle L^* (parlaklık) değerinin nemle birlikte azaldığı, b^* ve Hue açısının ise arttığı tespit edilmiştir. Bu değişim, Shifa ve Göktürk çeşitlerinde daha belirgin olmuş ve istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Elton ve ark. (2017a)'nın çalışmasında da benzer şekilde nem içeriğiyle birlikte renk değerlerinde değişim gözlenmiş, bu da renk parametrelerinin nemin etkisine oldukça duyarlı olduğunu ortaya koymuştur.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, farklı nem içeriklerinin aspir tohumlarının geometrik, hacimsel, sürtünme ve renk özelliklerine olan etkisi incelenmiş ve sonuçlar önceki literatürle karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular, aspir tohumlarının fiziksel özelliklerinin nem içeriğiyle önemli ölçüde değiştiğini göstermektedir. 1. nem bazında Göktürk çeşidinin uzunluk ve genişlik değerleri diğer çeşitlerden daha fazla saptanmıştır. 3. neme bakıldığında ise Remzibey-05 çeşidinin uzunluk değeri diğer çeşitlerden daha fazla saptanmıştır. Kalınlık değerine bakıldığında ise 1. nem bazında en yüksek değer Shifa çeşidinde bulunurken, 3. nemde en yüksek değer Göktürk çeşidinde bulunmuştur. Tohum ağırlığına bakıldığında en yüksek değer Remzibey-05 de saptanmıştır. 1000 tane ağırlığında ise en yüksek değer Göktürk çeşidinde çıkmıştır. Hacim ağırlığında en yüksek değer Shifa çeşidinde saptanmıştır. Remzibey-

05 çeşidi için statik sürtünme katsayısına bakıldığında 1. nemde en yüksek değeri lastik yüzey, 2. nemde galvaniz sac yüzey, 3. nemde lastik yüzey vermiştir.

Shifa ve Göktürk çeşitleri için statik sürtünme katsayısına bakıldığında 3 nem için de en yüksek değeri lastik yüzey vermiştir. Renk özelliklerinde L^* değeri en yüksek Göktürk çeşidinde bulunmuştur.

Bu çalışmada aspir tohumlarının farklı nem içerikleri altında sergilediği fiziksel özellik değişimleri önceki literatürle genel anlamda uyumlu olup, bazı farklılıklar çeşit ve yetiştirme koşullarından kaynaklanmaktadır. Doğal yığılma açısından, ekim makinelerinin tohum sandıklarının kenar eğimleri ve tohum akışının düzgünlüğü için yararlanılır. Sürtünme katsayısı tohum ve gübre sandık malzemesinin, tohum ve gübre ekici düzenlerin ve tohum borularının malzeme seçiminde dikkate alınır. Hasat sonrası işlemlerde, tohumların sınıflandırılmasında da aspir tohumlarının boyut özelliklerinden yararlanılır ayrıca boyut ve küreselik değeri, ekim makinesi hassas ekici düzenlerinin tasarımında da dikkate alınmalıdır.

Aspir bitkisi tohumlarının boyutsal ve geometrik özellikleri; ekim makineleri ekici düzenlerinin ve hasat makinalarının tasarımında, ürünlerin mekanik, pnömatik ve elektrostatik sistemler yardımıyla temizlenmelerinde ve ısı transfer işlemlerinde kullanılan önemli parametrelerdir. Ayrıca aspir tohumlarının doğal yığılma açısı ve sürtünme katsayısı gibi özelliklerinin taşıma ve depolama yapılarının ve tesislerin projelendirilmesinde önemli mühendislik verisi olarak dikkate alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- Altuntaş, E., Gerçekçioğlu, R., & Kaya, C. (2010). Selected mechanical and geometric properties of different almond cultivars. *International Journal of Food Properties*, 13(2), 282–293.
- Altuntaş, E., Gül, E. N., & Gök, H. (2020). Menengiç meyve ve tohumlarının fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 23(6), 1518–1528.
- Anonim (2022). Postharvest handling and preparation of foods for processing. https://application.wiley-vch.de/books/sample/3527324682_c01.pdf (Erişim tarihi: 11.06.2022).
- Anonim (2025a). Remzibey çeşidi. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/gktaem/Belgeler/Tescilli%20%C3%87e%C5%9Fitlerimiz/Aspir/remzibey-05-05.pdf> (Erişim tarihi: 17.06.2025).
- Anonim (2025b). Tohum Tescil ve Sertifikasyon Merkez Müdürlüğü. <https://www.tarimorman.gov.tr/Bugem/Ttsm/Sayfalar/Detay.aspx?SayfaId=85> (Erişim tarihi: 17.06.2025).
- Babaoğlu, M. (2007). *Aspir ve tarımı*. Trakya Tarımsal Araştırmalar Enstitüsü, Edirne. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/ttae/Sayfalar/Detay.aspx?SayfaId=59> (Erişim tarihi: 17.06.2025).
- Babaoğlu, M. (2017). Dünya’da ve Türkiye’de aspir bitkisinin tarihi, kullanım alanları ve önemi. *Tarım Gündem Dergisi*, 6(36), 98–102.
- Baydar, H., & Erbaş, S. (2007). Türkiye’de yemeklik yağ ve biyodizel üretimine uygun aspir ıslahı. *I. Ulusal Yağlı Tohumlu Bitkiler ve Biyodizel Sempozyumu*, 28–31 Mayıs, 378–386, Samsun.
- Baydar, H., & Erbaş, S. (2020). Yerli ve milli aspir çeşitlerimiz: Olein, Zirkon ve Safir. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, Türkiye 13. Ulusal, I. Uluslararası Tarla Bitkileri Kongresi Özel Sayısı, 233–237.
- Baydar, H., & Gökmen, O. Y. (2003). Hybrid seed production in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) following the induction of male sterility by gibberellic acid. *Plant Breeding*, 122, 459–461.

- Baydar, H., & Turgut, İ. (1993). Aspirin (*Carthamus tinctorius* L.)'in Antalya koşullarında kışlık olarak yetiştirme olanakları üzerine araştırmalar. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 5(1-2), 75-92.
- Bracacescu, C., Gageanu, P., Bunduchi, G., & Zaica, A. (2018). Considerations on technical equipment used for cleaning and sorting seed mixtures based on aerodynamic principle. *17th International Scientific Conference Engineering for Rural Development*, Jelgava, 39-44.
- Coşar, İ. (2023). Bazı aspir çeşitlerinin (*Carthamus tinctorius* L.) Bayburt şartlarında verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Bayburt Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 42 s.
- Çalışır, S., Marakoğlu, T., Öztürk, Ö., & Ögüt, H. (2005). Some physical properties of safflower seed (*Carthamus tinctorius* L.). *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(36), 87-92.
- Elton, A. S. M., Goneli, A. L. D., Gonçalves, A. A., Hartmann Filho, C. P., Rech, J., & Oba, G. C. (2017b). Physical properties of safflower grains. Part II: Volumetric shrinkage. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21(5), 350-355.
- Elton, A. S. M., Goneli, A. L. D., Hartmann Filho, C. P., Mauad, M., Siqueira, V. C., & Gonçalves, A. A. (2017a). Physical properties of safflower grains. Part I: Geometric and gravimetric characteristics. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21(5), 344-349.
- Erbaş, S. (2012). Melezleme ıslahı ile tohum verimi, yağ ve oleik asit içeriği yüksek aspir (*Carthamus tinctorius* L.) hatlarının geliştirilmesi. (Doktora Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 132 s.
- François, L., & Bernstein, L. (1964). Salt tolerance of safflower. *Agronomy Journal*, 56(1), 38-40.
- Kaleemullah, S., & Gunasekar, J. J. (2002). Moisture-dependent physical properties of Arecanut trues. *Biosystems Engineering*, 82(3), 331-338.
- Katar, D., Arslan, Y., Kodaş, R., Subaşı, İ., & Katar, N. (2016). Determining of performances on different characteristics in safflower (*Carthamus tinctorius*) genotypes under organic and conventional production systems. *Biological Diversity and Conservation*, 9(1), 172-181.
- Kayaçetin, F., Katar, D., Arslan, Y. (2012). Aspir (*Carthamus tinctorius* L.)'in dölleme biyolojisi ve çiçek yapısı. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 75-80.
- Khazaei, J., Rasekh, M., & Borghei, A. M. (2002). Physical and mechanical properties of almond and its kernel related to cracking and peeling. *An ASAE Meeting Presentation*, Paper No: 026153.
- Kobuk, M., Ekinci, K., & Erbaş, S. (2019). Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) genotiplerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 22(1), 89-96.
- Küçük, N., Aydoğdu, M. H., & Şahin, Z. (2021). Yağlı tohum piyasalarındaki gelişmeler ve Türkiye kolza piyasası trend analizi. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 32(1), 215-227.
- McGuire, R. G. (1992). Reporting of objective colour measurements. *HortScience*, 27(12), 1254-1255.
- Mohsenin, N. N. (1980). *Physical properties of plant and animal materials*. Gordon and Breach Science Publishers, New York.
- Nacar, A. S., Değirmenci, V., Hatipoğlu, H., Meral, T., Aslan, H., Çıkman, A., & Şakak, A. (2016). Harran Ovası koşullarında yazlık aspir bitkisinde sulamanın verim ve yağ kalitesi üzerine etkileri. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25(Özel Sayı-2), 149-154.

- Öğüt, H., Eryılmaz, T., & Oğuz, H. (2007). Bazı aspir (*Carthamus tinctorius* L.) çeşitlerinden üretilen biyodizelin yakıt özelliklerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi. *I. Ulusal Yağlı Tohumlu Bitkiler ve Biyodizel Sempozyumu*, 28–31 Mayıs, s.11–16, Samsun.
- Saçılık, K., Öztürk, R., & Keskin, R. (2003). Some physical properties of hemp seed. *Biosystems Engineering*, 86(2), 191–198.
- Shahbazi, F., Galedar, M. N., Taheri-Garavand, A., & Mohtasebi, S.S. (2011). Physical properties of safflower stalk. *International Agrophysics*, 25, 281–286.
- Uysal, N., Baydar, H., & Erbaş, S. (2006). Isparta popülasyonundan geliştirilen aspir (*Carthamus tinctorius* L.) hatlarının tarımsal ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11(1), 52–63.
- Yılmaz, G., & Dökülen, S. (2025). Bazı aspir çeşitlerinde farklı ekim normu uygulamalarının verim ve verim özelliklerine etkileri. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 28(4), 1054–1070.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction and Research Questions & Purpose

Safflower can be easily cultivated in almost every region of Turkey, and its deep root structure and drought resistance will contribute to Turkey's edible oil requirement. In addition, safflower oil, which has a high oleic acid content, has an important potential as a biodiesel fuel to reduce greenhouse gases and reduce CO₂ emissions and air pollution. Safflower, with its agricultural contribution and high energy potential, is a valuable plant that can fit into alternative crop rotation, especially in arid and semi-arid agricultural conditions in Turkey.

It is of great importance to determine the geometric, volumetric, friction and color properties of the related product as physical properties for the design, construction and development of machines and systems to be used in the harvesting and post-harvesting of agricultural products with minimum energy and labor use. In this study, the effects of different moisture contents on the geometric, volumetric, friction and color properties of seeds belonging to Remzibey-05, Shifa and Göktürk varieties of safflower varieties have been examined together and it is predicted that this study will contribute to the scientific literature.

Methodology

The seeds of safflower cultivars Remzibey-05, Shifa and Göktürk used in this study were obtained from Gaziosmanpaşa University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops. Distilled water was added to the seed samples for different moisture contents. In the experiment, harvest moisture and storage moisture values of safflower seeds were taken as basis. The geometrical and volumetric properties of safflower seeds were measured with a digital caliper and a precision balance. Sphericity (Sh), geometric mean diameter (Go) and surface area (Sr) values of the seeds were determined with the help of equations. Bulk volume weight (ρ_{mb}) and actual volume weight (ρ_{mt}) values of safflower seeds were determined by hectoliter method and liquid displacement method was used and Toluene was used as a liquid fluid.

Friction measurement apparatus was used to determine the static friction coefficient of safflower seeds using different friction surfaces (rubber, PVC, plywood, galvanized sheet and laminate). For the determination of the natural angle of repose (θ_y°), a cylinder with an open top and bottom was used, and the cylinder, completely filled with sampling seeds, was slowly lifted up until a conical shape was formed on a flat plate surface. Different safflower seeds were measured with a colorimeter to determine the color characteristics. Color characteristics included L^* (brightness), a^* (redness) and b^* (yellowness) values, in addition to Chroma (C) and Hue angle (α) equations.

Results and Conclusions

In terms of geometric characteristics, an increase was observed in the dimensional values of safflower cultivars with the increase in humidity. Especially in Göktürk and Remzibey-05 varieties, significant increases were observed in geometric mean diameter and surface area values. In terms of volumetric properties, seed weight and 1000 seed mass increased significantly with the increase in humidity. However, volume weight and porosity values decreased. The natural angle of repose was found to be in the range of 6.25°-8.84° for all varieties. In a general evaluation on the basis of all varieties, the effect of moisture content on static coefficient of friction values was found significant at $p < 0.01$ level for all surfaces.

In color properties, it was found that especially L^* (brightness) value decreased with moisture content, while b^* and Hue angle increased.

In this study, the physical property changes exhibited by safflower seeds under different moisture contents are generally consistent with the previous literature, and some differences are due to variety and growing conditions. This indicates the need for optimized practices depending on the moisture level of the seed, especially in post-harvest handling, equipment design and storage strategies.

Yazarların Biyografisi



Şerife Aysuhan GEDİK

1999 yılında Tokat'ta doğdu. İlk, orta, lise ve üniversite eğitimini Tokat'ta yaptı. Lisans eğitimini 2020-2024 Yılları arasında Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümünde tamamladı. Lisans eğitimini tamamladıktan hemen sonra aynı üniversitede Yüksek lisans eğitimine başlamıştır ve hala eğitimi devam etmektedir.

İletişim aysuhangedik9@gmail.com
ORCID Adresi <https://orcid.org/0009-0001-8504-7427>



Dr. Öğr. Üyesi Şaziye DÖKÜLEN

1990 yılında doğdu. İlk, orta, lise eğitimini Tokat'ta yaptı. Lisans eğitimini 2009-2013 yılları arasında, yüksek lisans eğitimini 2013-2016 yılları arasında, doktora eğitimini 2016-2021 yılları arasında Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümünde tamamladı. 2017 yılında Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. 2022 yılında aynı üniversitede Doktor öğretim üyesi oldu ve hala aynı üniversitede görev yapmaktadır.

İletişim saziye.dokulen@gop.edu.tr
ORCID Adresi <https://orcid.org/0000-0003-2767-7604>



Prof. Dr. 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 AnaBilim 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, 140'ın 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>



Satellite-Based Monitoring of Vegetation and Soil Moisture Indices for Stress Detection and Irrigation Planning in a Semi-Arid Apple Orchard

Yarı Kurak İklim Koşullarında Bir Elma Bahçesinde Stres Tespiti ve Sulama Planlaması için Uydu Tabanlı Bitki Örtüsü ve Toprak Nemi Endekslerinin İzlenmesi

Alperay Altıkat^{1,*}

¹Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Iğdır, Türkiye.

