



BİLİM-TEKNOLOJİ-YENİLİK EKOSİSTEMİ DERGİSİ

JOURNAL OF SCIENCE-TECHNOLOGY-INNOVATION ECOSYSTEM

E-ISSN : 2757-6140

Cilt | Volume : 5

Sayı | Issue : 2

Yıl | Year : 2024



JOURNAL OF SCIENCE-TECHNOLOGY-INNOVATION ECOSYSTEM
BİLİM-TEKNOLOJİ-YENİLİK EKOSİSTEMİ DERGİSİ

JSTIE 2024, 5(2)

Bilim-Teknoloji-Yenilik Ekosistemi Dergisi (BİTYED) yılda İki kez (Haziran ve Aralık) yayınlanan uluslararası veri indeksleri tarafından taranan hakemli bir dergidir. Gönderilen makaleler ilk olarak editörler ve yazı kurulunca bilimsel anlatım ve yazım kuralları yönünden incelenir. Daha sonra uygun bulunan makaleler alanında bilimsel çalışmaları ile tanınmış iki ayrı hakeme gönderilir. Hakemlerin kararları doğrultusunda makale yayımlanıp yayımlanmaz kararı alınır.

Bilim-Teknoloji-Yenilik Ekosistemi Dergisi'nde yayınlanan makalelerde fikirler yalnızca yazar(lar)ına aittir. Dergi sahibini, yayıncıyı ve editörleri bağlamaz. Bu sayıda yer alan tüm çalışmalar başvuru anında ve yayın öncesi olmak üzere iki kez **iThenticate** uygulaması aracılığıyla benzerlik taramasından geçirilmiştir.



Journal of Science-Technology-Innovation Ecosystem (JSTIE) offers free, immediate, and unrestricted access to peer reviewed research and scholarly work. Users are allowed to read, download, copy, distributed, print, search, or link to the full texts of the articles, or use them for any other lawful purpose, without asking prior permission from the publisher or the author.



Articles published in the Journal of Science-Technology-Innovation Ecosystem are Open-Access, distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) License. All rights to articles published in this journal are reserved and archived by the Journal of Science-Technology-Innovation Ecosystem, Çanakkale Onsekiz Mart University-TÜRKİYE. Bu dergide yer alan makaleler 'Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) Lisansı' ile lisanslanmıştır.

Bilim-Teknoloji-Yenilik Ekosistemi Dergisi (BİTYED)

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi
(ÇOBİLTUM)

Terzioğlu Kampüsü, 17100 – Çanakkale – TÜRKİYE
Telefon: +90 (286) 218 00 18 Dahili: 24006, Fax: +90(286) 218 19 48
Web: <http://bityed.dergi.comu.edu.tr> / E-mail: bityek@comu.edu.tr

ISSN: 2757-6140 (Online)

JOURNAL OF SCIENCE-TECHNOLOGY-INNOVATION ECOSYSTEM
BİLİM-TEKNOLOJİ-YENİLİK EKOSİSTEMİ DERGİSİ

Volume 5 • Issue 2 • Year 2024 / Cilt 5 • Sayı 2 • Yıl 2024

Sahibi / Owner

Prof. Dr. Ramazan Cüneyt ERENOĞLU
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Rektörü

Baş Editör / Editor-in-Chief

Dr. Öğr. Üyesi Fırat ALATÜRK
Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi

Editörler / Editors

Prof. Dr. Sermet KOYUNCU
Doç. Dr. Ayça AYDOĞDU EMİR
Doç. Dr. Emre ÖZELKAN
Dr. Öğr. Üyesi Fatih SEZER
Dr. Baboo ALİ
Dr. Savaş GÜRDAL

Onursal Editor / Honorary Editor

Prof. Dr. Ahmet GÖKKUŞ

Alan Editörleri / Subject Editors

Prof. Dr. Deniz Anıl ODABAŞI
Prof. Dr. Derya SÜRGİT
Prof. Dr. Mehmet Seçkin ADAY
Prof. Dr. Sibel MENTEŞE
Doç. Dr. Ali KARANFİL
Doç. Dr. Cemil TÖLÜ
Doç. Dr. Muhittin KARAMAN
Doç. Dr. Şahin KÖK
Dr. Öğr. Üyesi Abdul HADİ
Dr. Öğr. Üyesi Emin YAKAR
Dr. Öğr. Üyesi Enis ARSLAN
Dr. Öğr. Üyesi Gizem AKSU
Dr. Öğr. Üyesi M. Burak BÜYÜKCAN
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali GÜNDOĞDU
Dr. Öğr. Üyesi Melis İNALPULAT
Dr. Öğr. Üyesi Sefa AKSU
Dr. Uğur SARI

Uluslararası Editorler Kurulu / International Editorial Board

Prof. Dr. Cedomir RADOVIĆ - Institute for Animal Husbandry, Belgrade-Serbia

Prof. Dr. Daniele BRUNO - University of Insubria, Varese Italy

Prof. Dr. Marcela Andreato KOREN - Krizevci University of Applied Sciences, Croatia

Prof. Dr. Mariyana IVANOVA - University of Agribusiness and Rural Development, Bulgaria

Prof. Dr. Tatjana JELEN - Krizevci University of Applied Sciences, Croatia

Assoc. Prof. Dr. Haneef Ur REHMAN - University of Turbat (UoT) Kech Balochistan, Pakistan

Assist. Prof. Dr. Muhammad Sharif BUZDAR - Balochistan Agriculture College Quetta, Pakistan

Teknik Editörler / Technical Editors

Doç. Dr. Ali KARANFİL - Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Sefa AKSU - Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Dil Editörleri / Language Editors

Dr. Abdul HADİ

Dr. Baboo ALİ

Dr. Uğur SARI

Yazım Editörleri / Copy Editors

Doç. Dr. Şahin KÖK - Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali GÜNDOĞDU - Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

İstatistik Editörleri / Statistical Editors

Dr. Öğr. Üyesi Aykut OR - Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Zeynep GÖKKUŞ - Kastamonu Üniversitesi

Mizanpaj Editörleri / Layout Editors

Dr. Öğr. Üyesi Melis İNALPULAT - Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Ece COŞKUN - Doktora Öğrencisi - Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Hakan NAR - Doktora Öğrencisi - Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Yazı İşleri / Secretariat

Dr. Baboo ALİ

Zir. Yük. Müh. Hatice Simay SARI

Bilim Kurulu / Scientific Board

- Prof. Dr. Ali KOÇ - Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Prof. Dr. Cem ÖZKAN - Ankara Üniversitesi
Prof. Dr. Dinçay KÖKSAL - Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Prof. Dr. Hüseyin ÇAVUŞ - Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Prof. Dr. İlhan ÇELİK - Samsun Üniversitesi
Prof. Dr. İskender TIRYAKI - Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Prof. Dr. Kemal Melih TAŞKIN - Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Prof. Dr. M. Kerim GÜLLAP - Atatürk Üniversitesi, Erzurum
Prof. Dr. Mustafa KIZILŞİMŞEK - Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Prof. Dr. Mustafa TAN - Atatürk Üniversitesi, Erzurum
Prof. Dr. Ramazan ÇAKMAKÇI - Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Prof. Dr. Songül ÇAKMAKÇI - Atatürk Üniversitesi, Erzurum
Prof. Dr. Tolga BEKLER - Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Doç. Dr. Alper SAĞLIK - Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Doç. Dr. Erkan BİL - Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Doç. Dr. Önder GÜRSOY - Sivas Cumhuriyet Üniversitesi
Doç. Dr. Sercan KARAV - Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Doç. Dr. Uğur ŞİMŞEK - Iğdır Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Aliye Aslı SONSUZ - İstanbul Medipol Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Hülya HANOĞLU ORAL - Muş Alparslan Üniversitesi



JSTIE 2024, 5(2)

The Journal of Science-Technology-Innovation Ecosystem is indexed by the following data indices. Bilim-Teknoloji-Yenilik Ekosistemi Dergisi aşağıdaki veri indeksleri tarafından taranmaktadır.





TÜRKİYE CUMHURİYETİ'NİN
YÜZ BİRİNCİ YILI



Mısır Tanesinde Bulunan Yağ ve Karotenoid Miktarlarının Görüntü İşleme Tekniğiyle Tahmini

Ebru Düzen¹ , Ferdi Akdoğan² , Fatih Kahrıman³ , Cem Ömer Egesel^{1*}

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Tarımsal Biyoteknoloji ABD, Çanakkale, Türkiye

² Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Türkiye

³ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Çanakkale, Türkiye

Öz: Mısır tohumlarının bileşenlerinden olan yağ ve karotenoid içeriğine yönelik ıslah çalışmalarında örneklerin analizi için kullanılan kimyasal yöntemler zahmetli ve pahalı işlemlerdir. Bu nedenle örnek tarama ve karakterizasyon amacıyla kullanılabilir farklı tekniklere ihtiyaç duyulmaktadır. Tarımın hemen her alanında yaygınlaşmaya başlayan görüntü işleme teknikleri bu bağlamda önemli fırsatlar sunmaktadır. Bu çalışma, mısır tohumlarında yağ ve karotenoid içeriklerinin görüntü işlemeyle dayalı yaklaşımlar kullanılarak tahminlenmesindeki başarı durumunu incelemek amacıyla yürütülmüştür. On beş farklı genotipten 3 tekrarlamalı dijital görüntüler alınmış, aynı örneklerde referans metotlarla yağ ve karotenoid içerikleri 10 tekrarlamalı olarak belirlenmiştir. Dijital görüntülerden bu çalışmaya özel olarak tasarlanan algoritma ile renk değeri ve embriyo alanı/oranına ilişkin sonuçlar çıkarılmıştır. Alınan dijital görüntülerdeki temel renk uzayı olan RGB uzayından HSV, Lab, XYZ uzaylarına ait veriler de elde edilmiştir. Referans analiz sonuçları yağ ve karotenoid için ayrı ayrı bağımlı değişken olarak atanmış ve diğer değişkenler tahminleyici olarak kullanılmak suretiyle rassal orman tekniğinden yararlanılarak tahmin modelleri geliştirilmiştir. Örneklerin yağ ve karotenoid bakımından değişimi tek yönlü varyans analizi ile değerlendirilmiştir. Yağ oranına ilişkin tahmin modelinin R^2 değeri 0,8975, karotenoidinki ise 0,9617 olarak tespit edilmiştir. Oluşturulan modellerde renk değeri hariç diğer değişkenlerin tahmin amaçlı kullanılabilirliği görülmüştür. Sonuçlar, incelen görüntü işleme yöntemlerinin mısır örneklerinin yağ ve karotenoid içeriğinin taranmasında ve karakterizasyonunda kullanılabilirliğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Regresyon modeli, renk uzayı, rassal orman

