

ISSN 1306-0007
e-ISSN 2651-4230

TARIM MAKİNALARI BİLİMİ DERGİSİ

Journal of Agricultural Machinery Science



2022

CİLT
VOLUME

18

SAYI
NUMBER

1

Tarım Makinaları Derneği Yayınıdır
Published by Agricultural Machinery Association

YIL (YEAR) 2022

CİLT (VOLUME) 18

SAYI (ISSUE) 1

Sahibi (President)

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

Can ERTEKİN

Akdeniz Üniversitesi, Antalya

Editör Kurulu (Editorial Board)

Sayı Editörü (Issue Editor)

İlknur ALİBAŞ

Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa

Editörler (Editors)

Türkan AKTAŞ

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ

İlknur ALİBAŞ

Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa

Recep KÜLCÜ

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta

Alan Editörleri (Field Editors)

Zeliha Bereket BARUT

Çukurova Üniversitesi, Adana

Heinz BERNHARDT

Technical University of Munich, Germany

Sorin-Stefan BIRIS

Politehnica University of Bucharest, Romania

H. Kürşat ÇELİK

Akdeniz Üniversitesi, Antalya

Osman GÖKDOĞAN

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta

Shoojin JUN

Hawaii University, USA

Habip KOCABIYIK

18 Mart Üniversitesi, Çanakkale

Y. Benal ÖZTEKİN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun

Bernhard STREIT

Bern University of Applied Sciences, Switzerland

Shuichi YAMAMOTO

Yamaguchi University, Japan

Hüseyin YÜRDEM

Ege Üniversitesi, İzmir

Mizanpaj Editörü (Layout Editor)

Ahmet SÜSLÜ

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 hiç bir
bölümü, yayıncının izni olmaksızın, herhangi bir şekilde çoğaltılamaz.**

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

Tarandığı İndeksler (Indexing)



**ROOT
INDEXING**



**Google
Scholar**



**Academic
Journal
Index**

ESJI

**Eurasian
Scientific
Journal Index**



**ASOS
INDEX**



Tarım Makinaları Derneği (TARMAKDER)

Yazışma Adresi (Correspondence Address)

Dernek Adresi (Association Address)

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

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

İçindekiler (Contents)

Sayfa (Page)

Nane Bitkisine Uygulanan Farklı Kurutma Yöntemlerinin Kuruma Kinetiği ve Kalite Özelliklerine Etkisi

The Effect of Different Drying Methods Applied to Mint Plant on Drying Kinetics and Quality Characteristics
Hakan POLATCI, Burcu AKSÜT

1-8

Kırmızı Kıvırcık Yaprak Salatının Farklı LED Işık Kaynaklarındaki Gelişim Parametrelerinin İncelenmesi

Investigation of the Growth Parameters of Red Curly Leaf Lettuce in Different LED Light Sources
Ahmet ŞAHİN, İsmail BOYAR, Mehmet TORUN, Nuri ÇAĞLAYAN, Can ERTEKİN

9-24

Türkiye'de İmal Edilen Odun Pelet Örneklerinin Kalite Özelliklerinin ve Standartlara Uygunluğunun Belirlenmesi

Determination of Quality Characteristics and Compliance with Standards of Wood Pellet Samples Produced in Turkey
Türkan AKTAŞ

25-40

Farklı Şekil İndeksine Sahip Marfona ve Hermes Patateslerin Fiziksel Özelliklerine Göre Kütle Modellemesi

Mass Modeling Base on the Physical Properties of Marfona and Hermes Potatoes with Different Shape Index
Ebubekir ALTUNTAŞ

41-57

Nane Bitkisine Uygulanan Farklı Kurutma Yöntemlerinin Kuruma Kinetiği ve Kalite Özelliklerine Etkisi

The Effect of Different Drying Methods Applied to Mint Plant on Drying Kinetics and Quality Characteristics

Hakan Polatcı^{1,*}, Burcu Aksüt²

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

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

* Corresponding author (Sorumlu Yazar): H. Polatcı, e-mail (e-posta): hakan.polatci@gop.edu.tr

Makale Bilgisi

Alınış tarihi : 06.10.2021
Düzeltilme tarihi : 24.11.2021
Kabul tarihi : 27.11.2021

Anahtar Kelimeler:

Kurutma
Matematiksel Modelleme
Nane
Renk ve Kalite

Atf için:

Polatcı, H. ve Aksüt, B., (2022). "Nane Bitkisine Uygulanan Farklı Kurutma Yöntemlerinin Kuruma Kinetiği ve Kalite Özelliklerine Etkisi", *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 8(1): 1-8.

Article Info

Received date : 06.10.2021
Revised date : 24.11.2021
Accepted date : 27.11.2021

Keywords:

Drying
Mathematical Modeling
Mint
Color and Quality

How to Cite:

Polatcı, H. and Aksüt, B., (2022). "The Effect of Different Drying Methods Applied to Mint Plant on Drying Kinetics and Quality Characteristics", *Journal of Agricultural Machinery Science*, 8(1): 1-8.

ÖZET

Nane, ticari önemi olan tıbbi ve aromatik bitkilerden bir tanesidir. Ülkemizde bol miktarda (salatalarda, yemeklerde ve turşularda) değerlendirilen nane aynı zamanda çay olarak da kullanılmaktadır. Nane bitkisi taze ve kuru olarak tüketilmektedir. Ancak uzun süre kimyasal, fiziksel ve besin özelliklerini kaybetmeden taze olarak depolanamaz. Bu nedenle birçok alanda kullanılan nane bitkisinin kurutulması önemlidir. Bu çalışmada, tıbbi ve aromatik bitki olan nane bitkisinin yapraklarının sıcak havali kurutucularda (etüv ve iklimlendirme cihazı) ve doğal ortamda (güneşte ve gölgede) kurutulduktan sonra renk kriteri ve kuruma kinetiği açısından incelenmesi ve en uygun kurutma yönteminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ortalama kuruma sürelerine göre, en kısa kuruma süresinin güneşte kurutma yöntemi ile 3.5 saat, en uzun kuruma süresinin ise gölgede kurutma yöntemi ile 81.5 saat olduğu tespit edilmiştir. Üründen birim zamanda uzaklaşan birim zamandaki nem oranı değerleri ince tabaka kurutma eşitliklerinde kullanılarak kuruma eğrilerini en iyi tahmin eden matematiksel model belirlenmiştir. Modellemede, Lewis, Wang Sing ve Page eşitlikleri kullanılmıştır. Tüm modellerin belirleme katsayısının ($p < 0.05$) uygun olduğu belirlenmiştir. Belirlenen kararlılık katsayısı (R^2) değerleri arasında en yüksek değer Page modelinin güneşte kurutma yönteminde 0.9996 olarak bulunmuştur. En düşük R^2 değeri ise Wang ve Sing modelinin gölgede kurutma yönteminde 0.8614 olarak tespit edilmiştir. Renk kriteri açısından taze nanenin özelliklerini en iyi muhafaza eden yöntemin iklimlendirme cihazında 50 °C ve %50 bağıl nem şartlarında yapılan kurutma yöntemi olduğu belirlenmiştir. Kimyasal özellikler (suda çözünür kuru madde miktarı, pH ve titre edilebilir asitlik) açısından ise 45°C sıcaklıkta etüvde kurutma yönteminin daha uygun olduğu bulunmuştur.