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

Article Info

Received date : 20.05.2025
Revised date : 26.08.2025
Accepted date : 19.08.2025

Keywords:

Remote sensing indices
Soil moisture interaction
Phenological stress detection

How to Cite:

Altıkat, A., (2025). "Satellite-Based Monitoring of Vegetation and Soil Moisture Indices for Stress Detection and Irrigation Planning in a Semi-Arid Apple Orchard", *Journal of Agricultural Machinery Science*, 21(2): 139-161.

ABSTRACT

Sustainable irrigation management is crucial for fruit production in semi-arid regions. This study utilized satellite data collected between 2020 and 2025 to evaluate plant growth and changes in soil moisture in a 15.59-acre, drip-irrigated apple orchard located in eastern Türkiye. Spectral indices, such as NDVI, SAVI, and NDRE, along with radar-based indices like RVI and RSM, were combined to analyze the temporal and spatial patterns of plant stress. The results revealed significant stress conditions in 2020, 2021, and 2023. In contrast, 2024 saw 44% of the orchard reach the medium-high vegetation cover class. High correlations ($r \approx 0.99$) were found between RSM, NDVI, and RVI indices, indicating that plant health is directly related to soil moisture. The SAVI and NDRE indices, on the other hand, enabled the sensitive monitoring of both early- and late-stage stress. These data defined area-based productivity maps and stress zones, and a field-level decision support framework was established to support irrigation decisions. The study proposes a repeatable method for precision agriculture applications, contributing to the mitigation of the effects of climate variability on yield.

Makale Bilgisi

Alınış tarihi : 20.05.2025
Düzeltilme tarihi : 26.08.2025
Kabul tarihi : 19.08.2025

Anahtar Kelimeler:

Uzaktan algılama indeksleri
Toprak nemi etkileşimi
Fenolojik stres tespiti

Atıf için:

Altıkat, A., (2025). "Yarı kurak iklim koşullarında bir elma bahçesinde stres tespiti ve sulama planlaması için uydu tabanlı bitki örtüsü ve toprak nemi endekslerinin izlenmesi", *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 21(2): 139-161.

ÖZET

Sürdürülebilir sulama yönetimi, yarı kurak bölgelerde meyve üretimi için kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada, 2020 ile 2025 yılları arasında toplanan uydu verileri, Türkiye'nin doğusunda bulunan 63 dekar büyüklüğünde, damla sulama sistemine sahip bir elma bahçesindeki bitki büyümesi ve toprak nemi değişikliklerini değerlendirmek için kullanılmıştır. NDVI, SAVI ve NDRE gibi spektral indeksler ile RVI ve RSM gibi radar tabanlı indeksler birleştirilerek bitki stresinin zamansal ve mekansal örüntüleri analiz edilmiştir. Sonuçlar, 2020, 2021 ve 2023 yıllarında önemli stres koşulları ortaya çıkarken, 2024 yılında bahçenin %44'ünün orta-yüksek bitki örtüsü sınıfına ulaştığını ortaya koymuştur. RSM, NDVI ve RVI indeksleri arasında yüksek korelasyonlar ($r \approx 0,99$) bulunmuş olup, bu da bitki sağlığının toprak nemi ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. SAVI ve NDRE indeksleri ise erken ve geç aşama stresin hassas bir şekilde izlenmesini sağlamıştır. Bu veriler, alan bazlı verimlilik haritaları ve stres bölgeleri tanımlama ve sulama kararlarını desteklemek için tarla düzeyinde bir karar destek çerçevesi oluşturulmuştur. Çalışma, iklim değişkenliğinin verim üzerindeki etkilerini azaltmaya katkıda bulunan, hassas tarım uygulamaları için tekrarlanabilir bir yöntem önermektedir.

1. INTRODUCTION

Apple (*Malus domestica*) cultivation in semi-arid and Mediterranean regions such as eastern Türkiye, southern Spain, and central Italy is increasingly threatened by climate-driven variability in precipitation and soil moisture. These vulnerabilities make it imperative to deploy scalable, real-time tools for crop monitoring that support precision irrigation and adaptive water management (Ippolito, 2023).

Spectral vegetation indices derived from remote sensing platforms have become essential instruments for monitoring plant health and stress. NDVI, while widely used to quantify vegetative vigor and biomass, often saturates in dense canopies and misrepresents sparsely vegetated systems. For younger or open-canopy orchards, the Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) corrects soil background reflectance. At the same time, the Normalized Difference Red Edge Index (NDRE) captures variations in chlorophyll concentration, enabling detection of late-season stress (Huete, 1988). In a multi-year study across Mediterranean mango orchards, NDRE consistently outperformed NDVI in early detection of water stress under deficit irrigation regimes (Sillero-Medina & González-Pérez, 2025).

Complementary to these optical indices, radar-based metrics—namely the Radar Vegetation Index (RVI) and Radar Soil Moisture Index (RSM)—offer cloud-independent assessments of canopy structure and surface water content. Kaya & Öztürk (2023) demonstrated strong positive correlations ($r > 0.70$) between NDVI and RSM-derived volumetric water content (VWC) in wheat systems under semi-arid conditions in Türkiye, validating the relevance of combined radar-optical frameworks.

Importantly, many remote sensing-based studies are limited by a single-season scope or the absence of meteorological variables, which constrains temporal generalizability. Nalçaoğlu et al. (2025), in their study on olive yield prediction in Muğla, Türkiye, demonstrated that integrating NDVI with precipitation, temperature, and vapor pressure deficit (VPD) in a neural network model improved yield prediction accuracy by over 20%. This suggests that vegetation index data alone may be insufficient to fully characterize the interactions between plants, soil, and climate.

Building on these findings, the current study employs a multi-temporal, multi-index remote sensing strategy to monitor crop stress and guide irrigation decisions in a drip-irrigated apple orchard located in the Iğdır Plain, eastern Türkiye. Sentinel-1 SAR and Sentinel-2 MSI data are used to extract NDVI, SAVI, NDRE, RVI, and RSM over six consecutive growing seasons (2020–2025). The study aims to (1) characterize temporal patterns of vegetative stress, (2) map spatial productivity zones, and (3) construct a satellite-supported decision framework for efficient irrigation scheduling in perennial horticultural systems.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Study Area

This study was conducted in a commercial apple orchard located in the semi-arid region of eastern Türkiye, within the Iğdır Plain (39.937° N, 44.011° E) (Figure 1). The orchard spans 15.59 acres (63,107 m²), characterized by sandy-loam Cambisol soils, low annual precipitation (270–320 mm), and high reference evapotranspiration rates ($ET_0 \approx 1,100\text{--}1,300$ mm/year). Summers are hot and dry, and winters are cold, necessitating precise irrigation management. The field has a drip irrigation system, yet irrigation decisions have traditionally relied on empirical observations rather than objective, data-driven assessments.

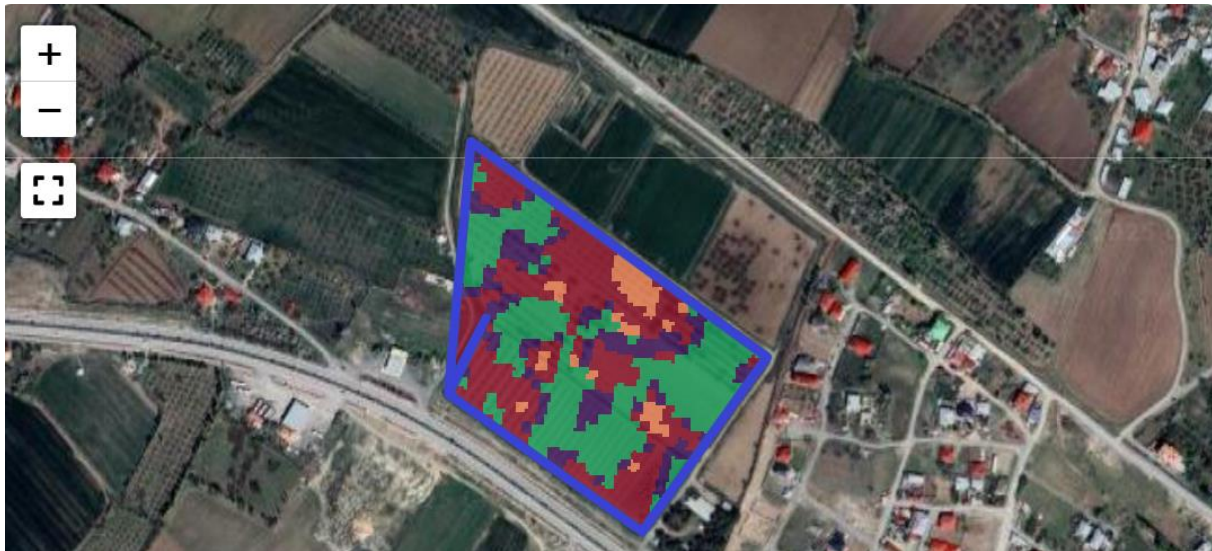


Figure 1. Zonal classification of field conditions based on remote sensing data in the delineated apple orchard area

2.2. Remote Sensing Data Acquisition and Platform

Satellite-based data were obtained via the Farmonaut® platform (<https://www.farmonaut.com/>), which integrates optical data from Sentinel-2 and radar data from Sentinel-1 (Copernicus Programme). Sentinel-2 imagery offers 10–20 m spatial resolution across visible, red-edge, and near-infrared bands, while Sentinel-1 provides all-weather C-band radar data with ~10 m resolution.

Although Farmonaut is a commercial service provider, its satellite-based outputs are directly derived from validated European Space Agency (ESA) products. The platform's internal processing uses standard vegetation index algorithms published in peer-reviewed literature. However, no independent ground-truth validation was conducted in this study, and results should be interpreted in that context. The outputs were visually and statistically checked for internal consistency and temporal coherence.

2.3. Vegetation and Soil Moisture Indices

To assess vegetation dynamics and surface soil moisture over the study area between 2020 and 2025, five vegetation and soil indices were derived from Sentinel-1 and Sentinel-2 imagery. Satellite images for all years were acquired on April 11. These indices—Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI), Normalized Difference Red Edge (NDRE), Radar Vegetation Index (RVI), and Radar Soil Moisture (RSM)—enable robust monitoring under various environmental and phenological conditions. Table 1 outlines each index, its spectral band formula, purpose, and reference.

Table 1. Vegetation and soil moisture indices used in the study

<i>Index</i>	<i>Equation</i>	<i>Reference</i>
NDVI	$(B8 - B4) / (B8 + B4)$	Xu et al., (2022)
SAVI	$((B8 - B4) / (B8 + B4 + L)) \times (1 + L)$, $L = 0.5$	Vidican et al., (2023)
NDRE	$(B8a - B5) / (B8a + B5)$	Xu et al., (2022)
RVI	VH / VV	Ma et al., (2020)
RSM	Derived via the backscatter model	Ma et al., (2020)

The bands used in these equations, along with their functions, are listed below.

B4 (Red, ~665 nm): Absorbed by chlorophyll pigments, essential for identifying vegetation stress in NDVI/SAVI calculations (Xu et al., 2022; Vidican et al., 2023).

B5 (Red Edge 1, ~705 nm): Sensitive to changes in chlorophyll content; used in NDRE to monitor plant nitrogen status (Xu et al., 2022).

B8 (NIR, ~842 nm): High reflectance in healthy vegetation due to leaf cell structure; fundamental for NDVI/SAVI (Vidican et al., 2023; Ma et al., 2020).

B8a (Red Edge 3, ~865 nm): Enhances detection of canopy structure in NDRE, especially during reproductive growth stages (Xu et al., 2022).

VH / VV (Radar Polarizations): Sentinel-1's dual-polarized radar bands used in RVI; robust under cloud and light limitations (Ma et al., 2020).

Radar Soil Moisture (RSM): Surface soil moisture estimated by combining radar polarizations using empirical inversion models (Ma et al., 2020).

All indices were exported as classified raster layers and manually digitized in ArcGIS Pro to compute total area per vegetation class. Surface areas were converted from m² to hectares for comparative analysis.

The thresholds used in the classification were as follows:

NDVI ≥ 0.2

NDRE ≥ 0.2

SAVI ≥ 0.2

RVI ≥ 0.3

These threshold values were determined based on prior literature (e.g., Guimarães et al., 2024; Crespo et al., 2024) and partially adjusted through empirical calibration by observing visual transitions in the classified outputs. The rationale behind selecting these thresholds is explicitly noted when discussing the classification results for each index.

All satellite images used to compute NDVI, SAVI, NDRE, RVI, and RSM values for each year were acquired on approximately April 11, representing the early vegetative phase of apple trees, prior to full canopy closure. This consistent acquisition date enables inter-annual comparison of early growth conditions and facilitates consistent phenological interpretation across years.

2.4. Data Processing and Spatial Analysis

Satellite images for all years were acquired on April 11. Data were organized chronologically, processed through QGIS/ArcGIS software, and reclassified into three vegetative categories:

Low (-1 to 0.2)

Medium (0.2–0.4)

High (0.4–0.6 for NDVI, 0.5–0.7 for RVI, etc.)

Spatial patterning was analyzed to determine inter-annual variability and detect stress-prone subzones. Geospatial zonal summaries were created annually and cross-referenced with decision thresholds to identify areas that are both productive and vulnerable to environmental stress.

2.5. Decision Support Framework

A field-level decision support strategy was developed based on the processed index data. The framework involved:

Zonal mapping based on index thresholds (e.g., NDVI ≥ 0.2 for active growth).

Temporal anomaly detection for years with unusually low RSM or NDRE values.

Inter-index correlation analyses to validate the relationship between canopy vigor and soil moisture.

Spatial segmentation to identify sub-field management zones for targeted irrigation interventions.

Field-scale productivity zones were delineated using yearly classified NDVI, RVI, NDRE, and SAVI indices. Zones exceeding index thresholds (e.g., $\text{NDVI} \geq 0.2$, $\text{RVI} \geq 0.3$) were identified as productive zones. These maps were compiled into a zonal decision-support model to guide irrigation frequency and intensity planning by identifying persistently low-performing subzones.

2.6. Spatial Resolution Limitations and Soil Background Correction Strategies

In young orchard systems with sparse canopy cover, the spatial resolution of satellite imagery poses significant challenges for accurate vegetation monitoring. In the study area, the average row and plant spacing was approximately 10 meters, resulting in canopy coverage of only 5–10% per pixel during the early years (2020–2022). Given that Sentinel-2 imagery has a spatial resolution of 10–20 meters (100–400 m² per pixel), the dominant reflectance signal captured was from bare soil rather than vegetation canopy.

To address this issue, the following correction strategies were employed:

Use of Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI): The SAVI index, incorporating a correction factor ($L = 0.5$), was included to minimize soil background noise under low canopy conditions (Huete, 1988; Peres & Cancelliere, 2021).

Inclusion of Radar-Based Indices (RVI and RSM): Unlike optical indices, radar data from Sentinel-1 is less sensitive to surface reflectance variability and provides structural and moisture-related signals independent of sunlight and cloud conditions (Hu et al., 2024).