Estimation of Oil and Carotenoid Quantities in Maize Grain by Image Processing Technique

Abstract: Chemical methods used for the analysis of samples in breeding studies for oil and carotenoid content, components of maize seeds, are laborious and expensive procedures. Therefore, there is a need for different techniques that can be used for sample screening and characterization. Image processing techniques, which have become widespread in almost every field of agriculture, offer important opportunities in this context. This study was conducted to examine the success of estimating oil and carotenoid contents in maize seeds using image

* Correspondence (Sorumlu yazar): cegesel@comu.edu.tr

Citation (Alıntı): Düzen, E., Akdoğan, F., Kahrıman, F., & Egesel, C. Ö. (2024). Mısır tanesinde bulunan yağ ve karotenoid miktarlarının görüntü işleme tekniğiyle tahmini. Bilim-Teknoloji-Yenilik Ekosistemi Dergisi, 5(2), 91-104.

Article History

Received: 25/10/2024

Accepted: 21/11/2024

Published: 22/11/2024

Research Article

processing-based approaches. Digital images were taken from fifteen different genotypes in 3 replicates and oil and carotenoid contents were determined using 10 replicates in the same samples using reference methods. Color value and embryo area/ratio were extracted from the digital images with the algorithm designed specifically for this study. Data on HSV, Lab, XYZ spaces were also obtained from RGB space, the basic color space in the images. The results of the reference analysis were assigned as dependent variables for oil and carotenoid ratios separately and prediction models were developed using random forest technique with other variables as predictors. The variation of samples in terms of oil and carotenoids was evaluated by one-way ANOVA. The R^2 value of the prediction model for oil ratio was 0.8975 and that of carotenoid was 0.9617. It was seen that other variables except color value could be used for prediction purposes in the models created. The results showed that image processing methods can be used for screening and characterization of oil and carotenoid content of maize samples.

Keywords: Regression model, color space, random forest

Giriş

Mısır (*Zea mays* L.) tahıllar içerisinde başta nişasta olmak üzere protein ve yağ kaynağı olarak kullanılan bir bitki türüdür. Mısır tanesinin majör bileşenlerinden biri olan yağ, beslenmede mutlak gerekli unsurlardandır (Damude ve Kinney, 2008). Mısır tohumu, yağlı tohumlar arasında sınıflandırılmasa da yemeklik yağ üretimi arasında önde gelen bitki türlerinden biridir. Mısır tanesindeki yağ oranı kolayca manipüle edilebilen bir değişken olup yüksek yağlı mısır çeşitleri özellikle kanatlı besleme gibi alanlarda tercih edilmektedirler (Dado, 1999). Gıda veya yem olarak kullanılacak mısır tanesine değer katan diğer bir bileşen ise karotenoidlerdir. Esasen sarı ve turuncu renk pigmentleri olan bu bileşikler antioksidan özelliği taşımaları ve A vitamininin öncü maddesi olmaları sebebiyle bitki ıslahçıların ilgi gösterdiği özellikler arasında yerlerini almışlardır (Egesel ve ark., 2003; Niaz ve ark., 2023). Mısırdaki yağ içeriği ve karotenoidler günümüzde de dikkat çeken ve ıslahta üzerinde çalışılan konular arasındadır (Chandler ve ark., 2012; Kandianis ve ark., 2013; Kahrıman ve ark., 2015).

Mısır ıslah programları kapsamında karotenoid ve yağ oranının artırılmasına yönelik çalışmalar; tarla denemeleri, laboratuvar analizleri ve istatistiksel değerlendirmeler gibi birçok aşamadan geçer ve seleksiyon aşamasında yapılan fenotipik analizler önemli miktarda iş gücü, zaman ve maddi kaynak gerektirir. İlerleyen teknoloji ve disiplinler arası çalışmalar sayesinde, bitki ıslahı programları iş gücü ve maliyet açısından daha verimli hale getirilmektedir. Bitkisel içeriklerin etkili bir şekilde analizini sağlayacak yöntemlerin geliştirilmesi bilim dünyasında hatırı sayılır bir çalışma alanı durumundadır (McGorin, 2009; Zolotov, 2020). Bu bağlamda, tarım sektöründe sıkça kullanılmaya başlanan görüntü işleme teknikleri, araziden veya tane bazında alınan görüntülerden hastalık ve yabancı ot tespiti, kalite kontrolü, sınıflandırma, çeşit analizi ve bazı bileşenlerin içerik tahmini gibi birçok alanda uygulanmaktadır (Yang ve ark., 2000; Weinstock ve ark., 2006; Al-Hiary ve ark., 2011; Sabancı ve ark., 2012; Masoumi, 2013; Farhood ve ark., 2022). Bu teknikler, materyalin zarar görmeden analiz edilmesine olanak tanıyarak, kimyasal analizlere gerek kalmadan hızlı ve etkili fenotipik değerlendirme yapılmasını sağlar. Bu şekilde analiz edilen materyalin tekrar tohumluk olarak kullanılabilme imkanı bitki ıslahı ve seleksiyon çalışmaları için önemli bir avantajdır.

Mısır tanesinin hacimsel olarak %10 kadarını teşkil eden embriyo, yağ içeriğinin yaklaşık %85'ini taşımaktadır (Li ve ark., 2022). Embriyo büyüklüğü ile yağ miktarı arasında var olduğu bilinen ilişki (Yang ve ark., 2012) sayesinde görüntü işleme yoluyla embriyo büyüklüğünün hesaplanması ve akabinde tanedeki yağ oranının tahmin edilmesi mümkün olabilir. Görüntü işleme veya renk analizlerine dayalı olarak mısırdaki tane yapısına yönelik çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. Effendi ve ark. (2019) görüntü işleme teknolojisini mısır tohumlarını renk ve tekstür bakımından inceleyip genel ürün kalitesine karar verme amaçlı kullanmışlardır. Zhao ve ark. (2020) mısır tohumlarında endosperm kısmını görüntü işleme tekniği ile kantitatif olarak analiz eden bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Benzer bir yaklaşım embriyonun kantifikasyonu için de kullanılabilir ve indirekt olarak yağ oranının tahmini ile ilişkilendirilebilir. Fakat söz konusu çalışma tohumu fiziki olarak müdahaleyi gerektirdiği için tekrar kullanım imkanı mevcut değildir.

Tarımsal ürünlerin değerlendirilmesinde görüntü işlemeye dayalı karar destek modelleri önemli alternatifler sunabilir. Farklı tarımsal ürünlerde karotenoid içeriğinin görüntü işlemeye dayalı yöntemler ile

tespitini konu edinen çeşitli çalışmalar mevcuttur. Bu kapsamda kassava (de Carvalho ve ark., 2022), yeşil ve kırmızı yapraklı sebzeler (Agarwal ve ark., 2024), kabak (Itle ve Kabelka, 2009), yumurta (Thepparak ve ark., 2024) ve portakal (Galal ve ark., 2022) gibi farklı ürünlerde görüntü analizine dayalı renk ya da pigment analizlerinin ele alındığı araştırmalar vardır. Karotenoidlerin renk pigmenti olması farklı miktarlarda karotenoid içeren mısır tohumlarının renklerine göre gözle görülebilir bir ayırım yapılmasına imkân tanımaktadır. Mısırdaki görüntü işleme birçok farklı çalışmaya konu olsa da görüntü analizi ile mısır tohumlarında karotenoid miktarı tahminine yönelik literatür oldukça kısıtlıdır. Mısır bitkisinde görüntü analizi ile yağ miktarı hesaplanmış olmasına karşın görüntü analizi ile embriyo alanı hesaplanarak yağ miktarının tahmini üzerine bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bunun yanı sıra, görüntü işlemeyle ilgili mevcut olan önceki çalışmalarda genel olarak doğrusal modelleme yöntemleri ve yalnızca tek ya da sınırlı sayıda renk uzayının kullanıldığı görülmektedir. Bu konuda makine öğrenmesi temelli ve doğrusal olmayan modelleme yaklaşımlarının daha başarı ve detaylı sonuçlar verebileceği düşünülmektedir. Bu amaca yönelik çalışmaların geliştirilmesi ile tarımsal ürünlerde fenotipik özelliklerin belirlenmesi, kalite kriterlerine göre materyallerin daha hızlı ve kolay bir şekilde ayırımının yapılması ve yeni çeşitlerin geliştirilmesi sağlanabilir.