ABSTRACT

Mint is one of the medicinal and aromatic plants of commercial importance. Mint, which is used abundantly (in salads, meals, and pickles) in our country, is also used as tea. Mint plant is consumed both fresh and dry. However, it cannot be stored as fresh for a long time without losing their chemical, physical and nutritional properties. For this reason, it is important to dry the mint plant, which is used in many areas. In this study, we aimed to determine the most suitable drying method in terms of color criteria and drying kinetics of the medicinal and aromatic plant mint leaves after drying in hot air dryers (oven and air conditioning device) and in the natural environment (sun and shade). According to the average drying times, it was determined that the shortest drying time was 3.5 hours with the sun drying method, and the longest drying time was 81.5 hours with the shade drying method. The moisture content per unit time away from the product was used in thin-layer drying equations, and the mathematical model that best predicted the drying curves was determined. Lewis, Wang Sing, and Page equations were used in the modeling. The coefficient of determination ($p < 0.05$) for all models was found to be appropriate. Among the determined coefficient of stability (R^2) values, the highest value was found to be 0.9996 in the sun drying method of the Page model. The lowest R^2 value was found to be 0.8614 in the shade drying method of the Wang Sing model. In terms of color criteria, the method that best preserves the properties of fresh mint was determined in the air conditioner at 50°C and 50% relative humidity conditions. In terms of chemical properties (Amount of water-soluble dry matter, pH, and titratable acidity), it was found that the oven drying method at 45 °C was more suitable.

1. GİRİŞ

Nane (*Mentha spicata L.*) ticari önemi olan Asya kökenli tıbbi ve aromatik bir bitkidir (Sinha ve Chattopadhyay, 2011). Çok yıllık bir bitki olan nane Brezilya, Çin, Tayvan, Japonya, Arjantin ve Güney Afrika'da yaygın olarak yetiştirilmektedir (Akgül, 1993; Özer, 2012).

Türkiye'de taze ve kuru olarak çok fazla tüketilen nane, yemeklerde, turşularda, salatalarda aynı zamanda kurutulduktan sonra çay ve baharat olarak da kullanılmaktadır (Kocabıyık ve ark., 2008). Sağlık alanında ise antiseptik, yatıştırıcı, serinletici, bulantı kesici ve önleyici ilaçların yapımında kullanılmaktadır. Nane bitkisinden elde edilen mentolce zengin nane yağı, mide bulantılarına ve ağrısına iyi geldiğinden, sakız ve nane şekeri üretiminde çok fazla tercih edilmektedir. Ayrıca parfüm, diş macunu, losyon, krem ve sabun sanayisinin önemli hammaddelerindedir (Baydar, 2005, Nascimento ve ark., 2009; Özer, 2012).

Tıbbi ve aromatik bitkilerin kullanım amacına göre hasat dönemleri değişiklik gösterdiği için en iyi muhafaza yöntemi kurutmadır. Nane gibi tıbbi ve aromatik bitkiler içerdikleri etken maddelerden dolayı uzun süre taze olarak muhafaza edilemezler. Kurutma ile bitkinin su içeriği belirli bir değere kadar düşürülerek, enzimatik ve mikrobiyolojik aktivitesi yavaşlatılmakta veya durdurulmaktadır. Böylece ürünün depolama süresi uzatılmaktadır. Aynı zamanda bitkinin aroma, renk ve birçok kalite kriteri de korunmaktadır. Günümüzde tıbbi ve aromatik bitkilerdeki etken maddeleri en fazla etkileyen hasat sonrası işlemlerin en önemlilerinden birisi kurutmadır (Özer, 2010).

Bu çalışmada; en önemli tıbbi ve aromatik bitkilerden birisi olan nane bitkisinin yapraklarının sıcak havalı kurutucular (etüv ve iklimlendirme cihazı) kullanılarak ve doğal ortamda (güneşte ve gölgede) kurutulması işlemleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen kuru ürünler renk özellikleri ve kuruma kinetikleri açısından değerlendirilerek nane yaprakları için en uygun kurutma yönteminin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Deneme Materyali

Deneme materyali olarak nane bitkisi kullanılmıştır. Nane yerel bir marketten satın alınarak deneme zamanına kadar +4°C'de muhafaza edilmiştir. Denemeye başlamadan önce naneler laboratuvar ortamına alınarak ortam sıcaklığına ulaşması için 2-3 saat kadar bekletilmiştir. Ortam sıcaklığına ulaşan nane örneklerinden 36.0 ± 1.0 g alınmış ve kurutma öncesi nem içeriğini (%y.b.) belirlemek amacıyla 105°C'de 24 saat bekletilmiştir (Özbek ve Dadalı, 2007). Kurutma için ayrılan nane yapraklarından rastgele 10 adet yaprak renk ölçümleri için seçilmiştir. Nanelerin ön hazırlık işlemi Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Kurutma Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

2.2. Kurutma Yöntemleri

Bu çalışmada gölgede, güneşte, iklimlendirme cihazında ve etüvde kurutma yöntemleri olmak üzere dört farklı kurutma yöntemi kullanılmıştır. Kurutma işlemlerinde, etüvde 45, 50 ve 55°C kurutma havası sıcaklıkları kullanılmıştır. İklimlendirme cihazında ise 50°C sıcaklıkta ve %20, %35 ve %50 bağıl nem koşulları kullanılmıştır. Kurutma denemeleri belirli süre aralıklarında ürünün tartılarak bitki materyali son nem değeri yaş baza göre %10-13 seviyesine ulaşmaya kadar devam etmiştir. Yaklaşık 60 g nanenin kurutulduğu kurutma denemeleri 3'er tekerrür olarak gerçekleştirilmiştir.

2.3. Renk Ölçümü

Taze ve kurutulmuş nane örneklerinin renk ölçümleri CIE-Lab yöntemine göre Minolta CR-300 model renk cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Buna göre, "a" değeri, kırmızılık-yeşillik değeri olarak bilinmektedir. Negatif "a" değerleri yeşil rengi temsil ederken, pozitif "a" değerleri kırmızılığı temsil etmektedir. Bununla birlikte, "b" değeri sarılık-mavilik değeri olarak bilinmektedir. Negatif "b" değerleri maviliği temsil ederken, pozitif "b" değerleri sarılığı temsil etmektedir. Sıfır kesim noktası (a= 0 ve b= 0) renksizlik yani griliği ifade etmektedir. Ayrıca "L" değeri 0 ile 100 arasında değişmekte ve parlaklığı ifade etmektedir. Buna göre "L"nin 0 değeri siyah rengi yani yansımanın hiç olmadığı durumu ifade ederken, 100 değeri yansımanın tam olduğu beyaz renk durumunu ifade etmektedir (McGuire, 1992).