Empirical Threshold Calibration: Index classification thresholds were partially adjusted by visual validation to align with real canopy distribution patterns, thereby reducing classification noise due to soil dominance in early years (Guimarães et al., 2024).

Temporal Integration: A six-year temporal series (2020–2025) was employed to observe trends, rather than relying on single-year snapshots, which can be skewed by sparse vegetation.

These strategies collectively improved index reliability in a low-density canopy system, providing a more accurate reflection of plant health over time.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. General NDVI Change Trends (2020-2025)

The temporal evaluation of NDVI values across the apple orchard from 2020 to 2025 revealed significant interannual variability in vegetative development. Figure 2 presents annual NDVI maps and displays a summary of vegetation class distributions categorized into low (–1 to 0.2), medium (0.2–0.4), and high (0.4–0.6) NDVI zones.

In 2020 and 2021, NDVI values across the entire orchard fell within the low classification range, indicating minimal vegetation cover and low photosynthetic activity. During these years, 100% of the 63,107 m² field was classified as unproductive, suggesting a combination of environmental stressors and insufficient plant establishment.

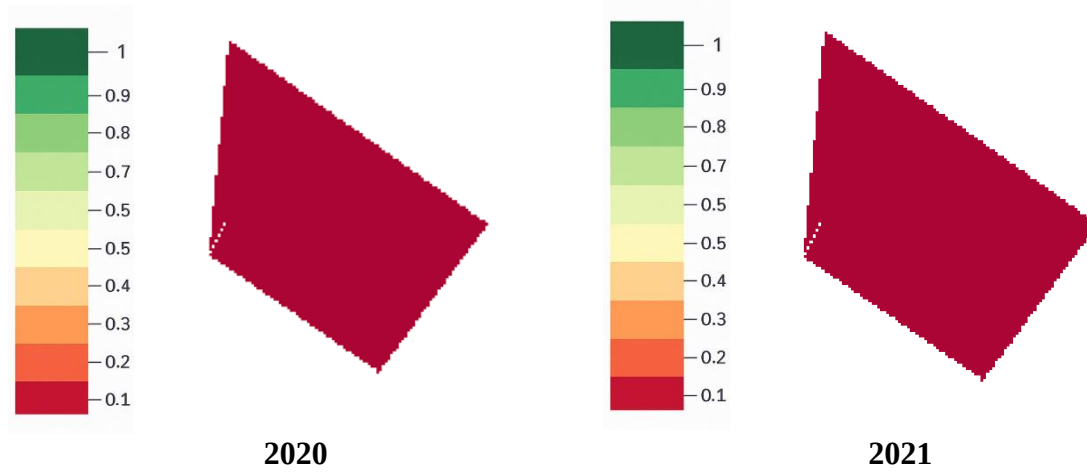


Figure 2. NDVI map for 2020 – 2021

In 2022, early signs of vegetative recovery were observed, particularly in the northeastern portion of the field. Approximately 6,546 m² (10.4%) of the orchard transitioned into the medium NDVI class, while the remaining 56,561 m² remained within the low classification (Figure 3). This shift suggests improved environmental conditions or partial regeneration of plant biomass.

However, the upward trend was not sustained in 2023. NDVI maps once again showed uniform reversion to low values, with 100% of the area classified as vegetatively inactive. This decline implies that adverse climatic conditions, such as drought, pest pressure, or ineffective field management, may have affected the orchard (Figure 3).

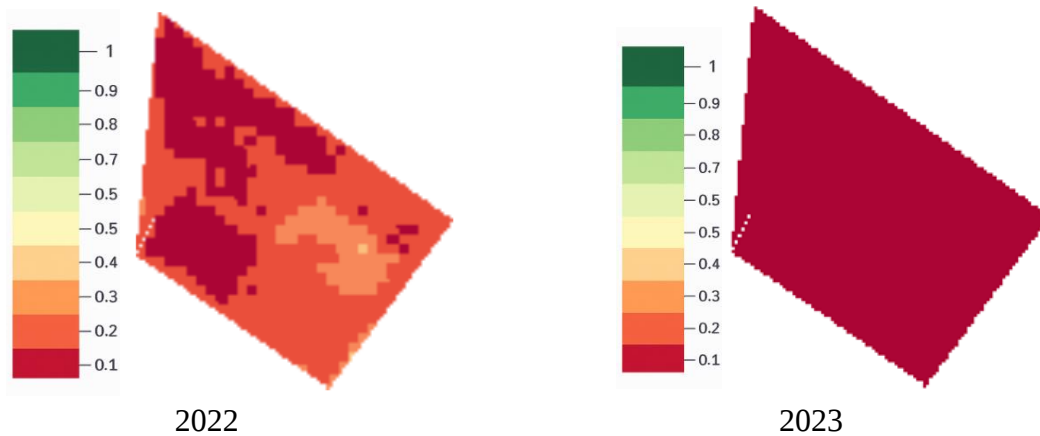


Figure 3. NDVI map for 2022 – 2023

In contrast, 2024 marked the most productive year in terms of vegetation development. A total of 25,821 m² (40.9%) of the orchard exhibited medium NDVI values, and 1,849 m² (2.9%) reached the high NDVI class (Figure 4). These values reflect optimal canopy growth and photosynthetic performance, likely from favorable environmental conditions or agronomic improvements.

By 2025, NDVI values declined sharply, with the entire orchard reverting to the low classification range (Figure 4). This regression underscores the production system's vulnerability to environmental and operational inconsistencies, highlighting the need for more sustainable and adaptive field management practices.

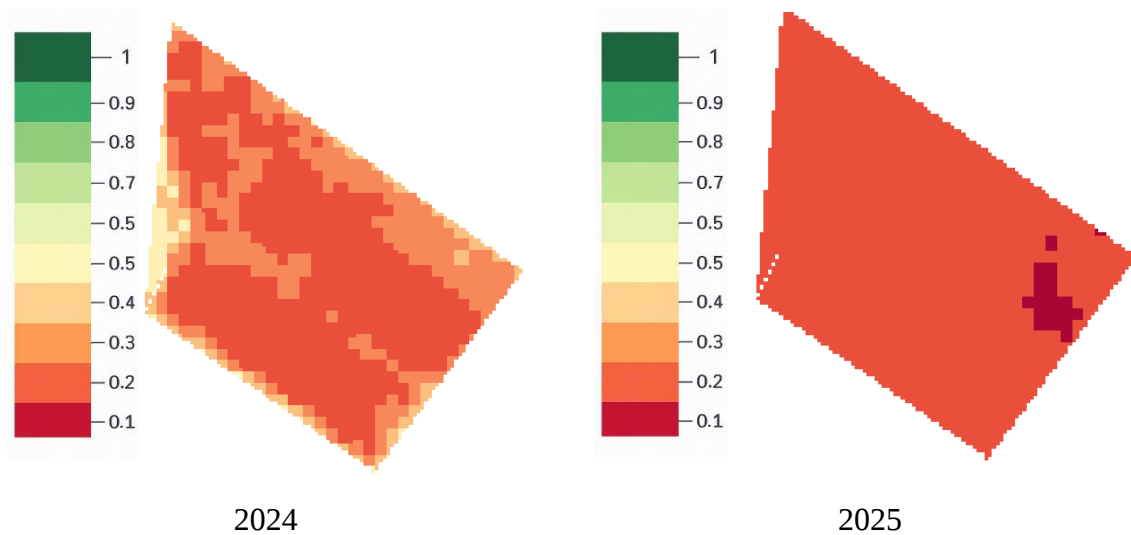


Figure 4. NDVI map for 2024 – 2025

Figure 5 illustrates the spatial distribution of NDVI values within the apple orchard from 2020 to 2025, categorized into three classes: low, medium, and high. The data reveals significant fluctuations in plant growth across these years.

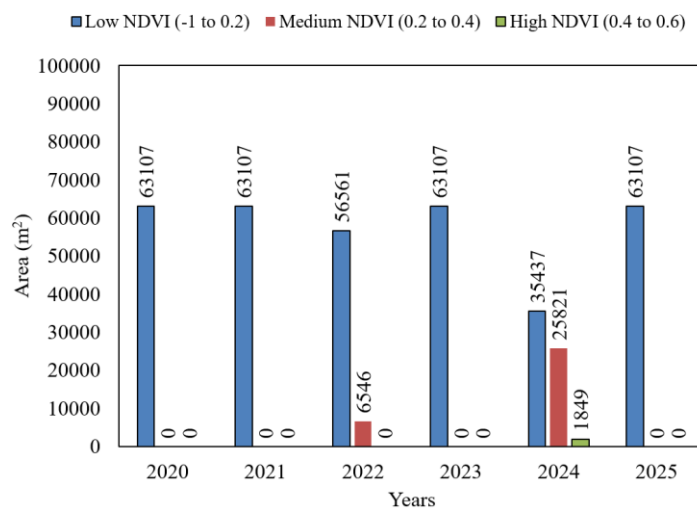


Figure 5. Annual NDVI-Based Vegetation Class Distribution in Apple Orchard

In 2020 and 2021, the orchard consistently exhibited low NDVI values, ranging from -1 to 0.2. This trend indicates a complete lack of plant production or insufficient photosynthetic activity among the existing flora. Notably, the entire area of 63,107 m² was classified as being in the low NDVI category for both years.

A marked improvement in plant growth was observed in 2022, with approximately 6,546 m² of the orchard achieving medium NDVI values (0.2-0.4). However, most of the area, encompassing 56,561 m², remained within the low NDVI classification. This shift indicates a resumption of plant growth, the emergence of new plants, and an increase in chlorophyll content.

Unfortunately, this positive trend could not be maintained in 2023, as the entire orchard reverted to the low NDVI classification. The whole area of 63,107 m² was categorized as unproductive, indicating an

interruption in agricultural yield likely attributable to adverse environmental factors such as drought, disease, or soil degradation.

2024 marked a notable turning point, characterized by the most favorable NDVI developments. The orchard witnessed 25,821 m² classified as medium NDVI and an additional 1,849 m² achieving high NDVI values (0.4-0.6). This year can be considered a peak in plant health and agricultural productivity, with approximately 44% of the area reaching medium and high NDVI levels, which suggests that agronomic interventions were effective.

Conversely, projections for 2025 indicate a significant decline in NDVI values, with the entire orchard reverting to the low NDVI classification. This decline underscores the challenges in achieving sustainable production and reveals the system's heightened sensitivity to external perturbations.

In summary, the analysis highlights 2024 as the most productive year for the apple orchard, while the years 2020, 2021, 2023, and 2025 are identified as periods of minimal productivity. Despite the signs of recovery in 2022, the subsequent decline in 2025 emphasizes the unsustainable nature of the current agricultural practices under varying environmental conditions.

The temporal NDVI assessment conducted over the six years revealed pronounced fluctuations in vegetation vigor, strongly influenced by environmental conditions and management practices. The complete dominance of low NDVI values during 2020, 2021, 2023, and 2025 reflects recurring periods of vegetative stress, potentially associated with water scarcity, insufficient agronomic inputs, or extreme temperature events. In contrast, 2024 stood out with a significant portion of the orchard—over 44%—classified under medium to high NDVI zones, indicating optimal canopy development and robust photosynthetic performance. These patterns are consistent with prior findings in semi-arid agroecosystems, where NDVI has been used as a reliable proxy for crop biomass, chlorophyll concentration, and yield potential (Stagakis et al., 2012; Gaznayee et al., 2023).

Moreover, the observed rise and fall in NDVI values across the years highlight the limitations of conventional, experience-based irrigation management. Without data-driven and adaptive interventions, the orchard appears highly vulnerable to environmental stressors. Previous research supports the idea that integrating NDVI into real-time irrigation strategies improves water-use efficiency and stabilizes production under climate variability (Hasan et al., 2024). The drastic regression in 2025, following the peak in 2024, reinforces that one-time agronomic improvements are insufficient unless embedded within a sustained precision agriculture framework (Lakhia et al., 2024). Additionally, NDVI-based zonal mapping has been shown to support spatially targeted inputs, improving resource allocation and crop resilience (Guimarães et al., 2024).

These results suggest that NDVI, when monitored consistently across time and space, effectively quantifies current vegetative status and forecasts agronomic risk. Thus, integrating NDVI monitoring into orchard decision-support systems is advantageous and essential for ensuring long-term sustainability and resilience in semi-arid fruit production systems.

3.2. Evaluation of Soil-Plant Relationship with RVI and RSM Data

Radar-based remote sensing technologies offer significant advantages for effectively monitoring agricultural areas, particularly in semi-arid climates with high cloud cover. In this study, RVI and RSM data were analyzed and interpreted in conjunction with NDVI values to assess plant growth and soil moisture dynamics in an apple orchard. In this way, plant-soil relationships were revealed both spatially and temporally, and the evolution of stress-induced variability over the years was evaluated.

Figure 6 compares the average RVI, RSM, and NDVI values over the years. The RSM values were relatively low in 2020, 2021, and 2023, resulting in both RVI and NDVI values remaining at their minimum levels. This situation reveals that plant growth is severely disrupted, especially during periods when drought effects are evident. In 2022, the partial increase in soil moisture led to a limited but significant rise in RVI and NDVI values, marking an essential indicator of the resumption of plant production. The year 2024 stood out as an exceptional period, during which optimum soil moisture and strong, balanced plant growth were achieved simultaneously, reaching the highest values of the study, with averages of both RSM (0.45), RVI (0.35), and NDVI (0.42). However, this positive momentum could not be sustained in 2025; parallel to the decline in RSM level, NDVI and RVI values also decreased significantly, thus clearly demonstrating the instability in productivity and the lack of sustainability in the production process.

2020 was the year when the lowest values were observed in terms of plant growth and soil moisture. The RVI map (Figure 7) indicates that most of the area has values ranging from 0.2 to 0.3, with only limited areas exceeding 0.4. This implies low leaf density and poor vegetative reflectance. The RSM map (Figure 7) also supports these observations, showing significant water stress in the eastern and southeastern regions, with values ranging from 0.1 to 0.2. Insufficient soil moisture coincides with low RVI values, indicating almost no plant growth throughout the year. In 2021, a similarly low growth profile continued. RVI data (Figure 5) remained at low levels, especially in the eastern regions, and only in the western parts was a partial increase observed, ranging from 0.4 to 0.5. However, these increases are not significant on an area basis. The RSM map (Figure 8) reveals a more fragmented structure than the previous year. Moisture uniformity could not be achieved in the area, and water deficiency reached severe levels, especially in the central and eastern regions.