Bu çalışmanın amacı, farklı genotiplere ait mısır tohumlarında yağ ve karotenoid içeriklerinin görüntü işleme tekniği ile tahminleme olanaklarının araştırılmasıdır. Bu amaçla; RGB kameradan alınan dijital görüntüler yardımıyla tohumda renk değeri ve embriyo alanını belirleyebilen algoritmalar geliştirilmiş, farklı renk uzaylarına ait kanal verileri incelenmiş, bu işlemlerden edilen veriler ve laboratuvar analizleri kullanılarak renk değeri-karotenoid ve yağ miktarı-embriyo alanı arasındaki ilişkiler tespit edilmiş, elde edilen sonuçlar doğrultusunda ise karotenoid ve yağ miktarları makine öğrenmesi algoritmalarından olan rassal orman tekniğine dayalı tahmin modelleri geliştirilmiştir.

Materyal ve Yöntem

Bitkisel Materyal

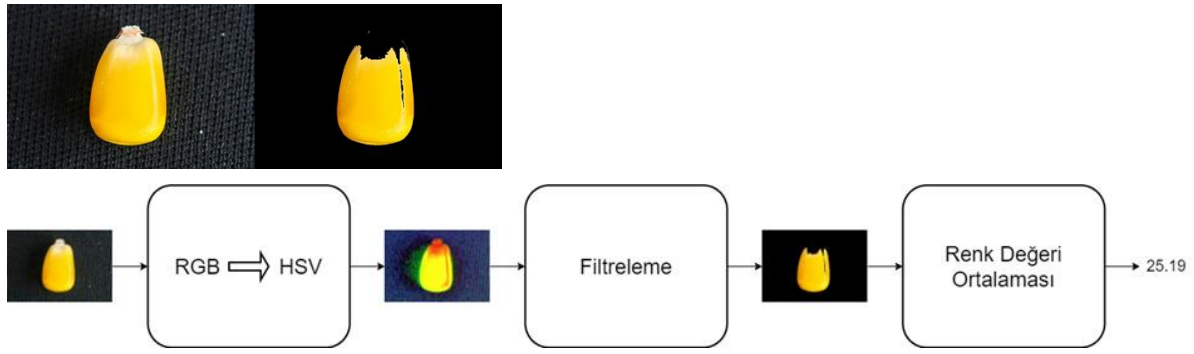
Bu çalışmada Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü'nden temin edilen yerel mısır çeşitlerine ait tohumlar kullanılmıştır. Çalışma tane rengi bakımından ve tohum iriliklerine göre farklılık gösteren 15 mısır genotipinde kimyasal analizler 10 tekerrürlü olarak yapılmıştır.

Mısır Tohumlarından Dijital Görüntülerin Elde Edilmesi

Tohum örneklerinden dijital görüntülerin elde edilmesinde RGB (Canon EOS 2000D) kamera kullanılmıştır. RGB kameranın kendisine ait ışık sensörü olmadığı için bu kameralara özel kapalı bir kutu tasarlanarak çekimler 4 adet Samsung 1.06 W Led ışık altında 682 Lux ışık şiddetinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneme çekimleri sonrasında alınan görüntüler MATLAB ve Python programlarında analiz edilmiş ve RGB kamera için uygun görüntü alma yüksekliği 30 cm olarak belirlenmiştir. Bu mesafeden her genotipe ait 5'li tohum grupları halinde 3 tekerrürlü olarak dijital veriler toplanmıştır.

Dijital Görüntülerden Renk Değeri ve Renk Uzaylarına İlişkin Verilerin Elde Edilmesi

Kullanılan mısır tohumları geniş bir renk skalası oluşturması için farklı renklerde seçilmiştir. Seçilen örnekler ile çalışmak için bir görüntü işleme algoritması tasarlanarak bu algoritma sayesinde alınan görüntüden arka planı ve gürültü sinyallerini atarak tohuma ait renk değeri elde edilmiştir (Şekil 1). Farklı algoritmalar denenmiş, Canny edge detection ve Kovalevsky gibi metotlar bazı genotiplerde başarılı sonuçlar vermiş ancak, genel olarak en başarılı sonuç "Masking and Thresholding" yöntemiyle elde edilmiştir (Rahman ve İslam, 2013).



Şekil 1. Görüntüye uygulanan işlemlerin blok diyagramı
Figure 1. Block diagram of operations applied to the image

Oluşturulan algoritmada HSV renk uzayında çalışılmıştır. Öncelikle görüntü algoritma vasıtası ile RGB renk uzayında okunmuş, sonrasında ise piksel değerleri HSV renk değerine dönüştürülmüştür. Daha sonrasında bu alınan değerler filtrelenerek sarı tonlarına ait alt ve üst sınırlar hesaplanmıştır. Görüntüdeki tüm pikseller tek tek kontrol edilerek alt ve üst sınırlar dışında kalan değerler sıfırlanmıştır. Bu işlem sonucu elde edilen görüntüde sıfır olmayan piksellerin hue değeri toplamı piksel sayısına bölünerek görüntünün ortalama hue değeri tespit edilmiştir. Algoritmanın temel çalışmasını gösteren pseudocode aşağıda verilmiştir (Şekil 2).

Algorithm 1 Renk Değeri Analizi

```

1: function FINDCOLORVALUE(I)
2:   I - Girdi mısır tohumu görüntüsü                                     ▷ Ön İşleme
3:   [M, N] = shape(I)
4:
5:   RGB → HSV dönüşümü                                               ▷ Arka Plan Elenmesi
6:    $y_0$  ve  $y_1$  sarı rengine ait alt ve üst sınırlar
7:   for bütün pikseller do
8:     if HSV <  $y_0$  or HSV >  $y_1$  then
9:       HSV = 0
10:    end if
11:  end for
12:  for sıfır olmayan piksel ( $p[H, S, V]$ ) do                               ▷ Ortalama Renk Değeri Hesaplanması
13:    toplam =  $p[H]$ 
14:  end for
15:  Ortalama renk değeri  $f$  olmak üzere toplam sıfır olmayan piksel sayısı  $c$  için
16:   $f = \text{toplam} / c$ 
17:  Normalize between 0 and 1
18:   $f = f / 255$ 
19: end function

```

Şekil 2. Renk değerinin belirlenmesinde kullanılan algoritmanın pseudocode gösterimi

Figure 2. Pseudocode representation of the algorithm used to determine the color value

Renk değeri hesaplamasının yanı sıra tahmin modellerinde kullanılmak üzere RGB renk uzayından diğer renk uzaylarına dönüşüm işlemleri yapılarak her örneğin dijital görüntüsünden renk uzayı verileri elde edilmiştir. Bu kapsamda RGB görüntülerden XYZ, Lab, ve HSV (Light, saturation, value) renk uzaylarına ilişkin verilerin çıkarma işlemi R programında colorspace paketi kullanılarak gerçekleştirilmiştir (R Core Team, 2021). Bu veriler de yine model oluşturma aşamasında kullanılmak üzere kayıt altına alınmıştır.

Dijital Görüntülerden Embriyo Alanı ve Embriyo Oranının Belirlenmesi

Embriyo alanının belirlenmesi için ayrı bir algoritma oluşturulmuştur. Bu algoritma vasıtasıyla görüntü

üzerinde embriyo ile endosperm arasındaki renk ve gradyan farkı kullanılarak sınırlar belirlenmiştir. Embriyo sınırları içinde kalan piksel sayısı alan olarak hesaplanmıştır. Her ne kadar görüntü alımları esnasında sabit şartlar uygulanmaya dikkat edilmiş olsa da hata payını düşürmek için görüntüye normalleşme işlemleri uygulanmış, Erosion ve Dilation gibi klasik görüntü işleme yöntemleri, sınırların netleştirilmesinde kullanılmıştır. Aşağıdaki verilen denklemler aracılığı ile her bir piksele ait büyüklükler hesaplanarak bu büyüklük bir eşik değeri ile kıyaslanmıştır. Eşik değerinin üstündeki pikseller sınır dışı olarak belirlenmiştir. Bu eşik değeri belirlenirken 0 ile 255 arasında ortalama bir değer alınmış ve sonrasında istenen bölgenin durumuna gelene dek denenmiştir. Embriyo alanının tamamen ayrıldığı noktada bu eşik değeri kaydedilmiştir. Eşik değeri genotip ve çevresel faktörlere bağımlı olduğundan belirli bir formülasyona tabi değildir ve el ile ayarlanmıştır. Belirlenen eşik değerine göre sınır değerinin üzerindeki/altındaki piksel sayısı o bölgenin büyüklüğü olarak kabul edilmiştir. Algoritmanın pseudocode ile gösterimi ve algoritma çıktısı Şekil 3 ve Şekil 4’de verilmiştir.

$$G_x = |p_{(x+1,y)} - p_{(x-1,y)}|$$

$$G_y = |p_{(x,y+1)} - p_{(x,y-1)}|$$

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

Algorithm 2 Embriyo Büyüklüğü Analizi

```

function FINDAREA(I)
2:   I - Girdi mısır tohumu görüntüsü                                     ▷ Ön İşleme

   RGB → Grayscale dönüşümü

4:                                     ▷ Gradient Hesaplama
    $h_x = [-1, 0, 1]$ 
    $h_y = [-1, 0, 1]^T$ 
6:    $g_x = I * h_x$  (Filtreleme)
    $g_y = I * h_y$  (Filtreleme)
8:    $G[i, j] = \sqrt{g_x(i, j)^2 + g_y(i, j)^2}$                                      ▷ Sınırları Belirleme

10:  Eşik değeri T ve sınır pikselleri P için
   for her bir piksel p do
12:   if  $G > T$  then
        $P = p_{x,y}$ 
14:   end if
   end for                                     ▷ Sınırlanan Bölgenin Bulunması

16:  for sınırlayıcı pikseller P do
       en yakın P değerlerini birleştir
18:  end for

   Sınırlanan bölge A için
20:  for bütün pikseller p do
       if  $p \subseteq A$  then count++
22:  end if
   end for
24: end function

```

Şekil 3. Embriyo alan analizi için kullanılan algoritmanın pseudocode gösterimi

Figure 3. Pseudocode representation of the algorithm used for the embryo area analysis

Şekil 4’de sunulan algoritma ile belirlenen embriyo alanı ve ilgili örneğe ait toplam alan (tohum görüntüsünün piksel sayısı) kullanılarak embriyo oranı belirlenmiştir. Bu hesaplama excel programında gerçekleştirilmiş ve veri analizi aşamasında kullanılmak üzere örnek kodlarına göre eşleştirilerek kayıt altına alınmıştır.