Kroma değeri, rengin doygunluğunu göstermektedir. Canlı renklere kroma değeri yükselirken, solgun renklere kroma değerleri düşmektedir. Kroma değeri ve hue açısı aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır;

$$h^{\circ} = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right) \quad (1)$$

$$C^* = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (2)$$

Toplam renk değişimi (ΔE), taze ürünün renk değerlerinin kurutma yöntemlerinin etkisi ile ne ölçüde değiştiğini göstermektedir. Toplam renk değişimini belirlemek için aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır (Çelen ve ark., 2015).

$$\Delta L = L_{taze} - L \quad (3)$$

$$\Delta a = a_{taze} - a \quad (4)$$

$$\Delta b = b_{taze} - b \quad (5)$$

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (6)$$

Kahverengileşme indeks değeri (BI) ürünün esmerleşme değerini ifade etmektedir. Hesaplanmasında ise "x" katsayısı değeri kullanılmaktadır. Buna göre "BI" ile "x" katsayısının belirlenmesi için aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır (Plou ve ark., 1999);

$$BI = \frac{[100(x - 0,31)]}{0,17} \quad (7)$$

$$x = \frac{a + (1,75xL)}{[(5,645xL) + (a - (3,012xb))]} \quad (8)$$

2.4. Kimyasal Analizler

Çalışma kapsamında, taze ve kurutulmuş nane örneklerinde suda çözünür kuru madde miktarı (SÇKM), pH ve titre edilebilir asit (TA) analizleri yapılmıştır. Alınan örnekler belirli bir oranda (taze örnekler 20 kat, kurutulmuş örnekler ise 40 kat) saf su ile seyreltilmiştir. SÇKM analizinde, deneme materyali homojen hale getirildikten sonra ince gözenekli filtre kâğıdından geçirilip ilk damlalar saf su baz alınarak kalibre edilmiştir ve sonuçlar bir el refraktometresi (0-53 ölçekli, Refractometer PAL-1) ile '%' olarak okunmuştur. Homojen hale getirilmiş nane bitkilerinin asitlik-bazlık (pH) analizi cam elektrotlu bir pH-metre kullanılarak ölçülmüştür. TA analizinde ise bitkinin asitliği sitrik asit cinsinden, pH-metre metoduyla % olarak belirlenmiştir (Cemeroğlu, 2007).

2.5. Matematiksel Modelleme

Tarımsal ürünler kurutulurken, gerçek değerler ile tahmini değerler arasındaki ilişkiyi ifade etmek için bazı modellerden yararlanılmaktadır. Bu çalışmada SigmaPlot 10.0 programı kullanılarak matematiksel modelleme yapılmıştır. Kurutma için en uygun üç model eşitliği seçilmiş ve aralarında karşılaştırma yapılmıştır. Bu model eşitlikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge1. İnce Tabakalı Matematiksel Kuruma Modelleri

No	Model ismi	Eşitlik	İlgili Kaynak
1	Lewis	ANO=exp(-k.t)	Lewis (1921)
2	Page	ANO=exp(-k.t ^b)	Page (1949)
3	Wang Sing	ANO=1+k.t+h.t ²	Wang & Singh (1978)

2.6. İstatistiksel Analiz

Tüm kurutulmuş örneklere ait renk değerlerinin istatistiksel açıdan tazelerin özelliklerini ne kadar muhafaza edebildiğini belirleyebilmek için veriler SPSS 17.0 programında işlenerek çoklu karşılaştırma testi (Duncan) yapılmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

3.1. Kuruma Verileri

Yapılan denemeler sonucunda ortalama son nem içeriği değerleri ve kurutma süreleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Nane bitkisine ait kuruma performans değerleri

Kurutma Yöntemi	Kurutma şartları	Ortalama son nem içeriği (%y.b.)	Kurutma süresi (saat)
Etüv	45°C	11.83	19.0
	50°C	10.40	14.0
	55°C	10.74	8.0
İklimlendirme Cihazı	+ %20 BN	10.13	6.0
	50 °C + %35 BN	11.92	11.5
	+ %50 BN	12.35	18.0
Gölgede Kurutma	-	11.15	81.5
Güneşte Kurutma	-	10.00	3.5

Çizelge 2'ye göre en kısa kuruma süresi güneşte kurutma yöntemi ile 3.5 saat, en uzun kuruma süresi ise gölgede kurutma yöntemi ile 81.5 saat olarak tespit edilmiştir. Yöntemler arasındaki bağıl nem ve sıcaklık farkı kuruma sürelerini etkilemiştir. Kuruma süresi sıcaklık ile doğru, bağıl nem ile ters orantılıdır. Buna göre sıcaklık arttıkça kuruma süresi azalmış, bağıl nem arttıkça kuruma süresi artmıştır. Boloğur (2014) hem dış sıcaklığın 38.3°C ve iç sıcaklığın 41.6 °C olduğu kabin tipi kurutucuda hem de güneşte kurutma yönteminde nane bitkisinin 3.5 saatte kurduğunu tespit etmiştir. Ayrıca çalışmada her iki yöntemin kurutma süreleri bakımından eşit sürede tamamlanmasına karşın, güneşte kurutma yönteminin toz, kir, böcek kalıntıları gibi çevresel koşullar, renk ve kimyasal değerler açısından uygun bir yöntem olmadığı belirtilmiştir.

3.2. Renk değerleri

Taze ve kurutulmuş nane bitkisine ait ölçülen ve hesaplanan renk değerleri Çizelge 3 ve Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 3. Nane bitkisine ait ölçülen renk değerleri

Kurutma yöntemleri	Kurutma şartları	L	a	b
Taze	-	31.05±3.36 ^b	-8.07±8.07 ^e	9.46±9.46 ^b
	45 °C	29.03±2.04 ^b	-2.89±0.34 ^c	7.85±0.84 ^{cd}
Etüv	50 °C	30.40±2.31 ^b	-1.85±1.07 ^{bc}	7.60±1.01 ^{cd}
	55 °C	26.00±3.89 ^c	-1.19±1.55 ^b	6.56±1.55 ^d
İklimlendirme cihazı	+ %20 BN	26.08±4.70 ^c	-2.23±0.97 ^{bc}	6.63±1.24 ^d
	50 °C + %35 BN	30.36±2.94 ^b	-2.81±1.22 ^c	8.14±1.37 ^{bc}
	+ %50 BN	27.86±2.41 ^b	-1.81±0.97 ^c	7.53±0.99 ^{bc}
Güneş	-	29.99±2.20 ^b	-0.16±1.64 ^a	4.81±1.75 ^e
Gölge	-	36.27±4.77 ^a	-5.73±2.23 ^d	11.49±3.27 ^a

Çizelge 3'e göre, a değerleri %5 önem seviyesinde tazeye kıyasla istatistiki açıdan farklı iken, b değeri açısından %35 ve %50 bağıl nem ve 50°C'de iklimlendirme cihazında kurutma yöntemleri istatistiki açıdan benzer bulunmuştur. Ayrıca, L değeri açısından, 55°C'de etüv, %20 bağıl nem+50°C'de iklimlendirme cihazı ve gölgede kurutma yöntemleri istatistiki açıdan farklı bulunurken, diğer kurutma yöntemleri arasında istatistiki açıdan fark bulunmamıştır.