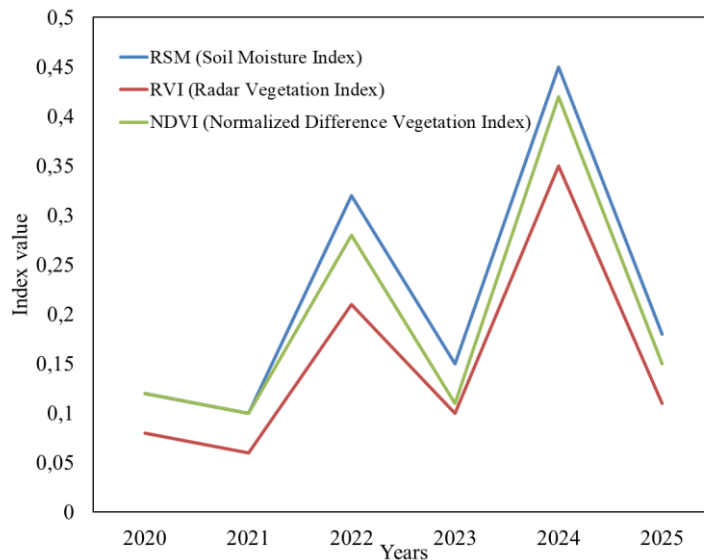
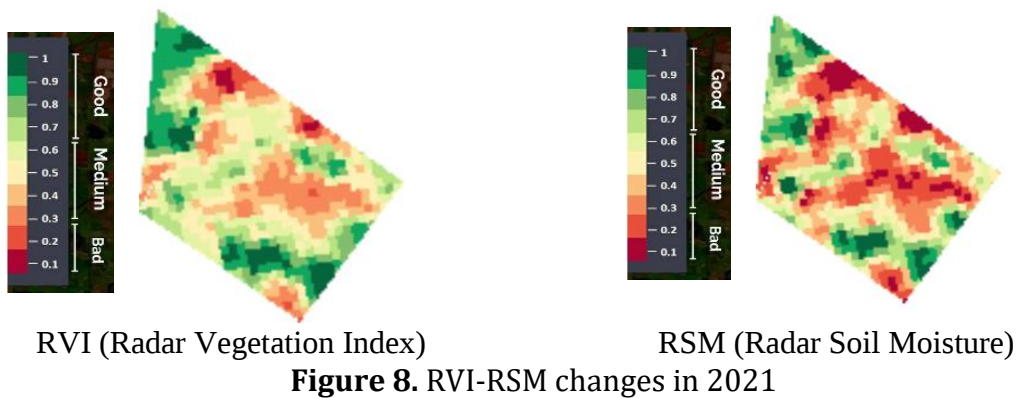
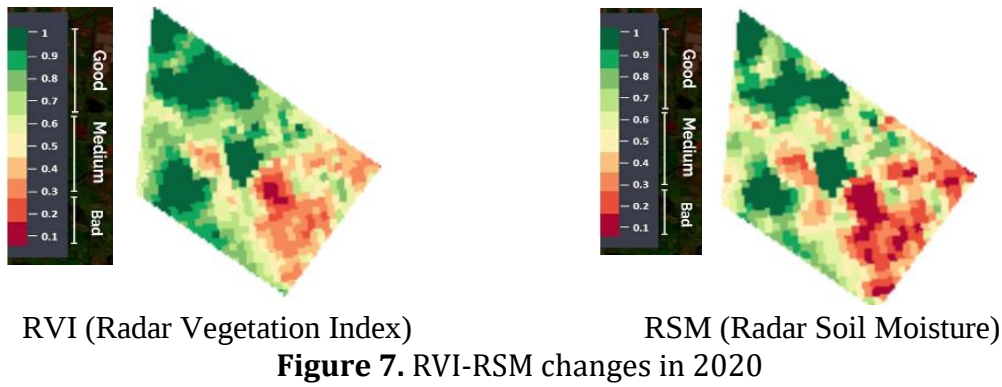
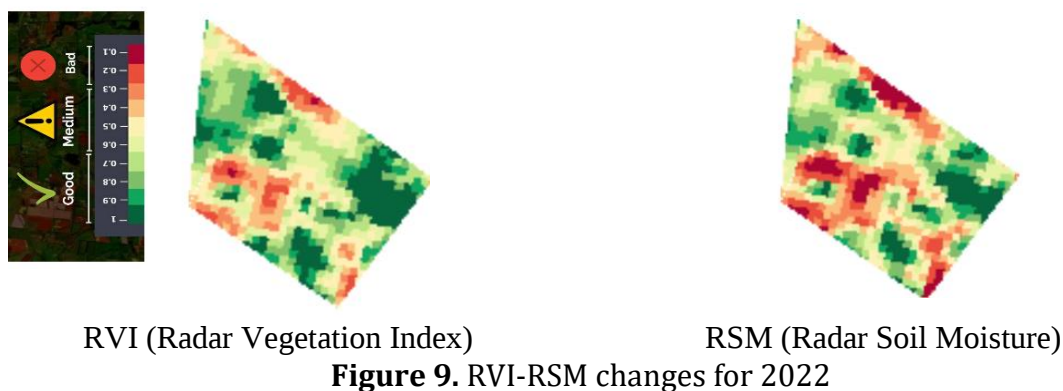
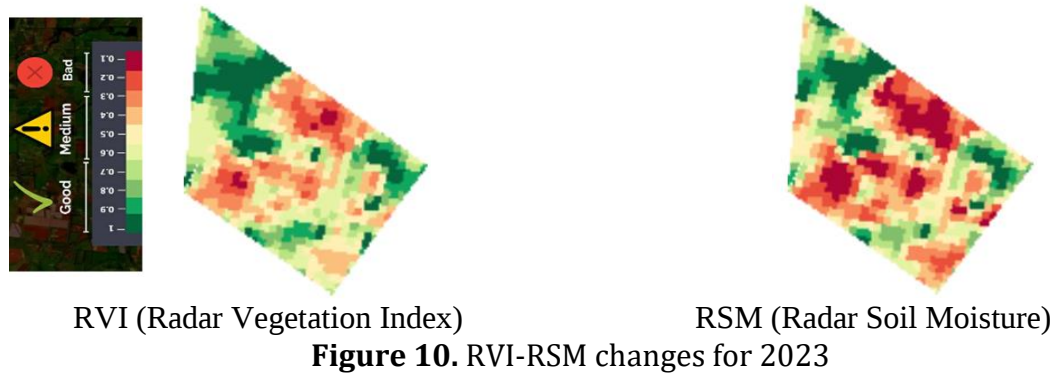


Figure 6. Temporal Variation of RSM, RVI, and NDVI in Apple Orchard



The year 2022 started to show positive development signals compared to the previous two years. The RVI map (Figure 9) shows values reaching 0.5 in the northwest and southeast regions, indicating an increase in the leaf area index. RSM data (Figure 9) reveals that regions with soil moisture in the 0.3-0.5 band are expanding in area. This increase in soil moisture supported vegetative growth, and partial production potential was realized in the garden. This year can be considered a transition year in which the return to production begins. 2023 was when the recovery of 2022 could not be sustained, and the soil-plant system weakened again. The RVI map (Figure 10) shows low vegetation density with a predominance of red and orange tones. RVI values dropped below 0.2, especially in the central and western regions. RSM data (Figure 10) reveals a similar decline, with low moisture levels in most areas with values in the 0.1-0.3 band. The decrease in soil moisture is directly reflected in the NDVI; the area has fallen back to the “Low NDVI” class.





2024 stands out as the most productive year for the apple orchard according to all radar data and NDVI measurements. The RVI map (Figure 11) shows strong vegetative development, reaching 0.5-0.7 levels in most orchards. Vegetative reflections are intense in these areas, and the leaf area is at its maximum. The RSM map (Figure 11) also supports this development, with values in the range of 0.4-0.6 throughout the garden, indicating sufficient water in the soil. The moisture profile is more balanced and homogeneous. In line with the NDVI data, 2024 is the period with the healthiest plant growth. In 2025, the high growth in 2024 could not be sustained. The RVI map (Figure 12) again shows radar reflections predominantly in the 0.3-0.4 band despite the green areas opening up. This indicates a decrease in leaf growth. The RSM data (Figure 12), on the other hand, shows that vegetative growth is limited due to a renewed drop in soil moisture. Moisture levels have fallen below 0.2 in many garden parts, indicating unsustainable production. NDVI data confirms these developments, placing the area in the “Low NDVI” band.

The findings of this manuscript indicate that integrating radar-based data with optical-based NDVI offers a high degree of accuracy and timeliness in agricultural monitoring processes. Specifically, the year-by-year examination of the relationships between soil moisture (RSM) and plant growth (NDVI and RVI) is reinforced by empirical evidence showing that productivity is closely linked to plant health and soil conditions. Notably, 2024 represents the peak of productivity; however, the decline observed in 2025 suggests that this level of productivity may not have been maintained, potentially due to climatic stresses or deficiencies in management practices.

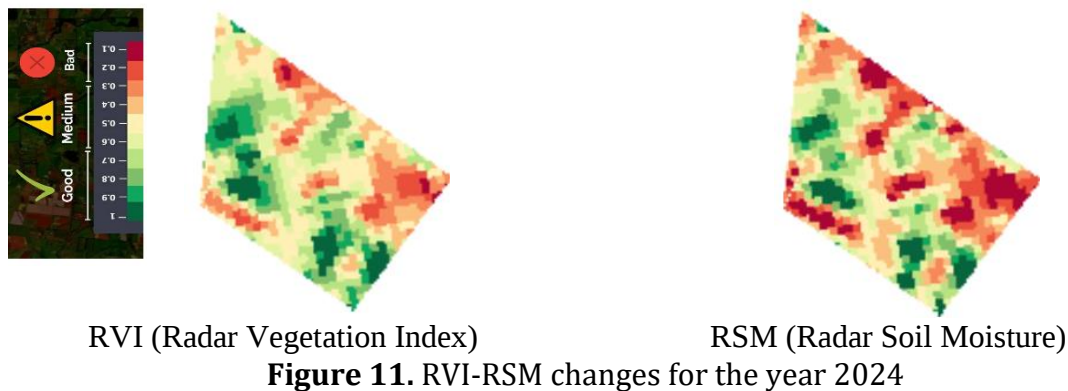




Figure 12. RVI-RSM changes for the year 2025

The integration of radar-based vegetation (RVI) and soil moisture (RSM) indices with optical NDVI data in this study provided a nuanced understanding of plant–soil interactions over time, particularly under semi-arid conditions. The results demonstrated a precise temporal alignment between RSM and vegetative indices, reinforcing that radar-derived metrics effectively detect water stress and its influence on plant health (Pradipta et al., 2022). During years such as 2020, 2021, and 2023, when RSM values were notably low, corresponding declines in RVI and NDVI confirmed that limited soil moisture availability directly constrained canopy development and photosynthetic activity. These findings align with previous studies emphasizing the importance of integrating soil moisture variability into crop health diagnostics to enhance yield forecasting and management responsiveness (Duarte & Hernandez, 2024; Sishodia et al., 2020).

The sharp contrast observed in 2024, where high RSM levels corresponded with peak NDVI and RVI values, further illustrates the synergy between water availability and vegetative performance. Such insights echo recent literature that has underscored the benefits of radar-based monitoring in overcoming the limitations of optical indices during cloudy or drought-prone seasons (Hu et al., 2024). The ability of RVI to capture real-time biomass changes even under suboptimal optical conditions makes it particularly valuable for operational irrigation planning (Yang et al., 2024). However, despite the prior year's gains, the rapid regression in 2025 highlights the fragility of systems that lack continuous, adaptive soil-plant monitoring. This aligns with recent findings that stress the need for combining high-frequency remote sensing with precision irrigation frameworks to achieve sustainable production in climate-sensitive horticultural zones (Dong et al., 2024).

In conclusion, this study's temporal co-variation of RSM, RVI, and NDVI validates their combined use in stress detection. It also provides a replicable model for soil-plant interaction monitoring in other semi-arid orchard systems. Future agricultural monitoring platforms should prioritize multisensor fusion approaches to ensure resilience in the face of increasing climatic variability.

3.3 NDRE and SAVI Data on Plant Stress

NDRE (Normalized Difference Red Edge) and SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) are effective remote sensing indices used for stress detection at different stages of plant development. In this study, SAVI was used to assess plant performance during the early developmental stage, while NDRE was used to determine plant vigor during the maturation stage. The data from 2020 and 2025 show that both indices complement agricultural stress monitoring.

NDRE and SAVI maps for 2020, presented in Figure 13, show extremely low index values across the field. Dark red and burgundy tones in both years characterize the maps. A similar pattern is observed in

the 2021 maps (Figure 14). According to the area distributions, the area falls between -1 and 0.1 in the SAVI classification, while for NDRE, almost the whole area falls between -1 and 0.1. This indicates that vegetation was absent at the beginning of development (SAVI) and later in the season (NDRE) and that severe water and nutrient stress was experienced.

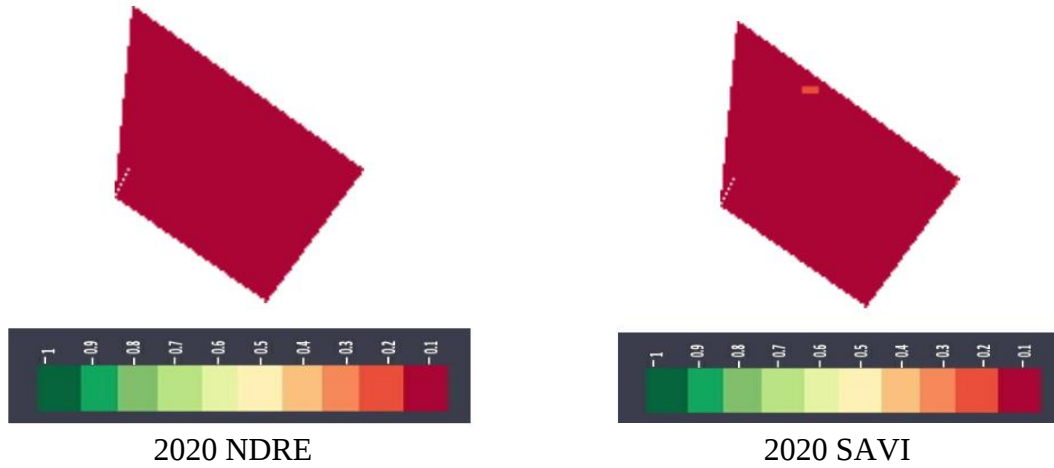


Figure 13. NDRE and SAVI change for 2020

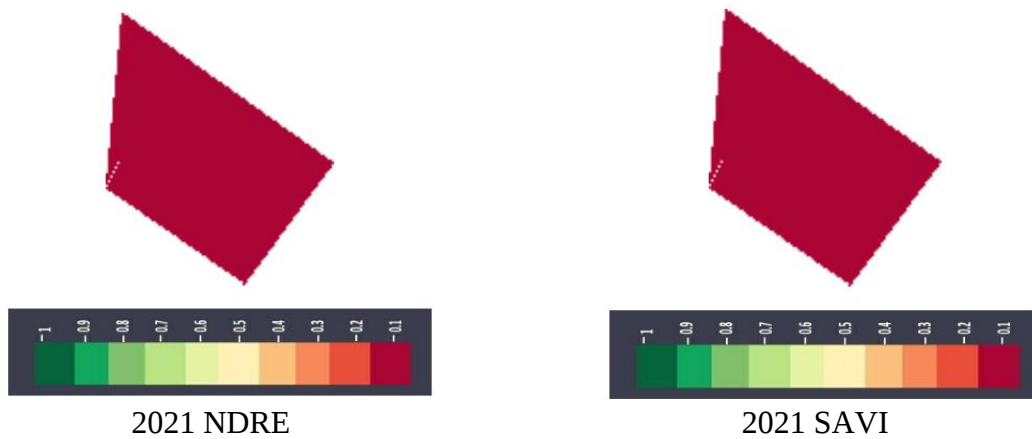


Figure 14. NDRE and SAVI changes for 2021

In 2022, both indices showed the first signs of partial improvement. As depicted in Figure 15, the areas highlighted in orange and yellow on the SAVI map indicate a positive change. In contrast, the NDRE map reveals light green tones emerging in the eastern and western regions. Area data demonstrates the emergence of a 9264 m² zone within the NDRE range of 0.2-0.3, suggesting limited plant vitality late in the season. However, the data for 2023 indicates a decline in both SAVI and NDRE values (Figure 16). Notably, the SAVI values reverted to red, signaling that stress was prevalent during early development. In the NDRE map, areas remain marginally between 0.2 and 0.3, particularly in the southwest, indicating some recovery towards the end of the season. Overall, the area primarily exhibited poor development.