Şekil 4. Solda ilk alınan fotoğraf ve sağda algoritma çıktısı
Figure 4. The first photo taken of a seed (left), and the algorithm output (right)

Yağ Ekstraksiyonu ve Karotenoid Analizi

Çalışmada embriyo alanı-yağ miktarı arasındaki ilişkiyi belirlemek için tohumlarda yağ ekstraksiyonu yapılmıştır. Bunun için her tekerrürde bulunan 5 gr mısır tohumu öğütülerek selüloz kartuşlara konmuştur. Sonrasında kartuşlar 30 mL hacimli ekstraktörlere aktarılmış ve üzerlerine 120 mL hekzan eklenerek soxhlet cihazında 6 saat boyunca bekletilmiş ve hekzan evaporatör cihazıyla uçurularak yağ miktarı tespit edilmiştir (AOAC, 2002).

Her tekerrür için elde edilen yağ örneklerinden 50 µL alınmış, 10 mL hekzan ilave edilerek 20 saniye boyunca vortexlenmiştir. Bu aşamanın ardından 3 mL yağ-hekzan karışımı kuvarz küvet içerisine alınarak 450 nm dalga boyunda UV-Spektrofotometre cihazında absorbans değerleri tespit edilmiştir. Karotenoid değerlerinin hesaplanması için ise Rodriguez-Amaya ve Kimura, (2004) yöntemine göre aşağıdaki formülden yararlanılmıştır (Ordu ve Egesel, 2019).

$$\text{Toplam Karotenoid} = \frac{\text{Absorbans Değeri} \times 25 \times 10^4}{2500 \times \text{Örnek ağırlığı}}$$

İstatistik Analizler

Elde edilen veriler R paket programında (R Core Team, 2021) analiz edilmiştir. Hedef değişkenler (yağ ve karotenoid içeriği) ile ilişkili olduğu öngörülen bazı özelliklerdeki (embriyo alanı, embriyo pixel sayısı, renk değeri ve hue değeri) genotiplere göre farklar tesadüf parselleri deneme deseni uygun varyans analiz modeline göre değerlendirilmiş ve ortalamalar arasında farklar asgari önemli fark (LSD) testi ile karşılaştırılmıştır.

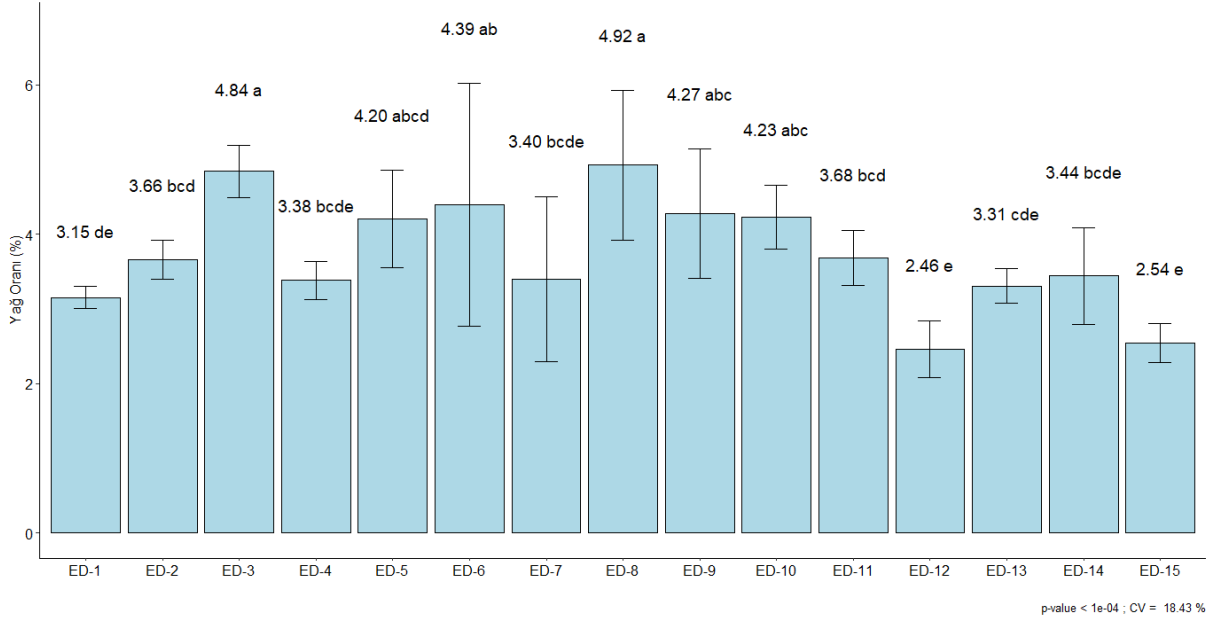
Yukarıda detayları açıklanan embriyo alanı hesaplamaları ve renk uzayına ait veriler tahminleyici olarak kullanılmak suretiyle yağ ve karotenoid içeriği için tahmin modelleri oluşturulmuştur. Modelleme tekniği olarak rassal orman yönteminden yararlanılmış ve bu işlem rattle paketi (Williams, 2011) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Modellerin tahmin doğruluğu model tahmini ile referans analizler arasındaki R^2 ve korelasyon katsayıları ile değerlendirilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

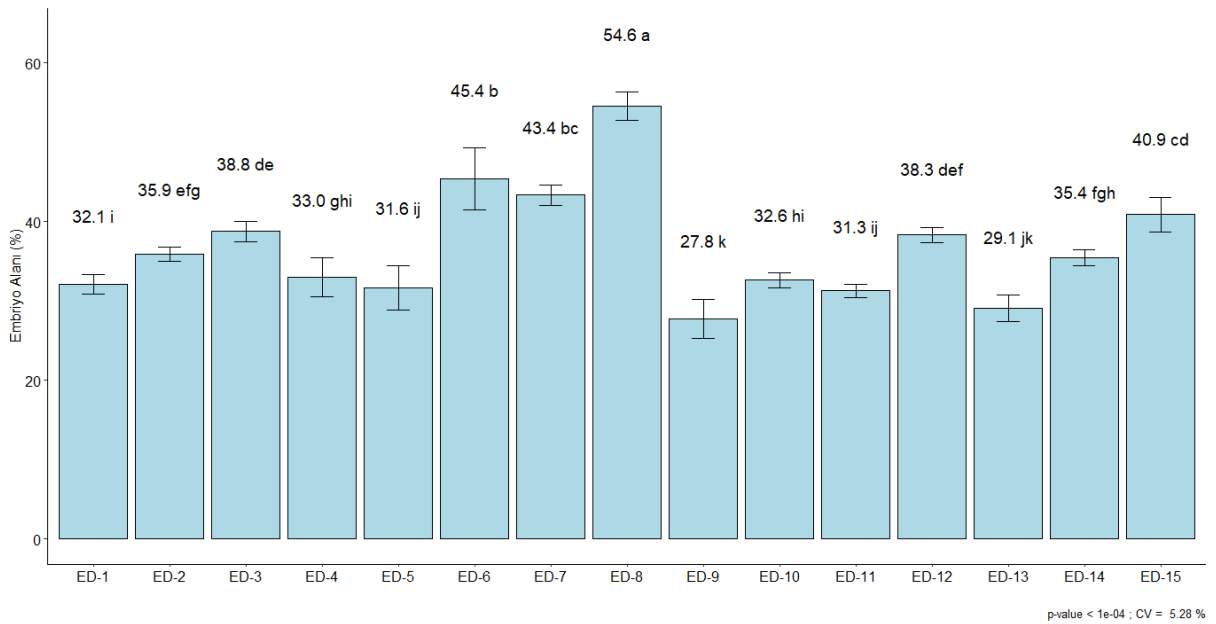
Yağ oranı

Kullanılan genotiplerin yağ oranı ortalamaları Şekil 5'te sunulmuştur. Değerler %2,46 ile %4,92 arasında değişim göstermiş ve en yüksek yağ içeriği ED-8 ve ED-3 kodlu genotiplerde gözlenmiştir. Embriyo alanına ilişkin piksel sayıları ve embriyo oranına ilişkin sonuçlar tohum iriliği ve embriyo büyüklüğünün iki boyutlu dijital görüntüleme sonuçlarına dayalı olarak değerlendirilmesine imkân sağlamıştır. Embriyo oranları %27,8 ile %54,6 arasında değişim göstermiştir (Şekil 6). Embriyo alanına ilişkin piksel sayısı değerleri 11916 (ED-1) ile