Çizelge 4. Nane bitkisine ait hesaplanan renk değerleri

Kurutma yöntemleri	Kurutma şartları	C	b/a	h, derece	ΔE	BI
Taze	-	12.44	-1.17	-49.54	-	-
	45 °C	8.36	-2.71	-69.76	22.57	22.83
Etüv	50 °C	7.82	-4.10	-76.31	24.39	23.30
	55 °C	6.66	-5.52	-79.73	21.35	24.79
İklimlendirme cihazı	+ %20 BN	6.99	-2.98	-71.43	20.66	21.91
	50 °C + %35 BN	8.61	-2.90	-70.99	23.68	23.14
	+ %50 BN	7.72	-4.12	-76.36	22.11	25.45
Güneş	-	4.82	-30.22	-88.10	39.72	16.69
Gölge	-	12.84	-2.01	-63.49	26.86	24.25

Çizelge 4 incelendiğinde taze ürünün kroma (renk doygunluğu) değeri 12.44 olarak bulunmuştur. En düşük kroma değeri güneşte kurutma yöntemi ile 4.82 bulunurken en yüksek değer ise gölgede kurutma yöntemi ile 12.84 olarak belirlenmiştir. Kocabıyık ve Demirtürk (2008) tarafından yürütülen nane kurutma denemesinde ortalama 12.97 değeri ile kroma değeri bu çalışmada bulunan değere yakın bulunmuştur.

Taze ürünlerin hue açısı -49.54 olarak belirlenmiştir. Yapılan denemelerde en düşük hue açısı güneşte kurutma yöntemi ile -88.10 olarak tespit edilirken, en yüksek değer gölgede kurutma yöntemde -63.49 olarak belirlenmiştir. Çizelge 4 incelendiğinde 45 °C'de etüvde kurutma yönteminde hue açısı 69.76 olarak bulunmuştur. Kocabıyık ve Demirtürk (2008) tarafından yürütülen çalışmada 2.0 m.s⁻¹ hava hızında gerçekleştirilen kurutma çalışmasında hue açısı 69.78 olarak tespit edilmiştir. Yapılan denemeler ışığında benzer değerlerin elde edildiği görülmektedir.

Diğer taraftan kahverengileşme indeksinin (BI) en düşük değeri 16.69 ile güneşte kurutma yönteminde elde edilirken, en yüksek değer ise 25.45 ile %50 bağıl nem+50 °C'de iklimlendirme cihazında gerçekleştirilmiş olan kurutma yönteminde bulunmuştur.

En yüksek toplam renk değişimi 39.72 değeri ile güneşte kurutma yönteminde ölçülürken, en düşük değer 29.66 değeri ile %20 bağıl nem+50 °C'de iklimlendirme cihazında gerçekleştirilen kurutma yönteminde belirlenmiştir.

3.3. Modelleme Verileri

Matematiksel modelleme sonucu ile elde edilen " R^2 " ve " p " değerleri ile kullanılacak katsayıların değerleri Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5. Modelleme eşitliklerine ait hesaplanan değerler

Model Eşitlikleri	Kurutma yöntemi	Kurutma şartları	R^2	p	k	h
<i>Page</i> $ANO=exp[-k.(t^h)]$	Etüv	45 °C	0.9965	<0.0001	0.2515	0.9131
		50 °C	0.9984	<0.0001	0.3693	0.9761
		55 °C	0.9983	<0.0001	0.3402	1.1505
	İklimlendirme cihazı	+ %20 BN	0.9995	<0.0001	0.7244	0.8507
		50 °C + %35 BN	0.9993	<0.0001	0.5188	0.8442
		+ %50 BN	0.9988	<0.0001	0.3895	0.9326
	Güneş	-	0.9996	<0.0001	1.1576	1.0812
Gölge	-	0.9990	<0.0001	0.1228	0.8787	
<i>Wang Sing</i> $ANO=1+k.t+h.t^2$	Etüv	45 °C	0.9517	<0.0001	-0.1467	0.0053
		50 °C	0.9077	<0.0001	-0.2009	0.0093
		55 °C	0.9967	<0.0001	-0.2928	0.0216
	İklimlendirme cihazı	+ %20 BN	0.8969	<0.0001	-0.3704	0.0323
		50 °C + %35 BN	0.9130	<0.0001	-0.2667	0.0165
		+ %50 BN	0.8703	<0.0001	-0.1854	0.0078
	Güneş	-	0.9806	<0.0001	0.7815	0.1460
Gölge	-	0.8614	<0.0001	-0.0479	0.0004	
<i>Lewis</i> $ANO=exp(-k.t)$	Etüv	45 °C	0.9945	<0.0001	0.2195	-
		50 °C	0.9983	<0.0001	0.3594	-
		55 °C	0.9938	<0.0001	0.3921	-
	İklimlendirme cihazı	+ %20 BN	0.9939	<0.0001	0.6708	-
		50 °C + %35 BN	0.9945	<0.0001	0.4398	-
		+ %50 BN	0.9979	<0.0001	0.3638	-
	Güneş	-	0.9988	<0.0001	1.1562	-
Gölge	-	0.9955	<0.0001	0.0910	-	

Çizelge 5'e göre, en yüksek R^2 değeri 0.9996 değeri ile güneşte kurutma yönteminde Page eşitliği ile elde edilirken, en düşük R^2 değeri ise 0.8614 değeri ile gölgede kurutma yönteminde Wang Sing eşitliği ile tespit edilmiştir. Koyun ve Yılmaz (2016), çalışmalarında nane bitkisi ile üstten üfleme yapılan kurutmada Page modelinin, alttan üfleme yapılan kurutmada ise Wang ve Sing modelinin en uygun sonuçları verdiğini belirlemişlerdir. Gülçimen (2008) nane ve reyhan bitkisinin kurutmasına yönelik çalışmada Page eşitliğinin en uygun model olduğunu bildirmiştir. Çalışma kapsamında belirlenen değerlerin literatürde yapılan benzer çalışmalarda belirlenen bulgularla uyumlu olduğu gözükmemektedir.