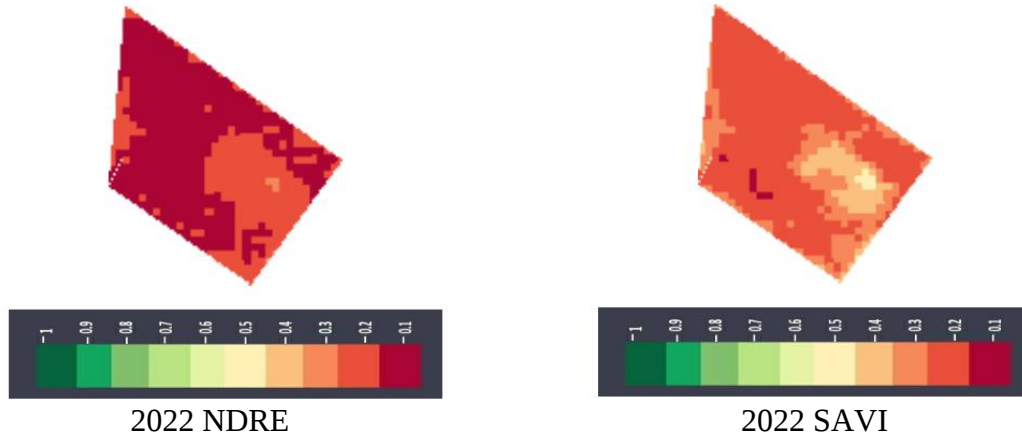


Figure 15. NDRE and SAVI changes for 2022

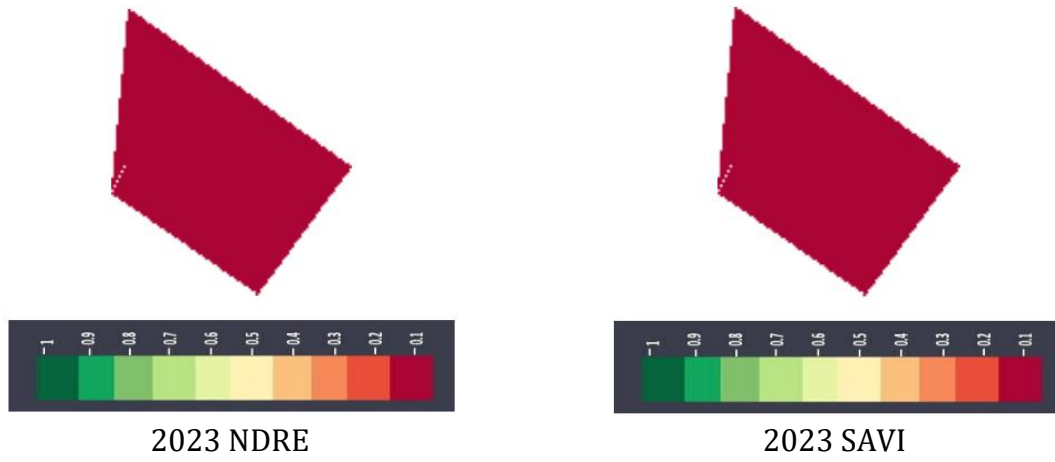


Figure 16. NDRE and SAVI changes for 2023

The highest values for NDRE and SAVI are recorded in 2024. The prevalence of green and yellow tones is depicted in Figure 17, and the k-l maps are noteworthy. In the SAVI metric, a development area of 11,453 m² was identified within the range of 0.2-0.3, while 51,627 m² fell within the range of 0.1-0.2. For the NDRE data, a significant area of 9,264 m² was found in the 0.2-0.3 range, and 53843 m² was identified in the 0.1-0.2 range (Figure 17). These findings suggest that plant growth is sustainable, with stress minimized during the initial stages and subsequent periods. However, the data for 2025 suggests that this development could not be maintained, leading to a return to stress conditions. In the maps presented in Figure 18, although scattered areas within the 0.1-0.2 range in SAVI, NDRE has reverted to the -1 to 0.1 range, with most of the area returning to a red color. This reflects how environmental factors, such as moisture or nutrient deficiencies towards the end of the season, adversely impact the production process.

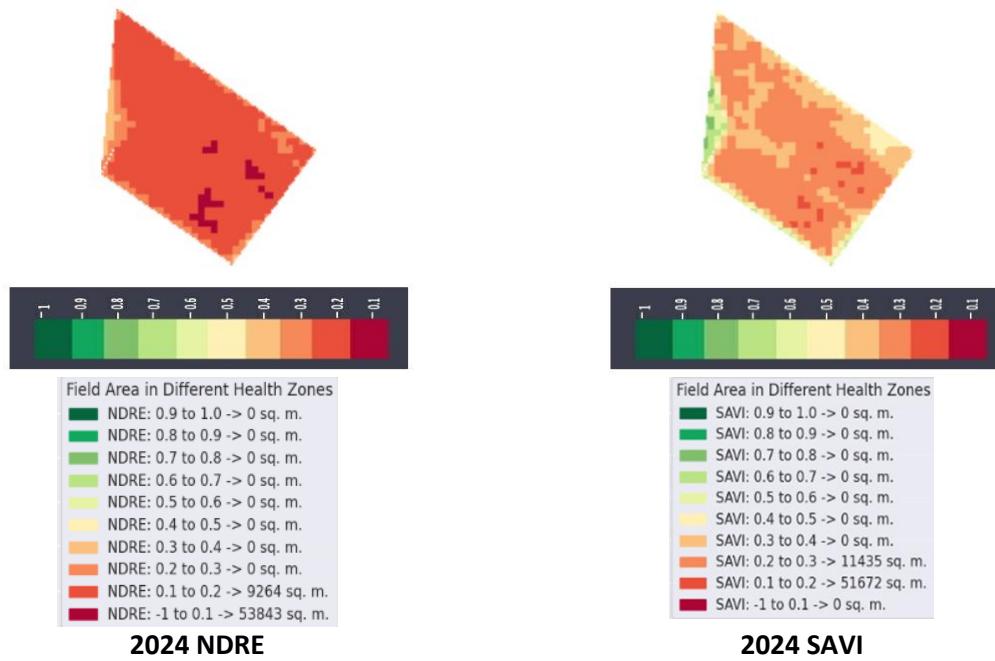


Figure 17. NDRE and SAVI changes for 2024

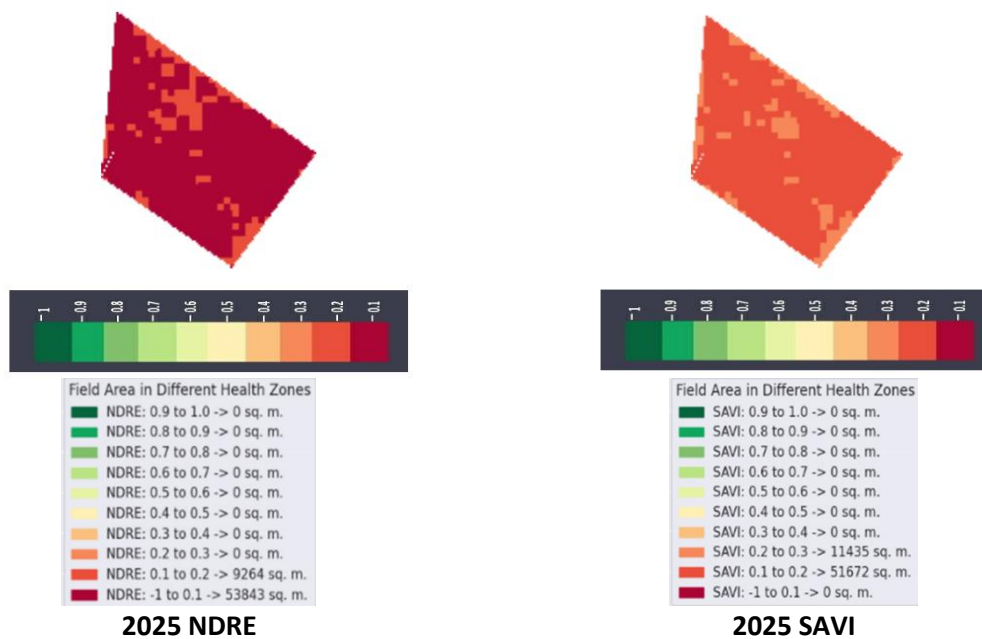


Figure 18. NDRE and SAVI changes for 2025

Integrating NDRE and SAVI indices in this study has proven valuable for evaluating plant stress responses at distinct phenological stages in a semi-arid apple orchard. NDRE effectively captured variations in chlorophyll content and physiological activity during the late season. SAVI offered improved insights into early-stage growth under sparse canopy conditions by minimizing soil background effects (Peres & Cancelliere, 2021). The consistently low index values observed in 2020 and 2021 across both metrics reflected a complete absence of vegetative development, confirming severe stress likely caused by combined water and nutrient limitations. This finding aligns with earlier research that highlights the vulnerability of perennial fruit crops in water-limited systems, particularly during the establishment phase when root development is incomplete (Sellami et al., 2022).

Although limited, the improvement observed in 2022 indicates the early signs of physiological recovery, particularly in the eastern and western zones. This trend was especially evident in NDRE, which showed spatial clusters of medium stress levels (0.2–0.3), corroborating the use of red-edge indices as sensitive indicators of plant vitality under moderate stress conditions (Crespo et al., 2024; Anderson, 2024). However, the decline seen again in 2023 emphasizes the transitory nature of this recovery and the lack of consistency in soil-plant interaction management. These findings reflect broader trends reported in recent precision agriculture literature, suggesting that intermittent improvements in remote sensing indices may not lead to long-term productivity gains unless supported by stable irrigation and nutrient management regimes (Guimarães et al., 2024).

In contrast, 2024 marks the only year NDRE and SAVI values reached optimal levels across a substantial portion of the orchard, indicating synchronization between early vegetative growth and sustained physiological performance. The spatial expansion of medium-index zones in both maps demonstrates that multispectral monitoring of plant stress dynamics offers reliable spatiotemporal resolution for guiding agronomic decision-making (Carella et al., 2024). Nevertheless, the dramatic regression in 2025, particularly in NDRE, reinforces the need for continuous, multi-index-based stress monitoring. The findings emphasize that while NDRE and SAVI independently provide valuable insights, their combined use enhances the reliability of stress detection frameworks and supports more informed adaptive management in semi-arid orchard systems (Sharma et al., 2025).

3.4. Detection of Anomaly and Stress Periods

The interaction of various factors, including climatic variables, soil characteristics, and management practices, influences plant development in agricultural production systems. Some years may exhibit significant deviations (anomalies) or stress conditions regarding production potential within this complex structure. Remote sensing-based crop indices (NDVI, RVI, SAVI, NDRE, etc.) are highly sensitive to detect such periods. In this study, the periods of 2020 and 2023 are characterized by anomalies and stress conditions. Remote sensing data obtained in these years clearly show that environmental conditions significantly affect crop production during these periods.

2020 stands out as a period when low values were recorded in all NDVI, RVI, and SAVI data, and agricultural stress continued in the early development phase until the end of the season. RSM values below 0.1 indicate almost no moisture in the soil, while NDRE maps show that most of the area is between -1 and 0.1, indicating that plant growth does not occur during the season. The area classifications indicate that NDVI corresponds to the “Low” class (63107 m²). RVI values are concentrated by a homogeneous distribution of red color tones in SAVI and NDRE, indicating widespread stress in both early and late plant performance. These findings, in agreement with the meteorological data, suggest that 2020 was a season of drought, and as a result, seed emergence and vegetative development were not adequately realized. Therefore, 2020 is considered a critical year with a high level of agro-stress anomaly in this study. Following a partial recovery in 2022, 2023 is notable for a decline in agricultural performance. Visual and quantitative data show decreased soil moisture and sparse vegetation cover. The NDVI value has returned to the “Low” class, and the entire area falls within this group. According to RSM data, the humidity level is below the critical threshold of 0.2.

Notably, this year's SAVI maps show almost no growth, while NDRE maps indicate limited areas (in the 0.2-0.3 band) with weak vegetation presence towards the end of the season. Radar reflections (RVI) are also weak, indicating a low leaf surface area. In this context, 2023 was below expectations,

constituted a breaking point in sustainable production, and was recorded as an “anomaly” in this respect. This year’s decline interrupted the recovery trend in 2022, creating instability in productivity.

2020 and 2023 are the years when stress levels are the highest and development is the weakest in terms of both plant health and soil conditions. These years stand out when minimum values are observed in all remote sensing-based indices, and production processes are interrupted by various environmental pressures. The combined evaluation of NDVI, RVI, SAVI, and NDRE proves to be an effective tool in the early detection of these anomaly periods and in determining the management measures to be taken in the following years.

Identifying 2020 and 2023 as anomaly and high-stress years underscores the importance of multi-index remote sensing in capturing both the timing and severity of agroecological disturbances. Over these years, the decline in NDVI, RVI, SAVI, and NDRE values indicates widespread physiological stress affecting early and late phenological stages. Notably, the RSM data falling below 0.1 in 2020 and under 0.2 in 2023 highlights critical soil moisture deficiencies that likely compromised seed emergence, vegetative development, and reproductive success (Sishodia et al., 2020). Such multi-dimensional remote sensing diagnostics enable early warning detection that surpasses the limitations of single-variable monitoring systems (Anderson, 2024). Similar applications have demonstrated that the simultaneous use of vegetation and moisture indices enhances spatial precision and enables rapid detection of stress zones in orchards and specialty crops under irregular climatic conditions (Peres & Cancelliere, 2021; Crespo et al., 2024).

The widespread low SAVI and NDRE values in both years, particularly the absence of medium or high zones, confirm that both early canopy development and end-of-season physiological vigor were suppressed, consistent with observations in drought-prone citrus and olive orchards (Sellami et al., 2022). The complete dominance of low NDVI in 2020 (100% of 63,107 m²) and its reappearance in 2023 suggest an unsustainable production environment vulnerable to climatic shocks and agronomic mismanagement (Guimarães et al., 2024). These findings support broader conclusions regarding the importance of year-on-year anomaly tracking in preventing yield collapse and guiding adaptive strategies in perennial fruit systems (Sharma et al., 2025).