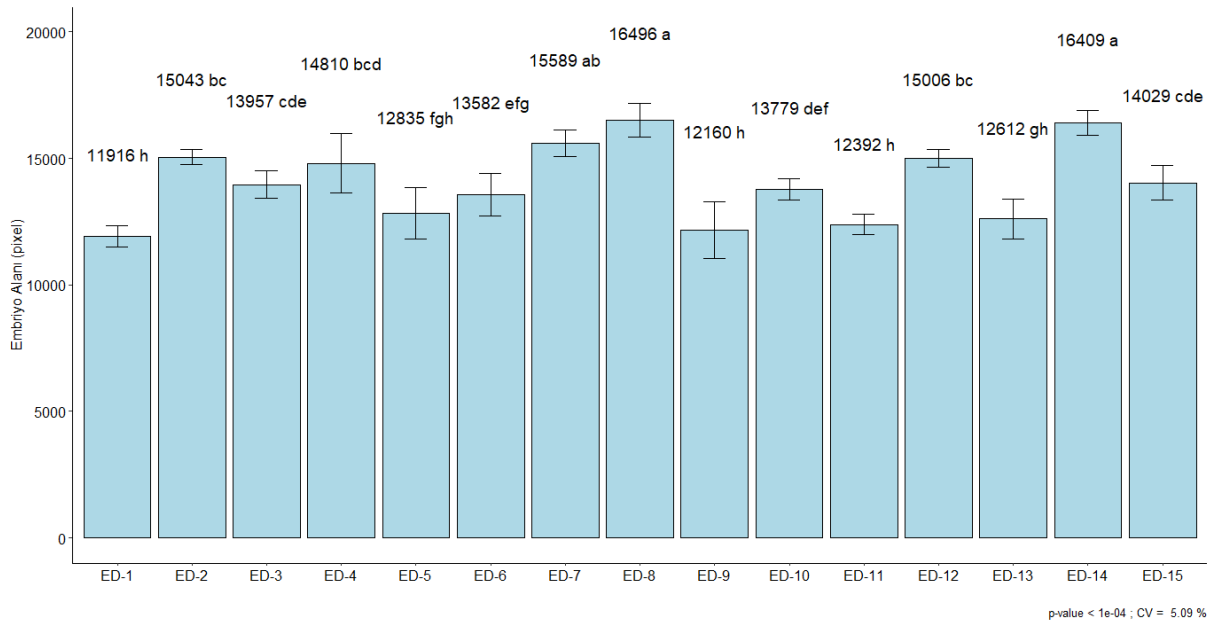
16496 piksel (ED-8) arasında değişim göstermiştir (Şekil 7). Embriyo oranı hesaplaması ile ED-8 kodlu genotipin tohum iriliğine göre büyük embriyolu bir genotip olduğu söylenebilir. Tüm genotipler dikkate alındığında, piksel sayısı ve embriyo oranına ilişkin genotip sıralamasının örtüşmediği görülmektedir. Bu durum tohum iriliğine göre embriyo alanının farklılık göstermesinden kaynaklanmış olabilir.



Şekil 5. Kullanılan mısır genotiplerine ait yağ oranı ortalamaları
Figure 5. Oil ratio means of the maize genotypes used



Şekil 6. Kullanılan mısır genotiplerine ait embriyo alanı ortalamaları
Figure 6. Embryo area means of the maize genotypes used

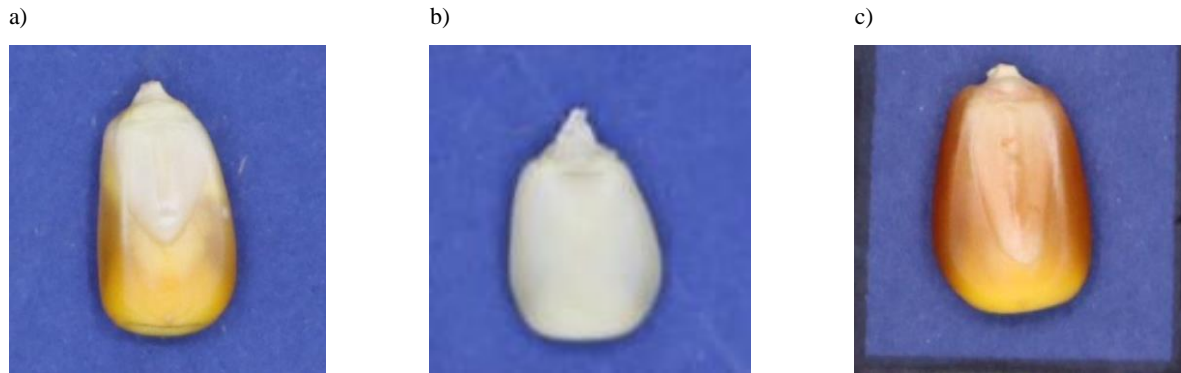


Şekil 7. Kullanılan mısır genotiplerine ait embriyo piksel sayısı ortalamaları

Figure 7. Pixel number means of the maize genotypes used

Mısır tohumunda dijital görüntülerden embriyo alanının tespitine yönelik kritik konunun, görüntüsü alınan tohumun rengi ve embriyo bölgesindeki renk olduğu görülmüştür. Normal mısır genotiplerinde embriyo bölgesinde beyazımsı bir renk hakimdir (Şekil 8

a). Dolayısıyla beyaz renkli tohumlarda (ED-8 gibi) embriyo alanı dijital görüntü analizlerine dayalı olarak tespit edildiğinde, olduğundan daha büyükmüş gibi değerlendirilebilmektedir (Şekil 8b). Şayet embriyo bölgesinde perikarp katmanı renklenme gösteriyorsa (Şekil 8c) bu durumda embriyo alanı olduğundan daha küçük olarak hesaplanabilmektedir.



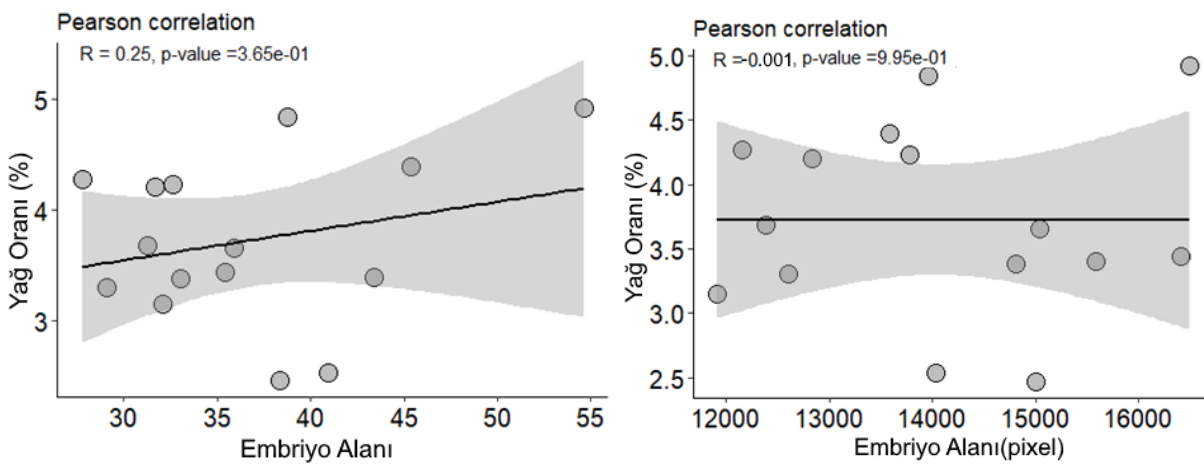
Şekil 8. Embriyo alanının dijital görüntülerde sorun yaşanabilecek örnekler

Figure 8. Seed types that may be misleading in digital images of the embryo area

Embriyo alanı ve embriyo piksel sayısının yağ oranı ile ilişkisini gösteren korelasyon grafikleri Şekil 9'da gösterilmiştir. Görüntü işleme ile elde edilen embriyo alanı ile yağ oranı arasında pozitif yönde bir korelasyon ($r=0,25$) saptanırken, embriyo piksel sayısı ile yağ oranı arasında herhangi bir korelasyon olmadığı ($r=-0,001$) görülmüştür. Bu durum RGB görüntülerinden çıkarılan embriyo piksel sayısından ziyade, tohum iriliğinin de göz önünde bulundurulduğu embriyo oranı hesaplamalarının daha etkili olabileceğini göstermiştir.

Aynı genotipe ait tohumların embriyo alanlarının değişkenlik göstermesi veya embriyonun endosperm ile aynı/yakın renkte olması, görüntü analizlerinde hata payını yükselten faktörlerdendir. Birbirinden farklı genotiplerdeki şekilsel çeşitlilikler tek bir modelin başarılı olmamasına sebep olabilir. Örneğin mısır tohumunda bazı renk pigmentleri perikarpta depolanmaktadır ve bu durum analiz sonuçlarına etki edebilmektedir. Bu çalışmada embriyo bölgesine ait piksel sayısı ile yağ oranı arasında doğrusal bir ilişki saptanmazken, embriyo

oranı ve yağ oranı arasında zayıf bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Cogdill ve ark. (2006) hiperspektral görüntü işleme yöntemleri ile tohumda yağ miktarını belirlemeye çalışmış ancak sonuçlardaki başarılı oranı sınırlı kalmıştır. Anılan çalışmada embriyonun hacmi de hesaplanmaya çalışılsa da tohumun kompleks yapısı sebebiyle ölçümler alınamamış ve bu sebep ile bir sonuca varılamamıştır. RGB görüntüleme multispektral ve hiperspektral görüntülemeyle kıyaslandığında yalnızca 3 banda ait veri sağlamaktadır (Tian ve Hu, 2022). Ayrıca, RGB görüntülemenin daha çok yüzeysel özelliklerin tespit edilmesine uygun olduğu ve iç yapıyla ilgili özelliklerin değerlendirilmesine uygun olmadığı da vurgulanmaktadır (Jiang ve ark., 2024). Fakat bizim çalışmamızda olduğu gibi biyokimyasal bileşenlerin ilişkili olduğu görsel farklılıklar (embriyo alan-yağ oranı, sarı ve turuncu renklenme-karotenoid içeriği) RGB görüntülemenin dolaylı olarak bu gibi biyokimyasal bileşenlerin tespitinde kullanılma imkanını doğurmaktadır. Her ne kadar embriyo alanı ile yağ içeriği ilişkili olsa da, RGB görüntüleme sonucunda elde edilen alan 2 boyutlu yüzeysel bir görüntüye dayalıdır ve embriyonun tohum içindeki derinliği hakkında bilgi sunmamaktadır. Buna rağmen, çalışmamızda RGB görüntülemeye dayalı embriyo oranı ile yağ oranı arasında kabul edilebilir bir ilişkinin ($r=0,25$) olduğu söylenebilir.