3.4. Kimyasal Analizler

Taze ve kurutulmuş nane bitkisi örneklerinin pH, ŞÇKM ve TA analiz sonuçları Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Nane bitkisine ait kimyasal analiz sonuçları

Kurutma yöntemleri	Kurutma şartları	ŞÇKM	pH	TA
Taze	-	6.00±0.00 ^d	5.58±0.08 ^c	1.09±0.16 ^c
Etüv	45 °C	24.00±4.00 ^c	5.95±0.03 ^b	3.02±0.11 ^b
	50 °C	41.33±2.31 ^{ab}	6.06±0.09 ^b	2.77±0.19 ^a
	55 °C	36.00±4.00 ^b	6.42±0.38 ^a	2.84±0.25 ^a
İklimlendirme cihazı	+ %20 BN	36.00±0.00 ^b	6.15±0.07 ^{ab}	2.16±0.31 ^a
	50 °C + %35 BN	44.00±4.00 ^{ab}	6.08±0.28 ^b	2.89±0.51 ^a
	+ %50 BN	38.67±8.33 ^{ab}	6.21±0.08 ^{ab}	2.91±0.17 ^a
Güneş	-	48.00±10.58 ^a	6.22±0.10 ^{ab}	2.77±0.38 ^a
Gölge	-	46.67±2.31 ^a	5.96±0.10 ^b	3.20±0.30 ^a

Çizelge 6'ya göre, kurutulmuş nane bitkisi için belirlenen ŞÇKM, pH ve TA değerleri taze örnekler ile kıyaslandığında tüm kurutma denemelerinde artış olduğu, kurutulmuş örneklerin taze örneklerle göre daha yüksek değerler aldığı belirlenmiştir. Ancak kurutulmuş ürünlerde belirlenen ŞÇKM, pH ve TA değerleri, tazeye göre kıyaslandığında istatistiki açıdan önemli bir farklılık oluşmuştur. Ayrıca, 45°C'de etüvde kurutma yönteminde sırasıyla 24.00, 5.95 ve 3.02 değerleri ile ölçülen ŞÇKM, pH ve TA değerlerinin diğer yöntemlere kıyasla taze örneklerle daha yakın olduğu görülmüştür.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, nane bitkisi 45, 50 ve 55°C sıcaklıkta etüvde, 50°C sıcaklık ve %20, % 35 ve %50 bağıl nem koşullarında iklimlendirme cihazında, gölgede ve güneşte kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuş olup, hem taze hem de kurutulmuş örneklerde suda çözünen kuru madde, asitlik/bazlık ve titre edilebilir asitlik değerlerinden oluşan kimyasal parametreler ile renk özellikleri karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir.

Nane bitkisine ait kuruma performans değerleri incelendiğinde; en kısa kuruma süresi 3.5 saat ile güneşte kurutma yöntemi olarak tespit edilmiştir. Kurutma süresi açısından en kısa yöntem olmasına karşın güneşte kurutma yönteminde toz, kir böcek kalıntıları gibi olumsuz çevre koşulları, renk ve kimyasal değerler açısından diğer yöntemlere kıyasla uygun olmayan sonuçlar elde edilmiştir. Modelleme çalışmasının sonuçlarına göre en yüksek R^2 değerleri Page eşitliğinde tespit edilmiştir. Renk kriteri açısından da taze nanenin özelliklerini en iyi muhafaza eden yöntemin 50°C sıcaklık ve %50 bağıl nemde iklimlendirme cihazında kurutma olduğu belirlenmiştir. Kimyasal özellikler açısından ise (SÇKM, pH ve TA) 45°C'de etüv kurutma yönteminin daha uygun olduğu bulunmuştur.

KAYNAKLAR

- Akgül, A.1993. *Baharat bilimi ve teknolojisi*. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, 15, s. 127-128.
- Baydar, H. 2005. *Tıbbi, aromatik ve keyif bitkileri bilimi ve teknolojisi*. Süleyman Demirel Üniversitesi, Yayın: 51, s. 113-115.
- Boloğur, H. 2014. Güneş enerjili hibrit tip bir kurutma sistem tasarımı ve deneysel analizi. Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa.
- Cemeroğlu, B. 2007. *Gıda Analizleri*. Gıda Teknolojisi Yayınları, 682 s, Ankara.
- Çelen, İ.H., Çelen, S., Moralar, A., Buluş, H. N. ve Önler, E., 2015. Mikrodalga bantlı kurutucuda patatesin kurutulabilirliğinin deneysel olarak incelenmesi. *Electronic Journal of Vocational Colleges- Special Issue: The Latest Trends in Engineering*, 5(4): 242- 287.
- Gülçimen, F. 2008. Yeni tasarlanan havalı kollektörler yardımı ile reyhan ve nane kurutulması. Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Elazığ.
- Kocabıyık, H. ve Demirtürk, B.S. 2008. Nane Yapraklarının İnfrared Radyasyonla Kurutulması. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 5(3).
- Koyun, T. ve Yılmaz, H.B. 2016. Alttan ve üstten üfleli kabin tipi kurutucuda nane kurutulmasının deneysel olarak incelenmesi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 36, 2, 147-154.
- Lewis, W.K. 1921. The rate of drying of solid materials. *Industrial Engineering Chemistry*, 13, 427-443.
- McGuire, R.G. 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27: 1254 - 1255.
- Nascimento, E.M.M., Rodrigues, F.F.G., Campos, A.R. and Costa, J.G.M. 2009. Phytochemical prospection, toxicity and antimicrobial activity of mentha arvensis (labiatae) from northeast of brazil. *J Young PHarm*, Vol: 1(3); pp. 210-212.
- Özbek, B. ve Dadalı, G. 2007. Thin-layer drying characteristics and modelling of mint leaves undergoing microwave treatment. *Journal of Food Engineering*, 83: 541-549.
- Özer, A. 2010. Bazı Tıbbi Bitkilerin Sıcak Havalı Kurutucuda Kurutulması Ve Kurutma Sıcaklıklarının Ürün Kalitesi Üzerine Etkileri, Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Yüksek Lisans, Tekirdağ.
- Özer, E. 2012. Nane (Mentha Piperita L.)'nin Farklı Kısımlarına Uygulanan Farklı Kurutma Tekniklerinin Uçucu Yağın Bileşimine ve Antimikrobiyel Aktivitesi Üzerine Etkisi. Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Page, G.E. 1949. Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers, MSc. Thesis, Purdue University.
- Plou, E., Lopez-Malo, A., Barbosa-Canovas, G.V., Welti-Chanes, J. and Swanson, B.G. 1999. PolypHenoloxidase activity and color of blanched and high hydrostatic pressure treated banana puree. *Journal of Food Science*, 64, 42-45.
- Sinha, R. and Chattopadhyay, S. 2011. Changes in the leaf proteome profile of mentha arvensis in response to alternaria alternata infection. *Journal of Proteomics*, Vol:74; pp. 327-336.
- Wang, C.Y. and Singh, R.P. 1978. A single layer drying equation for rough rice. ASAE Paper No: 78-3001, ASAE, St. Joseph, MI.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction and Research Questions & Purpose

Mint is an edible agricultural product among medicinal and aromatic plants. In addition to being used in modern and traditional medicine, it is also consumed as a spice, nutritional supplement, and herbal tea. In addition, it finds a wide area of use in different branches of industry, such as cosmetics and perfumery, brighteners, cleaning products, and even pesticides. It is of great importance to preserve the agricultural product, which has such a wide area of use. Therefore, to increase the consumption life of mint, the most commonly preferred drying method should be applied. This study aimed to determine the most suitable drying method for color criteria and drying kinetics of the medicinal and aromatic plant mint leaves after drying in hot air dryers (oven and air conditioning device) and natural drying (sun and shade).