Thus, the combined use of spectral and radar indices offers a retrospective diagnosis of stress periods and a forward-looking decision-making tool. Integrating such a multi-index framework into orchard management systems could dramatically improve the resilience of tree-based agriculture against agroclimatic extremes.

3.5. Field-based Productive Development Trends

Plant indices such as NDVI, RVI, NDRE, and SAVI, derived from remote sensing technologies, are crucial in revealing spectral reflections and annual development levels per unit area. Analyses conducted between 2020 and 2025 indicated that trends in the productive development of apple orchards varied annually. Notably, areas classified within the “Medium” (0.2-0.4) and “High” (0.4-0.6) ranges of the NDVI classification serve as direct indicators of plant health and development intensity. Likewise, thresholds of $RVI \geq 0.3$, $NDRE \geq 0.2$, and $SAVI \geq 0.2$ were established as criteria for assessing productive development. Annual comparisons of all these indices were converted into hectares and organized into tabulated forms (Table 2).

Table 2. Productive development areas (ha)

<i>Year</i>	<i>NDVI (≥ 0.2) [ha]</i>	<i>RVI (≥ 0.3) [ha]</i>	<i>SAVI (≥ 0.2) [ha]</i>	<i>NDRE (≥ 0.2) [ha]</i>
2020	0	0	0	0
2021	0	0	0	0
2022	0,65	0,21	1,15	0,93
2023	0	0	0	0,09
2024	6,2	2,58	6,26	2,93
2025	0	0	1,84	0

In 2020 and 2021, no areas exhibited productive development across all plant indices. This period is characterized by significant stress due to inadequate soil moisture and poor vegetative growth. In 2022, a modest yet positive shift was observed in the NDVI and NDRE data, with the SAVI value reaching 1.15 hectares, indicating the onset of partial plant development at the beginning of the season. However, this improvement could not be maintained in 2023, when development began to decline once more, and only 0.09 hectares in the NDRE category could be classified as productive; development nearly ceased across all other indices.

The year 2024 marked the peak of growth across all indices. For NDVI, 6.2 hectares achieved values above 0.2; the highest spectral reflections in RVI and NDRE were recorded this year. The increase in SAVI data to 6.26 hectares signals that optimal development was reached early in the season and at its conclusion. By 2025, the SAVI value decreased to 1.84 hectares, with no areas identified in the productive class for NDVI, RVI, and NDRE. This suggests a decline in plant growth, likely due to moisture deficiencies or management shortcomings by the end of the season.

According to the annual hectare-based analysis, 2024 represented the year with the largest productive areas in the apple orchard during both the early and late development periods. In contrast, 2020, 2021, and 2023 were marked by high stress levels, with virtually no productive development. The combination of SAVI and NDRE data provided a reliable framework for monitoring in-season development, while NDVI and RVI illustrated these dynamics at the field level. In this context, hectare/year analyses based on remote sensing indices lay a robust foundation for assessing past productivity and planning for future production.

The annual hectare-based analysis of NDVI, RVI, SAVI, and NDRE indices from 2020 to 2025 reveals the interannual variability in plant performance and the value of multi-index frameworks in quantifying spatial productivity across phenological stages. The absence of productive areas in 2020, 2021, and 2023 confirms the system's high sensitivity to stress, particularly soil moisture deficiencies, which aligns with earlier studies highlighting that remote sensing indices are reliable indicators of vegetative suppression under drought stress (Sishodia et al., 2020). The modest improvements observed in 2022—especially in SAVI and NDRE—suggest partial canopy development and a return of photosynthetic activity, consistent with previous reports noting that red-edge indices effectively detect early physiological recovery (Sellami et al., 2022).

2024 represents a turning point, with concurrent increases across all indices, reaching 6.2 ha in NDVI, 6.26 ha in SAVI, and 2.93 ha in NDRE, signaling optimum productivity from early growth through maturation. This finding supports the growing consensus that combining structure-sensitive indices, such as RVI, with chlorophyll-related metrics, like NDRE, yields a more comprehensive depiction of plant health and vigor across seasons (Guimarães et al., 2024; Carella et al., 2024). By contrast, the regression

observed in 2025, where productive zones nearly vanished except for a residual 1.84 ha in SAVI, illustrates the fragility of gains made without sustained management or favorable climatic conditions.

Moreover, the data reinforce that using hectare-level thresholds in remote sensing strengthens the spatial resolution of productivity assessments and provides an empirical foundation for yield forecasting and adaptive resource allocation (Berry et al., 2024). When integrated into decision-support platforms, such metrics can enable orchard managers to retrospectively analyze growth patterns while proactively tailoring inputs in future seasons (Sharma et al., 2025). In this context, NDRE and SAVI appear especially promising as in-season monitoring tools, while NDVI and RVI offer complementary field-level validation of development dynamics.

Despite the observed fluctuations in NDVI and other vegetation indices over the six years, it is essential to consider the structural characteristics of the orchard that may have influenced spectral responses, particularly during the early seasons. The young apple trees in the study area had minimal canopy cover, and large inter-row spacing (~10 m) led to significant soil exposure, resulting in a dominant soil background reflectance in satellite pixels. This phenomenon has been previously identified as a limitation in remote sensing of perennial crops in their juvenile phase (Crespo et al., 2024; Sharma et al., 2025).

To mitigate these effects, the study incorporated SAVI and radar-based indices (RVI, RSM), which are better suited to sparse vegetation conditions and less sensitive to soil reflectance. The convergence of results across SAVI, NDRE, and radar indices in later years (particularly 2024) supports the validity of the multi-index framework even under initial spectral dilution. These adaptations align with precision agriculture practices recommended for orchard monitoring under sparse canopy conditions (Guimarães et al., 2024). The future use of high-resolution UAV imagery or crown-based object detection is recommended to enhance early-stage vegetation discrimination and improve pixel-level accuracy.

3.6. Future Research

This study demonstrated the effectiveness of integrating spectral and radar-based vegetation and soil moisture indices for monitoring plant development and stress dynamics in a semi-arid apple orchard. While the findings offer significant insights, several key areas remain for future research. First, extending the scope of the analysis to include real-time meteorological data (e.g., precipitation, vapor pressure deficit, and solar radiation) could improve the predictive accuracy of vegetation response models. Integrating multi-source environmental data with remote sensing outputs would enable more robust forecasting of anomaly events and crop yield.

Second, the current study utilized threshold-based classification for index interpretation; however, machine learning or deep learning models (e.g., Random Forest, LSTM, CNN) could be developed to automate the identification of spatial and temporal stress patterns. These approaches may provide higher-resolution decision support and adaptively respond to inter-seasonal variability.

Third, future studies should investigate the scalability and transferability of the proposed index-based monitoring framework across various crop types, soil textures, and agroclimatic zones. The generalizability of NDRE and SAVI as indicators of early- and late-season stress in other perennial systems, such as vineyards, citrus, or olive groves, remains an open research avenue.

Moreover, coupling UAV-based hyperspectral and thermal imagery with satellite data may bridge the spatial resolution gap and enhance field-level precision, particularly in intra-orchard zone classification. Integrating economic and agronomic outcomes, such as cost-benefit analyses of irrigation

optimization based on remote sensing, could provide stakeholders with practical implementation pathways. Future studies should consider UAV-based imagery or high-resolution satellites (e.g., PlanetScope) to isolate tree crowns using object-based classification. This would allow precise masking of non-canopy areas, significantly improving index fidelity. Such approaches have also been recommended by Sharma et al. (2025) and Guimarães et al. (2024), particularly for orchard systems with sparse early-stage canopies and heterogeneous stress patterns.

A key limitation of this study is the absence of recorded field-level irrigation volumes and schedules, which would have allowed for a more detailed correlation analysis between RSM values and irrigation events. Future studies are recommended to integrate soil moisture probes and irrigation logs to enhance the interpretation of radar-based indices. This gap is frequently cited in the literature as a significant challenge in remote-sensing-based soil moisture assessment frameworks (Duarte et al., 2025; Sishodia et al., 2020). Integrating meteorological data, such as precipitation, temperature, and vapor pressure deficit (VPD), with RSM and RVI indices would enable a more robust temporal interpretation of soil-plant-climate interactions across phenological stages. Future studies should consider UAV-based imagery or high-resolution satellites (e.g., PlanetScope) to isolate tree crowns using object-based classification. This would allow precise masking of non-canopy areas, significantly improving index fidelity. Integrating meteorological data, such as precipitation, temperature, and vapor pressure deficit (VPD), with RSM and RVI indices would enable a more robust temporal interpretation of soil-plant-climate interactions across phenological stages. Such integration strategies have also been advocated by recent studies, which utilize multispectral and thermal UAV imagery in conjunction with VPD and weather station data to enhance water stress diagnostics (Mali et al., 2025).

Lastly, future work should investigate the development of cloud-based platforms or mobile applications capable of translating multi-index remote sensing data into real-time advisory tools for growers and irrigation managers. Such advancements would reinforce the transition from observational monitoring to actionable, site-specific agricultural intelligence.

4. CONCLUSION

Based on the findings from the six-year (2020–2025) analysis of satellite-derived vegetation and moisture indices in a drip-irrigated apple orchard:

- 2020 and 2023 were identified as high-stress anomaly years, with all indices (NDVI, RVI, SAVI, NDRE, RSM) indicating minimal vegetation cover and severe soil moisture deficits.
- 2024 emerged as the most productive year, with over 44% of the orchard area classified in medium to high NDVI zones, and SAVI and NDRE confirming early and late-season physiological performance.
- SAVI and NDRE proved to be complementary indicators for detecting seasonal stress dynamics, offering more substantial resolution in early (SAVI) and late (NDRE) development stages.
- Radar and spectral index integration revealed strong correlations, particularly between RSM, RVI, and NDVI ($r \approx 0.99$), reinforcing the use of multi-index frameworks in soil-plant diagnostics.
- Productive zone mapping based on hectare thresholds (e.g., $NDVI \geq 0.2$, $RVI \geq 0.3$) provided field-scale insights valuable for retrospective yield assessment and future irrigation planning.
- The lack of sustainability observed in 2025, following the peak in 2024, highlighted the vulnerability of current practices and the need for continuous, adaptive management strategies.

- Multi-index analysis enabled precise identification of temporal anomalies and spatial variability, offering a replicable methodology for other perennial cropping systems in water-limited environments.

Artificial Intelligence Declaration

The author gratefully acknowledges the use of ChatGPT for grammatical and linguistic enhancement during the preparation of this manuscript. After utilizing these tools, they reviewed and edited the content as needed and accepted full responsibility for the content of the publication.

REFERENCES

- Anderson, K. (2024). Detecting environmental stress in agriculture using satellite imagery and spectral indices. (Doctoral dissertation, Obafemi Awolowo University). <https://www.researchgate.net/publication/378122204>
- Berry, A., Vivier, M. A., & Poblete-Echeverría, C. (2024). Evaluation of canopy fraction-based vegetation indices, derived from multispectral UAV imagery, to map sensor status variability in a commercial vineyard. *Irrigation Science*, 43, 135-153. <https://doi.org/10.1007/s00271-023-00907-1>
- Carella, A., Bulacio Fischer, P. T., Massenti, R., & Lo Bianco, R. (2024). Continuous plant-based and remote sensing for the determination of fruit tree water status. *Horticulturae*, 10(5), 516. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10050516>
- Crespo, N., Pádua, L., Santos, J. A., & Fraga, H. (2024). Satellite remote sensing tools for drought assessment in vineyards and olive orchards: A systematic review. *Remote Sensing*, 16(11), 2040. <https://doi.org/10.3390/rs16112040>
- Dong, H., Dong, J., Sun, S., Bai, T., Zhao, D., & Yin, Y. (2024). Crop water stress detection based on UAV remote sensing systems. *Agricultural Water Management*, 303, 109059. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108259>
- Duarte, E., & Hernandez, A. (2024). A review on soil moisture dynamics monitoring in semi-arid ecosystems: Methods, techniques, and tools applied at different scales. *Applied Sciences*, 14(17), 7677. <https://doi.org/10.3390/app14177677>
- Gaznayee, H. A. A., Zaki, S. H., & Al-Quraishi, A. M. F. (2023). Integrating remote sensing techniques and meteorological data to assess the ideal irrigation system performance scenarios for improving crop productivity. *Water*, 15(8), 1605. <https://doi.org/10.3390/w15081605>
- Guimarães, N., Sousa, J. J., Pádua, L., Bento, A., & Couto, P. (2024). Remote sensing applications in almond orchards: A comprehensive systematic review of current insights, research gaps, and prospects. *Applied Sciences*, 14(5), 1749. <https://doi.org/10.3390/app14051749>
- Hasan, S. S., Alharbi, O. A., Alqurashi, A. F., & Fahil, A. S. (2024). Assessment of desertification dynamics in arid coastal areas by integrating remote sensing data and statistical techniques. *Sustainability*, 16(11), 4527. <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/11/4527>
- Hu, X., Li, L., Huang, J., Zeng, Y., Zhang, S., & Su, Y. (2024). Radar Vegetation Indices for Monitoring Surface Vegetation: Developments, Challenges, and Trends. *Science of the Total Environment*, 921, 170854. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170854>
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295–309. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)
- Ippolito, M. (2023). Assessing crop water requirements and irrigation scheduling at different spatial scales in Mediterranean orchards using models, proximal and remotely sensed data (Doctoral

- dissertation). *Italian National Repository.*
<https://tesidottorato.depositolegale.it/handle/20.500.14242/172965>
- Kaya, P. D. S. N., & Öztürk, R. E. (n.d.). Soil quality and vegetation index assessments for rice and wheat cultivations: A review. ResearchGate Preprint.
<https://www.researchgate.net/publication/376851588>
- Lakhiar, I. A., Yan, H., Zhang, C., Wang, G., He, B., & Hao, B. (2024). A review of precision irrigation water-saving technology under a changing climate for enhancing water use efficiency, crop yield, and environmental footprints. *Agriculture*, 14(7), 1141.
- Mali, S. S., Scobie, M., Baillie, J., Plant, C., & Shammi, S. (2025). Integrating UAV-based multispectral and thermal infrared imagery with machine learning for predicting water stress in winter wheat. *Precision Agriculture*, 26(3), 44. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11119-025-10239-z>
- Nalçaoğlu, Ç., Nalçaoğlu, D. H., Doğru, A. & Yaprak, S. (2025). Predicting olive yield in Mediterranean climate zones of Türkiye using remote sensing and artificial neural networks: A case study of Muğla Province. Preprints.
https://www.preprints.org/frontend/manuscript/7b9ac7d093830875cf265d810cec131a/download_pub
- Odi-Lara, M., Campos, I., Neale, C. M. U., & Ortega-Farías, S. (2016). Estimating evapotranspiration of an apple orchard using a remote sensing-based soil water balance. *Remote Sensing*, 8(3), 253.
- Peres, D. J., & Cancelliere, A. (2021). Analysis of multi-spectral images acquired by UAVs to monitor water stress of citrus orchards in Sicily, Italy. In World Environmental and Water Resources Congress 2021 (pp. 251–260). <https://doi.org/10.1061/9780784483466.025>
- Pradipta, A., Souprios, P., Kourgialas, N., Doula, M., & Dokou, Z. (2022). Remote sensing, geophysics, and modeling to support precision agriculture—Part 2: Irrigation management. *Water*, 14(7), 1157. <https://doi.org/10.3390/w14071157>
- Sellami, M. H., Albrizio, R., Čolović, M., & Hamze, M. (2022). Selection of hyperspectral vegetation indices for monitoring yield and physiological response in sweet maize under different water and nitrogen availability. *Agronomy*, 12(2), 489. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020489>
- Sharma, H., Sidhu, H., & Bhowmik, A. (2025). Remote sensing using uncrewed aerial vehicles for water stress detection: A review focusing on specialty crops. *Drones*, 9(4), 241. <https://doi.org/10.3390/drones9040241>
- Sillero-Medina, J. A., & González-Pérez, J. (2025). Deficit irrigation regimens on soil moisture, production parameters of mango (*Mangifera indica* L.), and spectral vegetation indices in the Mediterranean region. *Heliyon*, 11, e2799. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352938524002799>
- Sishodia, R. P., Ray, R. L., & Singh, S. K. (2020). Applications of remote sensing in precision agriculture: A review. *Remote Sensing*, 12(19), 3136. <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/19/3136>
- Stagakis, S., González-Dugo, V., & Cid, P. (2012). Monitoring water stress and fruit quality in an orange orchard under regulated deficit irrigation using narrow-band structural and physiological remote sensing indices. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 71, 47–61. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.05.002>
- Yang, X., Gao, F., Yuan, H., & Cao, X. (2024). Integrated UAV and satellite multi-spectral for agricultural drought monitoring of winter wheat in the seedling stage. *Sensors*, 24(17), 5715. <https://doi.org/10.3390/s24175715>