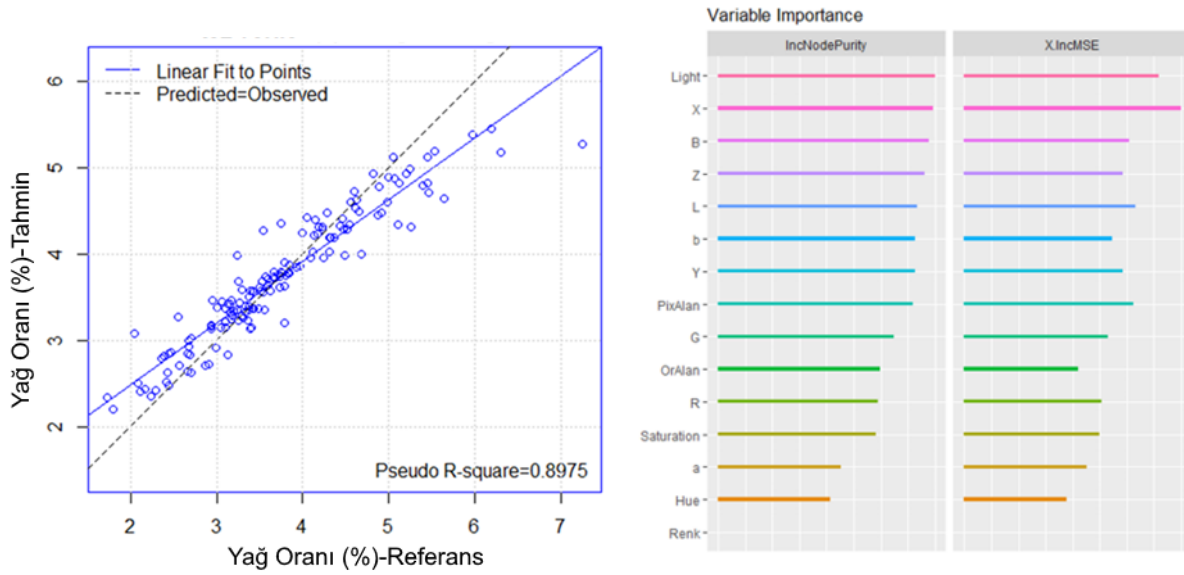


Şekil 9. Yağ oranı ile embriyo alanı ve embriyo piksel sayısı arasındaki korelasyon grafikleri

Figure 9. Correlation graphics between oil ratio and embryo pixel number

Renk uzaylarına ait kanal verileri ile görüntü işlemeye dayalı hesaplamalar kullanılarak yağ oranının belirlenip belirlenemeyeceğine yönelik rassal orman modeline ait sonuçlar Şekil 10'da gösterilmiştir. Çalışmada girdi değişkeni olarak kullanılan 15 değişken içerisinde “renk değeri” (grafiklerde kısaca “Renk” olarak verilmiştir) hariç diğer tüm değişkenlerin yağ oranını tahminlemede önemli değişkenler olabileceği saptanmıştır.

Oluşturulan modelin eğitim seti için determinasyon katsayısı 0,8975 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç modelde tanımlanan girdi değişkenlerini kullanarak yağ oranının belli bir başarı ile tespit edilebileceğini göstermiştir.

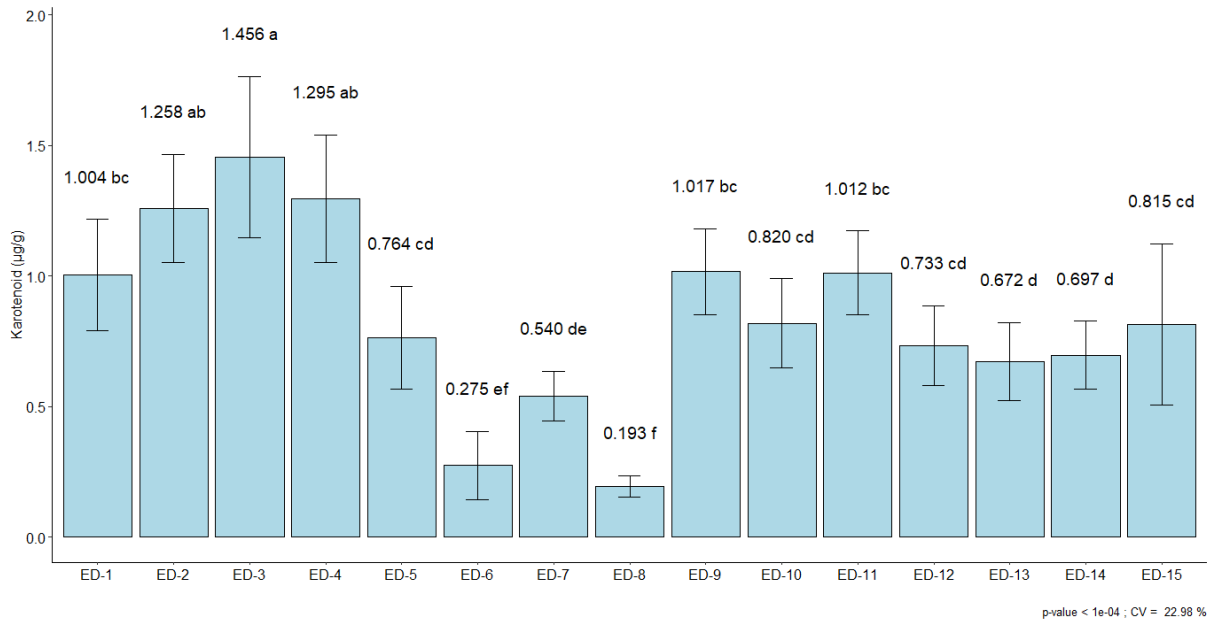


Şekil 10. Yağ oranı için oluşturulan rassal orman modelinde tahminlenen ve referans değerler arasındaki bağlantıyı gösteren grafik (solda) modelde girdi değişkenlere ait etki değerleri

Figure 10. The relation between the predicted and reference values in the random forest model created for oil ratio (left), and the effect values of the input variables in the model (right)

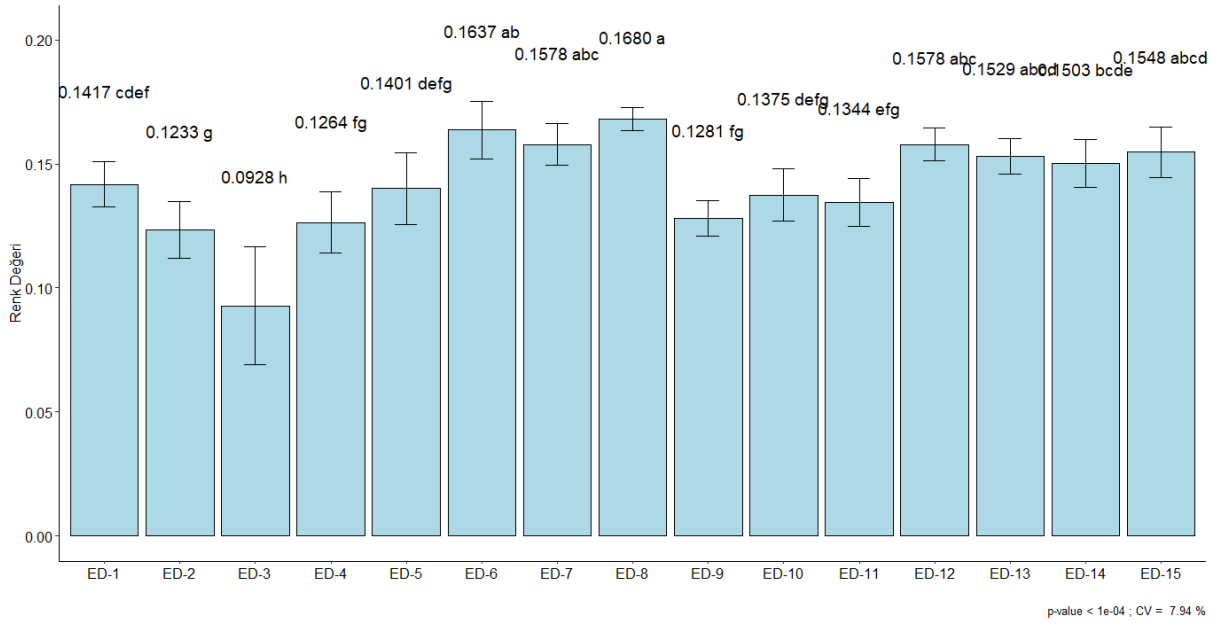
Karotenoid İçeriği

Kullanılan genotiplerin karotenoid içeriği ortalamaları Şekil 11’de gösterilmiştir. Örneklerin karotenoid içerikleri 0,193 $\mu\text{g/g}$ ile 1,456 $\mu\text{g/g}$ arasında bulunmuştur. Beyaz renkli ED-6 ve ED-8 kodlu genotipler beklendiği gibi en düşük karotenoid içeriğine sahip olmuştur. Çalışmada hesaplanan renk değeri ortalamaları 0,0928 (ED-3) ile 0,1637 (ED-6) arasında, hue değerleri ise 29,21 ile 52,9 arasında bulunmuştur. Renk değeri yüksek genotipler ile hue değeri yüksek genotiplerin benzerlik gösterdiği görülmektedir (Şekil 12 ve 13).