As a result of the experiments, it was determined that the shortest drying time was 3.5 hours with the sun drying method, and the longest drying time was 81.5 hours with the shade drying method. The relative humidity and temperature difference between the methods affected the drying times. Drying time is directly proportional to temperature and inversely proportional to relative humidity. In other words, the drying time decreased as the temperature increased, and the drying time increased as the relative humidity increased. In terms of color criteria, the method that best preserves the properties of fresh mint was determined in the air conditioner at 50°C and 50% relative humidity (RH) conditions. In terms of chemical properties (water-soluble dry matter amount, pH, and titratable acidity), it was found that the method at a temperature of 45 °C in an oven dryer was more suitable. Among the thin-layer drying models, the drying data was best estimated in the sun drying method of the Page model (R^2 : 0.9996).

Methodology

Mint was purchased from a local market and stored at +4 °C until the trial. Before starting the experiment, the mints were taken to the laboratory environment and kept for 2-3 hours to reach room temperature. 36.0 ± 1.0 g were taken from the mint samples that reached the room temperature, and the moisture content was determined according to the wet basis before drying by keeping them at 105 °C for 24 h (Özbek and Dadalı, 2007). Ten leaves were chosen randomly from the mint leaves that were separated for drying. Color measurement of fresh and dried mint leaves was made with a Minolta CR-300 model color device. Four different drying methods were used in the study. These; drying methods are in the shade, in the sun, in an air conditioner, and in an oven. In the drying processes, drying air temperatures of 45, 50, and 55 °C were used in the oven. In the air conditioner, on the other hand, conditions at 50°C and 20% RH, 50°C and 35% RH, and 50°C and 50% RH conditions were used. Drying experiments were weighed at certain time intervals and continued until the final moisture value of the plant material reached the level of 10-13% according to the wet base. Experiments were carried out in 3 replications. Approximately 60g of mint was placed in the samples.

Within the scope of the study, the amount of water-soluble dry matter (Brix), pH, and titratable acid (TA) analyzes were performed on the fresh and after drying samples of the mint plant. The samples taken were diluted with distilled water at a certain ratio (20 times for fresh samples and 40 times for dried samples). In the SÇKM analysis, After the test material was homogenized, it was passed through a fine-mesh filter paper, and the first drops were taken on a hand refractometer (0-53 scale, Refractometer PAL-1) calibrated based on pure water, and the results were expressed as '%'. pH analysis; The homogenized mint plants were measured by direct immersion of the glass electrode with a pH meter. In TA analysis, The acidity of the plant was expressed in citric acid using the pH meter method and expressed as % (Cemeroğlu, 2007). Then, mathematical modeling was done on the dried mint data using a statistical analysis program. The three most suitable models (Page, Lewis, and Wang Singh) equations were selected for drying, and a comparison was made between them. The data were processed in the SPSS 26.0 program. A multiple comparison test (Duncan) was performed to determine how statistically the color values of all dried samples could preserve the properties of the fresh ones.

Results and Conclusions

In this study, mint, a medicinal and aromatic plant, was dried in different drying methods, and the most suitable method was determined in terms of chemical and color properties. Drying trials were carried out in an oven, air conditioner, sun, and shade. In the drying processes, the drying air temperatures of 45, 50, and 55 °C were studied in the oven. In the air conditioner, 20%, 35%, and 50% RH (humidity) conditions were used at a constant temperature of 50°C. As a result of the trials, some quality characteristics (color, pH, TA, Brix) were examined, and the results were compared.

When the results obtained within the scope of the experiment were examined, it was determined that the shortest drying time was 3.5 hours with the sun drying method, and the longest drying time was 81.5 hours with the shade drying method. The relative humidity and temperature difference between the methods affected the drying times. Drying time is directly proportional to temperature and inversely proportional to relative humidity. In other words, the drying time decreased as the temperature increased, and the drying time increased as the relative humidity increased. In terms of color criteria, the method that best preserves the properties of fresh mint was determined in the air conditioner at 50°C and 50% RH conditions. In terms of chemical properties (water-soluble dry matter amount, pH, and titratable acidity), it was found that the method at a temperature of 45 °C in an oven dryer was more suitable. Among the thin-layer drying models, the drying data was best estimated in the sun drying method of the Page model (R^2 : 0.9996).

Yazarların Biyografisi



Hakan POLATCI

2005 yılında Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Teknolojisi Bölümü'nden mezun oldu. 2008 yılında "Farklı Kurutma Yöntemlerinin Reyhan (*Ocimum basilicum*) Bitkisinin Kuruma Süresine ve Kalitesine Etkisi" başlıklı yüksek lisans tezini aynı üniversitenin Tarım Makinaları Bölümü'nde tamamlamıştır. "Tokat İlinde Güneş Enerji Destekli Isı Pompalı Bir Kurutucu Sistem Geliştirilmesi ve Domates Kurutma Performansının Farklı Kurutma Sistemleri ile Karşılaştırılması" başlıklı doktora tezini 2013 yılında tamamlayarak doktor unvanını almaya hak kazanmıştır. 2021 yılında doçent unvanını almış olup halen Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü'nde doçent olarak çalışmaktadır. Tarımsal ürünlerin kurutulması üzerinde pek çok ulusal ve uluslararası çalışması bulunmaktadır.

İletişim mail@hakan.polatci@gop.edu.tr
ORCID Adresi <https://orcid.org/0000-0002-2071-2086>



Burcu AKSÜT

2016 yılında Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. "Farklı Basınçlarda R404a Gazı Kullanılan Bir Soğutma Sistemi Performansının Belirlenmesi" başlıklı Yüksek Lisans tezini 2019 yılında aynı üniversitenin Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı'nda tamamlamıştır. Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 2019 yılında doktora eğitimine başlamış olup halen doktora çalışmalarına devam etmektedir.

İletişim mail@burcu.aksutt@gmail.com
ORCID Adresi <https://orcid.org/0000-0002-2732-5388>

Kırmızı Kıvırcık Yaprak Salatanın Farklı LED Işık Kaynaklarındaki Gelişim Parametrelerinin İncelenmesi

Investigation of the Growth Parameters of Red Curly Leaf Lettuce in Different LED Light Sources

Ahmet Şahin¹, İsmail Boyar^{1,*}, Mehmet Torun², Nuri Çağlayan³, Can Ertekin¹

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

² Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye.

³ Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye.

* Corresponding author (Sorumlu Yazar): İ. Boyar, e-mail (e-posta): ismailboyar@akdeniz.edu.tr

Makale Bilgisi

Alınış tarihi : 21.09.2021
Düzeltilme tarihi : 25.01.2022
Kabul tarihi : 07.02.2022

Anahtar Kelimeler:

Yapay Aydınlatma
LED Işık Kontrolü
Marul

Atf için:

Şahin, A., Boyar, İ., Torun, M., Çağlayan, N., Ertekin, C., (2022). "Kırmızı Kıvırcık Yaprak Salatanın Farklı LED Işık Kaynaklarındaki Gelişim Parametrelerinin İncelenmesi", *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 8(1): 9-24.