Authors' Biography



Alperay ALTİKAT

Research Assistant Alperay ALTİKAT was born in Erzurum in 1997. He completed his undergraduate studies in 2020 at Atatürk University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops. In 2021, he earned his master's degree at Iğdır University, Institute of Natural Sciences, Department of Biosystems Engineering. He started his doctoral studies the same year and is currently continuing his research at the Department of Biosystems Engineering, Graduate School of Science, Iğdır University. Since 2023, he has worked as a Research Assistant in the Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Iğdır University. His areas of expertise include biochar production and application, artificial intelligence, hyperspectral imaging, renewable energy technologies in agriculture, and closed plant production systems. In this role, he has served as both a project leader and researcher in funded projects at the national and international levels and has published numerous scientific articles, book chapters, and conference papers.

İletişim

altikatalperay@gmail.com

ORCID Adresi

<https://orcid.org/0000-0002-0087-5814>

Rüzgâr Enerjisinin Türkiye Tarımına Etkisi ve Geleceği

The Impact and Future of Wind Energy in Turkish Agriculture

Buse Yılmaz¹  Onur Taşkın^{2,*}  Ali Vardar² 

¹Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa, Türkiye.

²Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye.

* Corresponding author (Sorumlu Yazar): O. Taşkın, e-mail (e-posta): onurtaskins@gmail.com

Makale Bilgisi

Alınış tarihi : 11.07.2025
Düzeltilme tarihi : 11.08.2025
Kabul tarihi : 12.08.2025

Anahtar Kelimeler:

Yenilenebilir enerji
Arazi kullanımı
Verim

Atfîçin:

Yılmaz, B., Taşkın, O., Vardar, A., (2025). "Rüzgâr Enerjisinin Türkiye Tarımına Etkisi ve Geleceği", Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 21(2): 162-169.

ÖZET

Enerji, sürdürülebilir ekonomik kalkınma için gerekli temel bir unsurdur. Yenilenebilir enerjinin dünyadaki en hızlı büyüyen enerji sektörü olmasında; fosil yakıtların maliyetinin artması, tükenmesi, yanmaları sonucu oluşan sera gazı emisyonları ve enerji güvenliğinin sağlanması bulunmaktadır. Rüzgâr enerjisinin dünyanın neredeyse her yerinde bulunması ve rüzgâr türbinlerinin kırsal alanlara kurulabilmesi olası tarımsal üretime ve arazi kullanımına etkisini ortaya çıkarmaktadır. Bu çalışmada kümülatif etkileri ölçmeye yönelik az sayıdaki girişimin de derlenerek, politika yapıcılara hem tarımsal hem de yenilenebilir enerji politikalarını güncellemede fikir sunulması amaçlanmıştır.

Article Info

Received date : 11.07.2025
Revised date : 11.08.2025
Accepted date : 12.08.2025

Keywords:

Renewable energy
Land Use
Efficiency

How to Cite:

Yılmaz, B., Taskin, O., Vardar, A., (2025). "The Impact and Future of Wind Energy in Turkish Agriculture", Journal of Agricultural Machinery Science, 21(2): 162-169.

ABSTRACT

Energy is a fundamental component required for sustainable economic development. The rapid global growth of the renewable energy sector can be attributed to several factors: the rising costs of fossil fuels, the depletion of fossil fuel reserves, greenhouse gas emissions resulting from fossil fuel combustion, and the need to ensure energy security. The widespread availability of wind energy across the globe and the feasibility of installing wind turbines in rural areas highlight its potential impact on agricultural production and land use. This study aims to provide insights for policymakers by compiling the limited existing initiatives that assess the cumulative impacts of wind energy, thereby supporting the development of integrated agricultural and renewable energy policies.

1. GİRİŞ

Avrupa Yeşil Mutabakatı, 1 Aralık 2019'da Avrupa Komisyonu tarafından sunulan ve Avrupa kıtasını 2050 yılında karbon sıfır pozisyona getirmeyi hedefleyen, yenilikçi ve sürdürülebilir büyüme stratejisini ortaya çıkaran bir araçtır. Mutabakat kapsamında sürdürülebilir ulaşım, inşaat ve renovasyon, sürdürülebilir sanayi, kirliliğin ortadan kaldırılması, temiz enerji, biyoçeşitlilik ve tarladan sofraya stratejileri bulunmaktadır. Günümüz Avrupa Birliği'nin (AB) sera gazı emisyonlarının %10,3'ünün sebebi tarımsal üretim olmasına rağmen, 1990'dan bu yana %20 oranında düşüş sağlanabilmiştir. Sektörün üretim, işleme, paketlenme, nakliye ve perakende satışı ile hava, toprak ve su kirliliği sonucu sera gazı emisyonları artmakta ve biyolojik çeşitlilik üzerinde önemli bir etkisi olmaktadır. Bu nedenle, sürdürülebilir gıda sistemlerine geçiş başlamış bulunmaktadır (Hanedar ve ark., 2023).

Avrupa Yeşil Mutabakatı çerçevesinde sunulan ve şekillenmekte olan Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması ile de AB'ye girecek ürünlerin öncelikle enerji yoğun sektörlerde (demir-çelik, çimento, alüminyum, hidrojen, elektrik ve gübre) olmak üzere üretimindeki karbon yüklerinin azaltılması hedeflenmektedir. Tüzük gereği 1 Ekim 2023 - 31 Aralık 2025 tarihleri arası geçiş dönemi kabul edilmektedir. Bu süreçte yukarıda belirtilen sektörlerdeki AB ithalatçıları herhangi bir mali yükümlülük altına girmeyecektir, ancak ürünlerinde gömülü emisyonları raporlanmaya başlanacaktır. 2026 yılında ise tam uygulamanın başlaması sonucu üretim emisyonlarını düşüremeyen ithalatçıların karbon vergisi ya da karbon ayak izine karşılık gelen emisyon sertifikalarını satın almaları gerekecektir.

Paris ve ark. (2022) AB'de açık alan tarımında enerji kullanımı üzerine yaptıkları çalışmada enerjinin çoğunluğunun yenilenemeyen kaynaklardan sağlandığını ifade etmişlerdir. Ayrıca, toplam enerji girdisinin de %55'inin dolaylı kaynaklardan geldiğini bildirmişlerdir. Gübre üretiminin ise AB tarımında en büyük enerji tüketen faaliyet olduğunu ve tüm enerji girdilerinin yaklaşık %50'sini oluşturduğunu bulmuşlardır. Tarımsal yetiştiriciliğe bağlı olarak değişmekle beraber ortalama toplam enerji girdilerinin %31'ini dizel yakıt kullanımı, %5'ini sulama, %5'ini depolama, %5'ini kurutma, %5'ini tarım ilacı ve %5'ini tohum oluşturmuştur.

AB'nin Yeşil Mutabakatı ve tarladan sofraya stratejisinde özetlenen hedeflere ulaşması ve Sınırdaki karbon düzenleme mekanizmasının Türkiye'nin rekabet gücünü etkilememesi için üretim süreçlerinde de yeşil dönüşümün benimsenmesi gerekmektedir. AB'nin 2030 yılına kadar enerji ihtiyacının en az %45'inin yenilenebilir enerjiden karşılama hedefi doğrultusunda rüzgâr enerjisi kapasitesini 510 GW artırması gerektiği ortaya çıkmıştır. AB'nin uygulamaya koymuş olduğu tüm bu aksiyon planları Avrupa Yeşil Mutabakatı ile şekillenen yeni büyüme stratejisinde yenilenebilir enerji kaynaklarını değerlendirmenin ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır (Baştürk, 2023). Türkiye de rüzgâr enerjisinde 2005 yılında devreye giren Yenilenebilir Enerji Kanunuyla beraber gelişim kaydetmiştir. Haziran 2024'de yayınlanan verilere göre Türkiye'nin rüzgâr enerjisi kurulu gücü 12,2 GW seviyesine yükselmiştir. Bu da toplam kurulu gücün %11'ine denk gelmektedir (TEİAŞ, 2024). Türkiye'nin 2053 Net Sıfır Emisyon Hedefi esas alınarak hazırlanan Ulusal Enerji Planında ise 2035 yılında rüzgâr enerjisi kurulu gücünün 5 GW deniz üstü, 24,6 GW kara üstü olmak üzere toplam 29,6 GW'a ulaşması hedeflenmiştir (ETKB, 2022).

2. RÜZGÂR ENERJİSİ VE TARIMA ETKİLERİ

Rüzgâr Enerjisinin Tarıma Doğrudan ve Dolaylı Etkileri iki başlık altında incelenebilir. Doğrudan etkiler: Rüzgâr türbinleri tarım arazilerinde sulama sistemleri, tarımsal ürünlerin depolanması ve işlenmesi gibi süreçlerde elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanılabilir. Bu özellikle şebeke elektriğine erişimin kısıtlı olduğu kırsal alanlarda büyük avantaj sağlar.

Dolaylı etkiler: Rüzgâr enerjisi projeleri tarım arazilerinin kullanımı üzerinde dolaylı etkilere de sahiptir, bazı durumlarda rüzgâr santralleri tarımsal üretim alanlarının daralmasına neden olabilirken uygun planlama ile bu etki en aza indirgenebilir. Ayrıca rüzgâr enerjisi yatırımları kırsal alanlarda ekonomik canlılık yaratmakta ve istihdam imkânları sunmaktadır.

Türkboyları ve Yüksel (2024) rüzgâr türbinlerinin tarımsal amaçla hayvan barınaklarında enerji kaynağı olarak kullanılma olanaklarını araştırmışlardır. Rüzgâr enerjisi potansiyeli yüksek olan Marmara Bölgesinde, hayvan barınaklarında ihtiyaç duyulan mekaniksel havalandırma ve serinletme için gerekli elektrik enerjisinden %25-30 daha güçlü bir rüzgâr türbini sistemi ile tarımsal amaçlı olarak kullanılmasının mümkün olduğunu bildirmişlerdir.

Usman ve ark. (2024) Nijerya'da kurak bölgelerdeki çiftçilerin sulama ihtiyaçlarına göre tasarlanmış küçük ölçekli rüzgâr enerjisi dönüşüm sisteminin performansını araştırmışlardır. Yaptıkları modelleme sonuçlarına göre sistemin ortalama 18,3 kW güç üretme kapasitesine sahip olduğunu göstermişlerdir. Nijerya Meteoroloji Ajansı'ndan aldıkları rüzgâr hızı verileri $3,10 \text{ ms}^{-1}$ ile $9,83 \text{ ms}^{-1}$ arasında değişmekte olup, üretilen voltaj (98 V ile 250 V), akım (51 A ile 103 A), frekans (39 Hz ile 65 Hz) ve güç (5,1 kW ile 20,6 kW) değişimlerini belirlemişlerdir. Sonuç olarak, tarımsal üretkenliği artırmak ve üreticilerin ekonomik refahına katkıda bulunmak için rüzgâr enerjisi çözümlerinin uygulanabilirliğini vurgulamışlardır.

Júnior ve ark. (2020) Brezilya'da rüzgâr çiftliklerinin tarım alanlarındaki toprak işgalini incelemişlerdir. Coğrafi bilgi sistemi işlenen veriler doğrultusunda rüzgâr çiftlikleri kurulumunun arazi kullanımı, işgal sınıfı ve yerel bitki örtüsünde anlamlı bir değişikliğe sebep olmadığını bildirmişlerdir. Ancak fazla sayıda rüzgâr çiftliği inşa edildiği dönemlerde, kaju alanlarında bir azalma olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bazı üreticilerin resmi verilere dayandığı sonuçlara göre, rüzgâr santrallerinin inşası sırasında oluşan tozdan dolayı kaju hasadında kayıplar tespit edilmiştir.

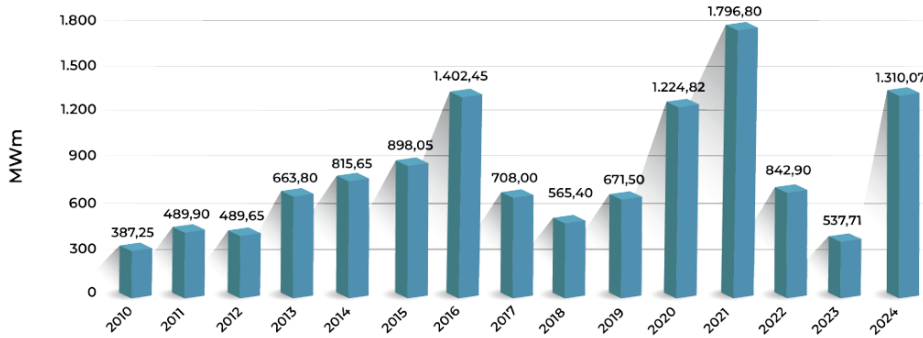
Morris ve Blekkenhorst (2017) Kanada'nın Ontario eyaletinde yakın zamanda tamamlanan rüzgar enerjisi projelerine ilişkin verileri derleyerek, bu projeler nedeniyle ne kadar tarım arazisinin kaybedildiğini, kırsal alanların ne kadarının değiştirildiğini ve bunların karbon depolama, sürdürülebilir tarım ve Ontario'nun gıda güvenliği üzerindeki etkilerinin ne olduğunu tahmin etmeye çalışmışlardır. Rüzgar enerjisinin Ontario, Kanada ve diğer ülkeleri düşük karbonlu bir ekonomiye doğru taşıma potansiyeline sahip olmasına rağmen, karar vericilerin hiçbir teknolojinin gerçekten 'yeşil' olmadığını ve enerji politikalarını ise tüm enerji üretim biçimlerinin kümülatif etkilerini dikkate alarak öngörmeleri gerektiğini bildirmişlerdir. Rüzgar enerjisinin küresel ısınma, düşük karbonlu gelecek ve alternatiflerine kıyasla maliyetleri hakkındaki çalışmalar rüzgar enerjisinin savunucuları tarafından ifade edilse de karadaki rüzgar enerjisi projelerinin kırsal kesim sakinlerine zarar verip vermediğini ve çokuluslu şirketlerin kârlarının, değişen manzaralar, ekosistem hizmetleri, biyolojik çeşitlilik üzerindeki etkiler, kırsal toplulukların sosyal bozulumu ve tarım arazilerinin kitlesel endüstrileşmesini sorgulamaya davet etmişlerdir.