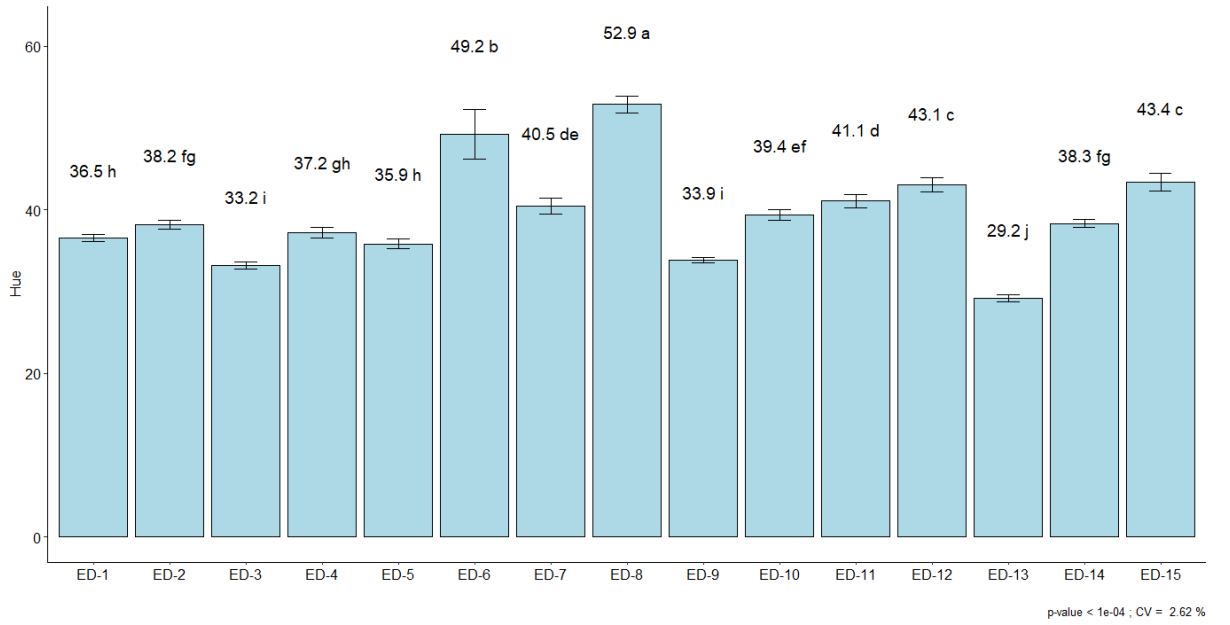


Şekil 11. Kullanılan mısır genotiplerine ait karotenoid içeriği ortalamaları

Figure 11. Carotenoid content means of the maize genotypes used

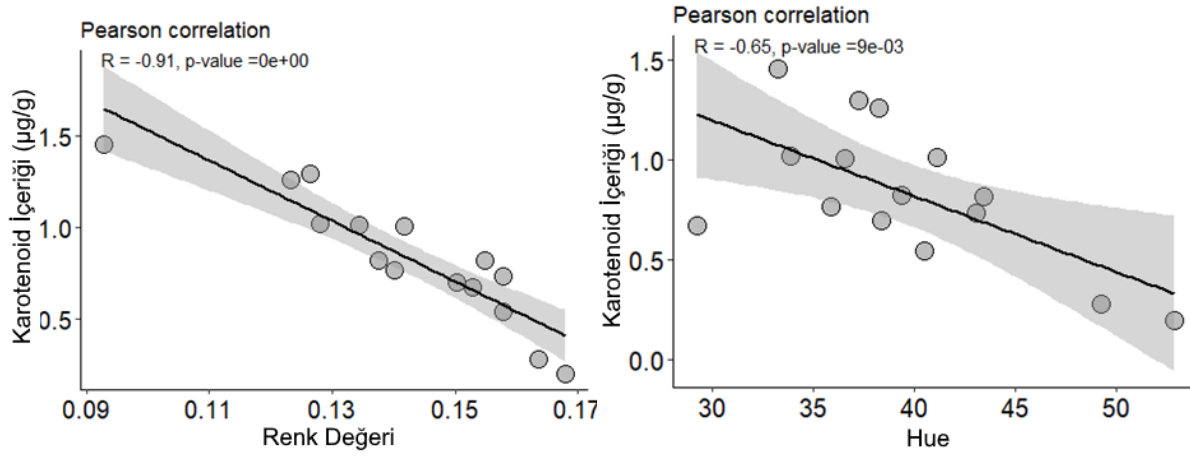


Şekil 12. Kullanılan mısır genotiplerine ait renk değeri ortalamaları
Figure 12. Color value means of the maize genotypes used



Şekil 13. Kullanılan mısır genotiplerine ait hue değeri ortalamaları
Figure 13. Hue value means of the maize genotypes used

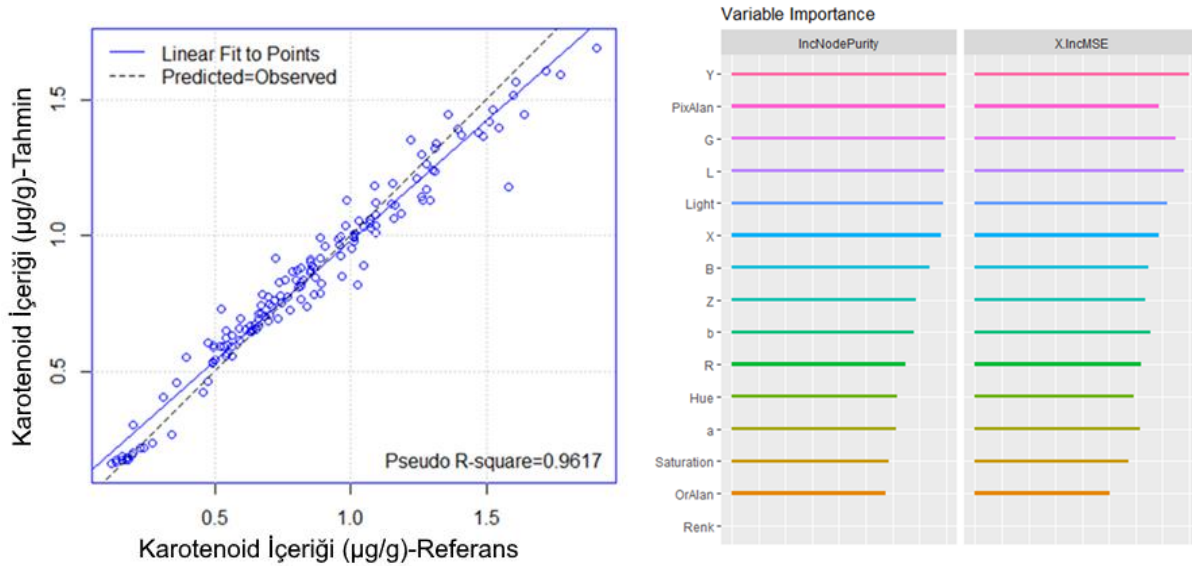
Renk ve hue değerleri ile karotenoid içeriği arasındaki ilişkileri gösteren grafikler Şekil 14'te gösterilmiştir. Hem renk ($r=-0,90^{**}$) hem de hue değeri ($r=-0,65^{**}$) ile karotenoid içeriği arasında negatif yönde korelasyon saptanmıştır. Her iki özellikle karotenoid içeriğinin negatif yönde korelasyona sahip olması, renk ve hue hesaplamalarının tohum rengindeki açıklığa bağlı olarak yükseldiğine işaret etmektedir. Nitekim ED-6 ve ED-8 kodlu beyaz tohumlu genotiplerin yüksek renk ve hue değerine sahip olması da bu durumu doğrulamaktadır.



Şekil 14. Karotenoid ile renk değeri ve Hue sayısı arasındaki korelasyon grafikleri

Figure 14. The correlation of carotenoid content with color and hue values

Karotenoid içeriğinin görüntü analizlerine dayalı belirlenmesi amacıyla oluşturulan rassal orman modeline ait tahmin grafiği ve etkili değişkenler Şekil 15'te sunulmuştur. Karotenoid tahmin modelinin R^2 değeri 0,9617 olarak hesaplanmış ve pozitif yönde doğrusal bir ilişki göstermiştir (Şekil 15a). Renk ve hue değerleri karotenoid içeriği ile negatif yönlü ilişkide olmasına rağmen, diğer renk uzaylarına ait veriler tahmin modeline dahil edildiğinde renk ve hue değişkenlerinin modele etkisinin zayıf olduğu ortaya çıkmıştır. Karotenoid değerinin belirlenmesine yönelik oluşturulan modelde öne çıkan değişkenler piksel alanı ile Y, G, L renk uzayı kanallarıdır (Şekil 15b).