ÖZET

Bu çalışmada farklı dalga boylu ışık kaynaklarının kırmızı kıvırcık yaprak salata (*Lactuca sativa* var. Crispa) bitkisinde büyümeye olan etkileri incelenmiş ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Çalışma, 6 adet bölme (A, B, C, D, E ve F) içindeki dörder saksıda üçer adet ekili olan tohum olmak üzere toplam 12 tekrerrür ile sürdürülmüştür. Işık kaynakları 16 saat gündüz, 8 saat gece olacak şekilde ayarlanmış ve ortam sıcaklığı 24°C'de sabit tutulmuştur. Araştırmada tek renk LED ışık kaynakları; soğuk beyaz (A), sıcak beyaz (C), kırmızı (B) ile karışım LED ışık kaynakları; [%33.3 kırmızı + %16.7 uzak kırmızı + %16.7 Yeşil + %16.7 mavi + %16.6 UVA] (E) ve [%50 kırmızı + %50 mavi] (F) olmak üzere 5 farklı LED ve soğuk beyaz floresan lamba (D) kullanılmıştır. Deneme sonuçlarına göre, yaprak boyu en uzun bitki, "B", en geniş yapraklı bitkiler, "D", yaprak sayısı en çok olan bitkiler ise "C, D, F" bölmelerindeki denemelerde elde edilmiştir. Renk kriterlerinin belirlenmesinde kullanılan Lab skalasına göre istatistik açıdan a ve b değerleri önemsiz çıkarken L değeri en yüksek olan bölmeler "B, D, E" bölmelerinde yetişen marullardır. Yaprak boğum arası mesafe, yaprak sayısı, rengi ve görselliği açısından ticari olarak satışı sunulan aynı tür marula en yakın parametreleri veren "F" ışık bölgesinde yetişen marullar olmuştur.

Article Info

Received date : 21.09.2021
Revised date : 25.01.2022
Accepted date : 07.02.2022

Keywords:

Artificial Lighting
LED Light Control
Lettuce

How to Cite:

Şahin, A., Boyar, İ., Torun, M., Çağlayan, N., Ertekin, C., (2022). "Investigation of the Growth Parameters of Red Curly Leaf Lettuce in Different LED Light Sources", *Journal of Agricultural Machinery Science*, 8(1): 9-24.

ABSTRACT

In this study, the effects of light sources of different wavelengths on the growth of red curly leaf salad (*Lactuca sativa* var. Crispa) plants were examined and the results were discussed. The study was carried out with a total of 12 repetition, each three sowed seeds in four pots in 6 compartments (A, B, C, D, E and F). The light sources were adjusted to be 16 hours of daytime and 8 hours of night, and the ambient temperature was kept constant at 24°C. Single color LED light sources in the research; Mixed LED light sources with cool white (A), warm white (C), red (B), [33.3% red + 16.7% far red + 16.7% green + 16.7% blue + 16.6% UVA] (E) and [50% red + 50% blue] (F) 5 different LEDs and cool white fluorescent lamps (D) were used. According to the results of the experiment, the plants with the longest leaf length were obtained in the "B", the plants with the widest leaves were obtained in the "D", and the plants with the highest number of leaves were obtained in the "C, D, F" compartments. According to the Lab scale used to determine the color criteria, while a and b values are statistically insignificant, the groups with the highest L value is the lettuce grown in the "B, D, E" group. Lettuce grown in "F" light group gave the closest parameters to the same type of lettuce offered for sale in terms of distance between leaf nodes, number of leaves, color and visuality.

1. GİRİŞ

Tarım alanları, erozyon, sel, bilinçsiz kullanım ve imara açılması gibi sebeplerden dolayı gün geçtikçe azalmakta ve dünya nüfusu ise her geçen yıl daha fazla artış göstermektedir (Bayhan ve Avcı, 2019). Bu kapsamda gıdaya olan talep her geçen gün artış gösterirken, tarımsal üretimde verimi artırmaya yönelik birçok çalışma yapılmaktadır. Yem bitkilerinin yeşil gübre olarak (Özyazıcı ve Manga, 2000), farklı ışık, ışık şiddetleri ve gölgeleme (Öztürk ve Demirsoy, 2004; Odabaş ve Gülümser, 2005; Kırbay ve Özer, 2015; Çakırer ve ark., 2017; Çağlayan ve Ertekin, 2018), farklı ekim parametreleri (Bozkurt ve Kurt, 2007; Şaman ve Öztürk, 2012), farklı doz ve çeşitlerde gübre (Öz, 2002; Söğüt, 2005; Ünlü ve Padem, 2009; Şahin, 2010), farklı çözücü bakteriler (Çakmakçı, 2005(a); Çakmakçı, 2005(b)) ve farklı sulama yöntemlerinin (Karaşahin ve Sade, 2011) kullanımı gibi alanlarda verim ve gelişim parametrelerinin incelendiği birçok çalışma ve araştırmalar bulunmaktadır.

Bitki yetiştirmeye elverişli olmayan zaman ve mekanlarda ürün yetiştiriciliğinin yapılmak istenmesi, kontrol edilebilir yapay yetiştirme ortamlarının gelişmesine sebep olmuştur. Burada kontrol altında tutulması gerekenler arasında sıcaklık, nem ve ışık en önemli faktörler arasındadır. Sıcaklık, ışık ve nem değerleri belirli sabit değerler arasında yer alırken (Sağlam, 2021) ışık konusunda gelişen teknolojiler ve çeşitli varyasyonlardan dolayı halen çalışmalar devam etmektedir (Yücesan ve Olutaş, 2019).

Yetersiz ışık alan bölgelerde ilave aydınlatma veya tam yapay ortamlar için geleneksel ışık kaynaklarının kullanımı halen yaygın olsa da LED'lerin, bitki yetiştirme teknolojilerindeki hızlı gelişmeler sayesinde geleneksel ışık kaynaklarının yerini almaya başladığı gözlemlenmektedir. Bu rol değişiminde LED'lerin uzun ömürlü ve verimli olması, teknolojik üstünlükleri ile ışık spektrum özellikleri yanında fiyatlarındaki düşüş etkili olmaktadır. LED lambalar, çiçek, sebze, meyve, aşılansız fide, mikro yeşillik, tıbbi ve aromatik bitkilerin üretiminde sıklıkla kullanılmaktadır (Çağlayan ve Ertekin, 2011).