3. RÜZGÂR ENERJİSİNİN TÜRKİYE'DEKİ GELECEĞİ

Rüzgâr enerjisi santrali kurulacak yerin yeterli ve sürekli rüzgâr potansiyeline sahipliği, engellerden (yüksek binalar, dağlar, ağaçlar) mümkün olduğunca uzaklığı, arazinin düz veya hafif eğimli olması, erişilebilir bir altyapıya (elektrik, yol ve diğer) sahipliği, inşaat izinleri, çevresel değerlendirmeler ve enerji düzenleyici kurumların gerekliliklerine uygunluk gibi izinlerin alınması, kuş ve diğer hayvan göç yolları, doğal habitatlar, su kaynakları ve diğer çevre hassasiyetleri ile uygun zemin şartlarına sahipliği gibi faktörler önemli konulardır.

Türkiye'de yapılacak yatırımların öncesinde takip edilmesi gerekenler sırasıyla; Rüzgâr enerji potansiyeli haritasından yararlanarak yer seçimi ve rüzgâr bilgisi tespiti, bölge için santral başvurusunun varlığı, bölgenin arazi yapısı, arazi mülkiyeti, ulaşım imkânları ve trafo merkezlerine olan uzaklığı, bölgeyi temsil edebilecek uygun rüzgâr ölçüm noktalarının belirlenmesi, standartlara uygun olarak en az 1 yıl olmak üzere enerji amaçlı rüzgâr ölçümlerinin yapılmasıdır. Elde edilen verilerin incelenerek yatırım fizibilitesinin hazırlanması ve Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'na lisans başvurusu olarak sıralanabilir (Anonim, 2024).

Geçmiş yıllardaki yüksek ve artan performansının aksine son iki yıldır (2022 ve 2023) verilen yüksek kapasiteli depolamalı ön lisansları ve kapasite artışlarına rağmen rüzgâr enerjisi santrallerinin kurulum ve devreye alma süreçlerinde bir yavaşlama gerçekleşmiştir. Sebep olarak ise yeni santrallerin izin süreçlerinin yeni başlamış olması ve finansman tarafında yaşanan zorluklar gösterilmiştir. Ayrıca, rüzgâr enerjisinde 2023 yılı son 13 senenin en düşük kurulu güç ilavesinin yapıldığı yıl olmuştur. Ancak, bu sürecin 2024'te bir miktar toparlanması, 2025'ten itibaren de yeni yatırımların artması beklenmektedir (Şekil 1). Depolamalı rüzgâr enerjisi projelerine tahsis edilen 19,0 GW kapasite ile Türkiye'de 2026, 2027, 2028'de çok hızlı bir ivmelenme beklenmektedir (Erden, 2024).



Şekil 1. Türkiye'deki Rüzgar Enerjisi Santrallerinin Yıllık Kurulumu (TÜREB, 2025).

Depolamalı rüzgâr enerji santralleri ise elektrik üretiminin yanı sıra bu enerjinin depolamasına da imkân sağlayan yenilikçi tesislerdir. Geleneksel rüzgâr enerji santralleri, rüzgârın esmesiyle ürettiği elektriği doğrudan şebekeye aktarır. Ancak, rüzgârın olmadığı zamanlarda enerji kesintiye uğrar. Bu da önemli bir sorun olan dalgalanmaları ve güvenilirliği getirir. Depolamalı rüzgâr enerji santralleri ise rüzgâr türbinleri tarafından üretilen elektriği doğrudan tüketime sunmanın yanı sıra, fazla enerjiyi depolama yeteneğine sahiptirler ve rüzgârın olmadığı sürelerde dahi elektrik sunma kapasitesine sahiptirler. Bu da, enerji üretiminde enerji güvenliği, stabilite, yüksek verimlilik, maliyet etkinliği ve karbon ayak izinin azaltılmasına imkân sağlar (Ata, 2024).

Diğer yandan bu yıl başlayan rüzgâr ölçümleri ve oşinografik çalışmalar ile Türkiye'nin deniz üstü rüzgâr enerji santrali potansiyel alanlarının belirlenmesi devam etmektedir (Erden, 2023). Bu kapsamda Türkiye'de ilk kez deniz üstü rüzgâr enerjisinde Bandırma açıklarında 1111 km², Bozcaada açıklarında 299 km², Gelibolu açıklarında 75,6 km² ve Karabiga kıyılarında 410 km² alan aday Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanı (YEKA) olarak tahsis edilmiştir (Çağatay, 2023). Yakın gelecekte başlaması ümit edilen deniz üstü santral yatırımları için etüt ve proje çalışmaları devam etmektedir.

Tarımsal faaliyetlerin sürdürülebilir, etkin ve verimli olarak yürütülmesi, Türkiye'nin gıda arz güvenliği için büyük bir öneme sahiptir. Tarım sektörünün 2012-2022 yılları arasındaki nihai enerji tüketimi %34 artarak 3,8 MTEP'ten 5,0 MTEP'e artmıştır. Tarımsal mekanizasyon düzeyinin artmasının da etkisiyle enerji talebindeki yıllık ortalama artış oranı %3,0 olup, 2022 yılındaki nihai enerji tüketimindeki payı %4,2 olarak gerçekleşmiştir. Tarım sektörü özelindeki eylemlerin 12. Kalkınma Planı'nda ağırlıklı olarak sulama başlığında toplandığı görülmektedir. Ayrıca, 2. Ulusal Enerji Planında "T4 - Tarımsal Üretimde Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kullanımının Özendirilmesi Geliştirilmesi" eyleminde yürütülecek faaliyetler arasına sulamada rüzgâr enerjisi kullanımının desteklenmesi eklenmiştir (ETKB, 2022).

4. SONUÇ

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında hızla büyüyen rüzgâr enerjisi, fosil yakıtlardan kaynaklanan karbon emisyonlarını azaltmada önemli bir potansiyele sahiptir. Türkiye 2021 yılında Paris Anlaşması'nı onaylayarak, 2053 yılına kadar net sıfır emisyon hedefine ulaşma taahhüdünde bulunmuştur. Bu hedef, Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma yolunda önemli bir adımıdır ve yenilenebilir enerji kaynaklarının, özellikle de rüzgâr enerjisinin, bu süreçte önemli bir rol oynayacağını göstermektedir.

Depolamalı rüzgâr türbinleri başta sulama sistemleri olmak üzere tarımsal yetiştiricilik faaliyetlerinde ihtiyaç duyulacak enerji için güvenilir bir kaynak sağlayabilir. Enerji maliyetlerinin yükseldiği günümüzde ve elektrik şebekesine erişimin zor olduğu kırsal bölgelerde üreticilerin rekabet gücü artırılabilir. Sonuç olarak, sürdürülebilir tarım için rüzgâr enerjisi kullanımı ile hem mevcut tarımsal üretim sistemlerinin karbon ayak izi azaltılabilir hem de tarım arazilerinde kurulabilecek rüzgâr çiftlikleri ile üreticilerin ek gelir elde etmelerine ve kırsal ekonomik kalkınmaya yardımcı olunabilir.

Rüzgâr enerjisinin tarıma entegrasyonda kırsal kalkınma projelerinde rüzgâr enerjisi kullanımının teşvik edilmesi, rüzgâr türbini kurulumlarının tarımsal faaliyetlerle çakışmayacak şekilde planlanması ve eğitim-danışmanlık hizmetleriyle çiftçilerin bu konuda bilinçlendirilmesi bu birlikteliği güçlendirebilir.

KAYNAKLAR

- Anonim (2024, Temmuz 20). Rüzgâr Santrali için Yer Seçimi. https://www.alternaturk.org/ruzgar_yer.php (Erişim Tarihi: 10.07.2025).
- Ata, B. (2024, Temmuz 28). Depolamalı RES. <https://yesilhaber.net/enerjisa-ve-kontrolmatikten-depolamalires/#:~:text=Depolamal%C4%B1%20R%C3%BCzgar%20Enerji%20Santralleri%2C%20r%C3%BCzgar,fazla%20enerjiyi%20depolama%20yetene%C4%9Fine%20sahipler> (Erişim Tarihi: 10.07.2025).
- Baştürk, M. F. (2023). Rüzgâr Enerjisi Ekonomik Büyümeyi Arttırır mı? AB Özelinde Bir İnceleme. *Maliye Dergisi*, 185, 23-40.

- Çağatay, G. (2023, Temmuz 24). Küresel Deniz Üstü Rüzgâr Enerjisi Kurulu Gücü. <https://www.aa.com.tr/tr/enerjiterminali/ruzgar/kuresel-deniz-ustu-ruzgar-enerjisi-kurulu-gucu-2027ye-kadar-her-yil-26-gigavat-artacak/39455> (Erişim Tarihi: 10.07.2025).
- Erden, İ. (2024, Temmuz 22). Türkiye'nin Rüzgar Enerjisi Kurulu Gücü. <https://www.aa.com.tr/tr/yesilhat/teknoloji/turkiyenin-ruzgar-enerjisi-kurulu-gucu-13-bin-megavat-sinirinda/1823624> (Erişim Tarihi: 10.07.2025).
- Erden, İ. (2023, Temmuz 22). Küresel Rüzgar Kapasitesi. <https://www.iklimhaber.org/kuresel-ruzgar-kapasitesi-2030da-2-teravat-seviyesine-ulasacak/> (Erişim Tarihi: 10.07.2025).
- ETKB, (2022). Türkiye Ulusal Enerji Planı, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.
- Hanedar, A., Tanık, A., & Girgin, E. (2023). Yeşil Mutabakat Kapsamında Pestisit Yönetimi ve Türkiye. *Çevre İklim ve Sürdürülebilirlik*, 24(2), 87-96.
- Júnior, M. F. S., de Moraes, E. R. C., & da Silva, P. C. M. (2020). Soil Use and Occupation of Wind Farm Agricultural Areas. *Mercator-Revista de Geografia da UFC*, 19(3), 19030.
- Morris, D. W., & Blekkenhorst, N. (2017). Wind Energy Versus Sustainable Agriculture: An Ontario Perspective. *Journal of Rural and Community Development*, 12(1), 23-33.
- Paris, B., Vadorou, F., Balafoutis, A. T., Vaiopoulos, K., Kyriakarakos, G., Manolakos, D., & Papadakis, G. (2022). Energy Use in Open-Field Agriculture in the EU: A Critical Review Recommending Energy Efficiency Measures and Renewable Energy Sources Adoption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 158, 112098.
- TEİAŞ, (2024, Temmuz 18). Türkiye Elektrik İstatistikleri. https://ytbsbilgi.teias.gov.tr/ytbsbilgi/frm_istatistikler.jsf (Erişim Tarihi: 10.07.2025).
- TÜREB, (2025). Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu.
- Türkboyları, E., & Yüksel, A. N. (2024). Rüzgâr Türbinlerinin Tarımsal Amaçla Hayvan Barınaklarında Enerji Kaynağı Olarak Kullanılma Olanakları. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(2), 610-621.
- Usman, H. M., Mahmud, M., Yahaya, M. S., & Saminu, S. (2024). Wind-Powered Agriculture: Enhancing Crop Production and Economic Prosperity in Arid Regions. *Elektrika*, 16(1), 10-19.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction and Research Questions & Purpose

In order for the European Union (EU) to achieve the goals outlined in the Green Deal and the Farm to Fork Strategy, and to ensure that the Carbon Border Adjustment Mechanism does not negatively impact Turkey's competitiveness, it is essential for green transformation to be adopted within production processes.

The sustainable, effective, and efficient implementation of agricultural activities holds great importance for ensuring food supply security in Türkiye. In the integration of wind energy into agriculture, it is aimed to promote the use of wind energy within rural development projects, to plan wind turbine installations in a manner that does not conflict with agricultural activities, and to raise farmers' awareness on this issue through training and advisory services.

Methodology

Prior to investments in wind energy in Turkey, the following steps should be undertaken in sequence: site selection and assessment of wind conditions using the Wind Energy Potential Atlas; verification of any existing power plant applications for the region; analysis of the land structure and ownership; evaluation of transportation access and proximity to transformer substations; identification of suitable wind measurement points representative of the area; and conducting wind measurements for energy purposes for a minimum duration of one year in accordance with relevant standards.

Results and Conclusions

Wind turbines equipped with energy storage systems can provide a reliable source of power for agricultural production activities, particularly for irrigation systems. In today's context of rising energy costs and limited access to the electricity grid in rural areas, wind energy can enhance the competitiveness of producers. Consequently, the use of wind energy in sustainable agriculture can both reduce the carbon footprint of existing agricultural production systems and support rural economic development by enabling farmers to generate additional income through wind farms established on agricultural land.

Yazarların Biyografisi



Buse YILMAZ

2024 yılında Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimini tamamladı. Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı (Tarımsal Enerji Sistemleri) yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. Aynı zamanda Hanel mühendislik firmasında çalışmaktadır. Adres: Bursa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa, Türkiye. Tel: +90 224 256 16 44.

İletişim bseylm16@gmail.com

ORCID Adresi <https://orcid.org/0009-0008-5327-1978>



Onur TAŞKIN

2010 yılında Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri Bölümünde lisans eğitimini tamamladı. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 2012 yılında yüksek lisans eğitimini, 2018 yılında ise doktora eğitimini Bursa Uludağ Üniversitesinde tamamladı. 2021 yılından itibaren Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği bölümünde Doçent olarak görev yapmaktadır. Tarımda Enerji verimliliği ve Güneş Enerjisi konularında çalışmaktadır. Adres: Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa, Türkiye. Tel: +90 224 294 16 02.

İletişim onurtaskin@uludag.edu.tr

ORCID Adresi <https://orcid.org/0000-0002-5741-8841>



Ali VARDAR

1995 yılında Trakya Üniversitesi, Tekirdağ Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri Bölümünde lisans eğitimini tamamladı. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri Anabilim Dalı'nda 1997 yılında yüksek lisans eğitimini, 2002 yılında ise doktora eğitimini tamamladı. 2014 yılından itibaren Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği bölümünde Profesör olarak görev yapmaktadır. Rüzgâr Enerjisi ve Yenilenebilir Enerjiler konularında çalışmaktadır. Adres: Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa, Türkiye. Tel: +90 224 294 16 05.

İletişim dravardar@uludag.edu.tr

ORCID Adresi <https://orcid.org/0000-0001-6349-9687>