Şekil 15. Karotenoid içeriği için oluşturulan rassal orman modelinde tahminlenen ve referans değerler arasındaki bağlantı (a) ve modelde girdi değişkenlere ait etki değerleri (b)

Figure 15. The relation between the predicted and reference values in the random forest model created for carotenoid content (left), and the effect values of the input variables in the model (right)

Sonuç

Yapılan çalışmada farklı genotiplere ait mısır tohumlarında yağ ve karotenoid içerikleri referans analizlerle tespit edilmiştir. Görüntü işleme tekniği ile elde edilen renk değerleri, embriyo alanı ve piksel sayıları ile hedef değişkenler (yağ ve karotenoid içerikleri) arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Bu hedef değişkenlerin, diğer renk uzayı verileri de kullanılarak görüntü işlemeye dayalı teknikler yardımıyla tahminlenmesine yönelik modeller oluşturulmuştur.

Korelasyon testi sonuçları yağ oranı ile embriyo piksel sayısı arasında doğrusal bir ilişki olmadığını, buna

karşın embriyo oranı ile yağ oranı arasında düşük bir korelasyon ($r=0,25$) olduğunu ortaya koymuştur. RGB görüntülemeye dayalı yağ oranı tahminlenmesinde embriyo oranının daha etkili bir şekilde kullanılabileceği anlaşılmıştır. Karotenoid içeriği ile ilişkilendirilen renk değeri ($r=-0,91$) ve hue değerlerinin ($r=-0,65$) her ikisinin de bu değişken ile negatif yönde korelasyona sahip olduğu görülmüştür.

Yağ oranını tahminlemek amacıyla oluşturulan rassal orman modelinde tahminleyici değişken olarak kullanılan 15 değişkenden renk değeri dışında kalan 14 tanesinin model başarısına etki ettiği görülmüş ve modelin yüksek doğrulukla ($R^2=0,8975$) tahmin sunduğu tespit edilmiştir. Karotenoid oranını tahminlemeye yönelik oluşturulan modelin ise determinasyon katsayısının $R^2=0,9617$ olduğu ve yine renk değeri haricinde kalan 14 değişkenin model başarısına etki ettiği görülmüştür.

Bu çalışmanın sonuçları, görüntü işleme tekniklerinin yağ ve karotenoid içeriğine yönelik mısır ıslahı çalışmalarında bir araç olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Bununla birlikte, ileriki araştırmalarda tek tohum düzeyinde tespiti yönelik örnekleme, analiz ve modelleme çalışmalarının yapılması, farklı modelleme tekniklerinin kullanılması gibi yaklaşımlarla söz konusu yöntemin etkinliğinin artırılması mümkün olabilir.

Ek Bilgiler ve Beyanlar

Teşekkür: Bu makale Ebru DÜZEN'in Yüksek Lisans tezinden üretilmiş olup ilgili tez çalışması Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje No: FYL-2020-3450).

Araştırmacıların Katkı Oranı: Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

Çıkar Çatışması Beyanı: Çalışma kapsamında herhangi bir kurum veya kişi ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

CC Telif Hakkı: 2024 Düzen ve ark.



Bu çalışma Creative Commons CC-BY 4.0 Uluslararası Lisansı kapsamında lisanslanmıştır.

Kaynaklar

- Al-Hiary, H., Bani-Ahmad, S., Reyalat, M., Braik, M., Alrahamneh, Z. 2011. Fast and accurate detection and classification of plant diseases. *International Journal of Computer Applications*, 17(1): 31-38.
- AOAC. 2002. Fat Content. In: *Official Methods of Analysis, Method 960.39, 17th Edition*, Association Official Analytical Chemists, Gaithersburg.
- Chandler, K., Lipka, A. E., Owens, B. F., Li, H., Buckler, E. S., Rocheford, T., Gore, M. A. 2012. Genetic analysis of visually scored orange kernel color in maize, *Crop Science*, 53(1): 189-200.
- Cogdill, R. P., Hurburgh, C. R., Rippke, G. R., Bajic, S. J., Jones, R. W., McClelland, J. F., Liu, J. 2006. Single-kernel maize analysis by near-infrared hyperspectral imaging, *Transactions of the ASAE*, 47(1): 311.
- Dado, R. G. 1999. Nutritional benefits of speciality corn grain hybrids in dairy diets, *Journal of Animal Science*, Volume 77, Issue suppl_2, pp 197-207, https://doi.org/10.2527/1999.77suppl_2197x
- Damude, H. G., Kinney, A. J. 2008. Enhancing plant seed oils for human nutrition. *Plant physiology*, 147(3): 962-968. <https://doi.org/10.1104/pp.108.121681>
- Effendi, M., Jannah, M., Effendi, U. 2019. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 230 012066. *International Conference on Green Agro-industry and Bioeconomy 18-20 September 2018, Universitas Brawijaya, East Java Indonesia*.
- Egesel, C. Ö., Wong, J., Lambert, R., Rocheford, T. 2003. Combining ability of maize inbreds for carotenoids and tocopherols. *Crop Science*, 43(3): 818-823.
- Farhood, H., Bakhshayeshi, I., Pooshideh, M., Rezvani, N., Beheshti, A. 2022. Recent advances of image processing techniques in agriculture. in *Artificial Intelligence and Data Science in Environmental Sensing*, London, U.K.: Academic, pp. 129-153, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90508-4.00007-1>.
- Jiang, Y., Tan, Y., Ji, F., Su, D., Wang, S., Zhang, L., Zhou, Q. 2024. CFIHL: a variety of chlorophyll a fluorescence transient image dataset of hydroponic lettuce. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1414324.
- Kahrıman, F., Egesel, C. Ö., Dönmez, N. İ., Bay, S. 2015. Mısırdaki Karotenoid İçeriğinin NIRs (Yakın Kızıl Ötesi Spektroskopisi) ile Tespiti, 11. Tarla Bitkileri Kongresi, Çanakkale, Türkiye, 7-10.

- Kandianis, C. B., Stevens, R., Liu, W., Palacios, N., Montgomery, K., Pixley, K., Rocheford, T. 2013. Genetic architecture controlling variation in grain carotenoid composition and concentrations in two maize populations, *Theoretical and Applied Genetics*, 126(11): 2879-2895.
- Li, X., Wang, M., Zhang, R., Fang, H., Fu, X., Yang, X., Li, J. 2022. Genetic architecture of embryo size and related traits in maize. *The Crop Journal*, 10(1): 204-215, <https://doi.org/10.1016/j.cj.2021.03.007>.
- McGorin, R. J. 2009. One Hundred Years of Progress in Food Analysis, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(18): 8076-8088, doi: 10.1021/jf900189s.
- Mansouri, A., Mirzabe, A. H., Raufi, A. 2017. Physical properties and mathematical modeling of melon (*Cucumis melo* L.) seeds and kernels. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(3): 218-226.
- Niaz, M., Zhang, B., Zhang, Y. et al. 2023. Genetic and molecular basis of carotenoid metabolism in cereals. *Theoretical and Applied Genetics*, 136, 63, <https://doi.org/10.1007/s00122-023-04336-8>
- Ordu, O., Egesel, C. Ö. 2019. Mısır Ununda Karotenoid Analizi İçin Farklı Ekstraksiyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1): 87-98, <https://doi.org/10.28979/comufbed.548587>
- R Core Team. 2021. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <https://www.R-project.org>
- Rahman, M. H., Islam, M. R. 2013. Segmentation of color image using adaptive thresholding and masking with watershed algorithm. *International Conference on Informatics, Electronics and Vision (ICIEV)*, Dhaka, Bangladesh, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICIEV.2013.6572557.
- Rodriguez-Amaya, D. B., Kimura, M. 2004. *HarvestPlus handbook for carotenoid analysis*. Washington: International Food Policy Research Institute (IFPRI).
- Sabancı, K., Aydın, C., Ünlerşen, M. F. 2012. Görüntü işleme ve yapay sinir ağları yardımıyla patates sınıflandırma parametrelerinin belirlenmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 2(2 Sp: A): 59-62.
- Tian, S., Xu, H. 2022. Nondestructive methods for the quality assessment of fruits and vegetables considering their physical and biological variability. *Food Engineering Reviews*, 14(3): 380-407.
- Weinstock, B. A., Janni, J., Hagen, L., Wright, S. 2006. Prediction of oil and oleic acid concentrations in individual corn (*Zea mays* L.) kernels using near-infrared reflectance hyperspectral imaging and multivariate analysis. *Applied Spectroscopy*, 60(1): 9-16.
- Williams, G. J. 2011. *Data Mining with Rattle and R: The art of excavating data for knowledge discovery*, series Use R! Springer.
- Yang, X., Ma, H., Zhang, P., Yan, J., Guo, Y., Song, T., Li, J. 2012. Characterization of QTL for oil content in maize kernel. *TAG. Theoretical and applied genetics. Theoretische und angewandte Genetik*, 125(6): 1169-1179, <https://doi.org/10.1007/s00122-012-1903-x>.
- Yang, C. C., Prasher, S. O., Landry, J. A., DiTommaso, A. 2000. Application of artificial neural networks in image recognition and classification of crop and weeds. *Canadian Agricultural Engineering*, 42(3): 147-152.
- Zhao, L., Cai, C., Wei, C. 2020. An image processing method for investigating the morphology of cereal endosperm cells. *Biotechnic & Histochemistry*, 95(4): 249-261.
- Zolotov, Y. A. 2020. Evolution of Chemical Analysis Methods. *Her. Russ. Acad. Sci.*, 90: 56-62. <https://doi.org/10.1134/S1019331620010220>