Bitkisel üretimde kullanılan LED lambalardan yayılan fotonlar, geniş spektrum lambalara göre farklılıklar içermekte ve özellikle kırmızı LED'lerin geleneksel yapay ışık kaynaklarına göre daha az fotosentetik olmayan ışınım yaydıkları görülmektedir. Kırmızı renkli yüksek güçlü AlGaP tabanlı LED'lerin verdiği 640-660 nm dalga boyundaki ışık, bitkiler için gerekli olan PAR (Photosynthetically Active Radiation) enerjisinden yararlanma etkinliğinin artmasını sağlamaktadır (Berkovich ve ark., 2005). Daha önce yapılan çalışmalara göre, ~640 nm (Lefsrud ve ark., 2008; Samuolienė ve ark., 2012a; Žukauskas ve ark., 2011; Samuolienė ve ark., 2012b) veya ~660 nm (Brazaitytė ve ark., 2006; Mizuno ve ark., 2011; Tarakanov ve ark., 2012; Wojciechowska ve ark., 2015; Chen ve ark., 2016) kırmızı LED dalga boyları marul ve diğer yeşil sebzelerin yetiştirilmesinde en yaygın kullanılan dalga boylarıdır. Samuolienė ve ark. (2009), bir serada doğal ışıklandırmaya ek olarak üç gün süren ~640 nm kırmızı LED ışık ile, marulda karbonhidrat içeriğini ve antioksidan kapasitesini artırmış ve istenmeyen nitrat içeriğini baskılayabilmişlerdir. Kırmızı ışık altında yetişen yeşil yapraklı marul türlerinde antioksidan aktivitesindeki artış, ışık dahil çevresel etkilere karşı koruma sağlayan ve doğal olarak daha yüksek seviyelerde antioksidanlar içeren kırmızı yapraklı türlere göre daha belirgin ortaya çıktığı görülmüştür (Carvalho ve Folta, 2014). Bununla birlikte, kırmızı veya uzak kırmızı (730-750 nm) ışınımdaki değişiklikler ve bunların oranları fitokromlar tarafından algılanmaktadır (Demotes – Mainard ve ark., 2016) ve bu durum bitkilerdeki fotomorfolojik süreçleri etkileyebilmektedir. Uzak kırmızı LED ışığı, kırmızı (Stutte ve ark., 2009; Lee ve ark., 2015) veya kırmızı + mavi LED birleşimiyle

(Lee ve ark., 2016) veya soğuk beyaz floresanla (Li ve Kubota, 2009) birlikte uygulandığında, marulun büyüme özellikleri üzerinde biyokütle ve yaprak uzunluğunu artırıcı yönde etkileri olurken, klorofil, antosiyanin ve karotenoid konsantrasyonlarını olumsuz yönde etkilediği görülmüştür.

Kırmızı ışık, fotosentezi etkin bir şekilde yönlendirmesine rağmen, düzenli büyümeyi sağlamak, aşırı uzamış gövde ve gölgeden kaçınma tepkilerini en aza indirmek için genellikle mavi ışıkla birlikte kullanılması gereklidir (Snowden ve ark., 2016). Mavi ışık kriptokrom sistemini harekete geçirir ve klorofil ile karotenoid uygun ışıkla karşılaşmış olur. Böylelikle mavi ışık, yeşil sebzelerde büyüme, fotosentez ve antioksidan sistemi üzerinde önemli etkiler göstermektedir (Olle ve Viršilė, 2013). Mavi LED'ler (440-476 nm) tek veya kırmızı LED'ler ile birlikte kullanıldığında marul (Johkan ve ark., 2010; Lin ve ark., 2013), ıspanak (Matsuda ve ark., 2007; Ohashi - Kaneko ve ark., 2007), kişniş (Naznin ve ark., 2016) ve Çin lahanası (Li ve ark., 2012) bitkilerinde yaprak alanının genişlemesi ve biyokütle birikimini artırıcı yönde etki etmektedir. Mavi ışığın artmasının, büyüme üzerinde, klorofil miktarında ve fotosentezde artışı teşvik eden etkileri olmaktadır (Yorio ve ark., 2001; Carvalho ve Folta, 2014).

Kıvırcık yaprak salata Asteraceae (Compositae) familyasındaki *Lactuca* cinsine dahildir. Bir serin iklim bitkisi olan, açıkta ve örtü altında değişik mevsimlere uygun olarak ıslah edilmiş çeşitlerle yılın her mevsiminde yetiştirilmesi mümkün olan bu bitki, ülkemizde genellikle salata yapımında kullanılmaktadır. Enfeksiyonu tedavi etme ve salisilik asit içerme gibi özellikleri bulunmaktadır. Bu çalışmada, doğal gün ışığı almayan tam kapalı bölmelerdeki saksılarda kırmızı kıvırcık yaprak salatanın (*Lactuca sativa* var. *Crispa*) farklı dalga boylu LED ve floresan ışık kaynakları altındaki büyüme ve gelişme parametreleri incelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Bu çalışma, Antalya ili, Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında 500x500x1000 mm boyutlarında hazırlanan 6 adet yetiştirme bölgesinde 2 litrelik saksılarda yetiştirilen kırmızı kıvırcık yaprak salata bitkisi *Lactuca sativa* var. *Crispa* üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Denemelerin sürdürüldüğü 6 adet bölmenin beşinde LED aydınlatma ve birinde de kontrol grubu olarak 6500 K soğuk beyaz ışık veren 23 W gücünde kompakt floresan lambalar kullanılmıştır. Çalışmada sıcak beyaz ışık (SıB) için 2700 K (E27, G45, 90-260 V) LED ampül (Şekil 1) kullanılırken, diğer dalgaboyları için soğutucu üzerine montajı yapılmış yüksek güçlü LED diyotlar kullanılmıştır (Şekil 2 ve 3). Çalışmada kullanılan LED'lerin teknik özellikleri Çizelge 1'de, verilmiştir.

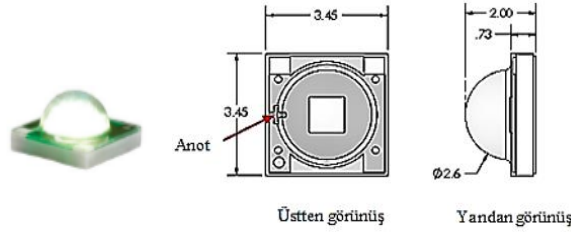
Çizelge 1. Çalışmada kullanılan LED'lerin teknik özellikleri

LED Işık Rengi	Dalgaboyu (nm)	Işık Akısı (lm)	Güç (W)	Çalışma Gerilimi (V)	Çalışma Akımı (A)
Sıcak Beyaz (SıB)	400-700/2700K	425	4	3.1	350
UVA	405-410	12	3	3.1	700
Mavi (M)	460-470	30	1	3.1	350
Yeşil (Y)	520-530	100	1	3.1	350
Kırmızı (K)	650-670	50	1	2.2	350
Uzak Kırmızı (UK)	720-750	52	1	2.2	350

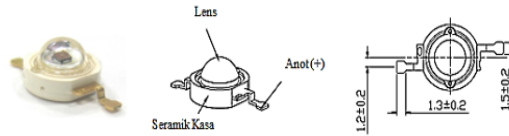
Çalışmada tek renk; K, SoB ve SıB LED aydınlatmalar ile karışık renkli; [%50 M + %50 K], [%33.3 K + %16.7 UK + %16.7 Y + %16.7 M + %16.6 UVA] aydınlatma düzenekleri oluşturulmuştur (Şekil 4).



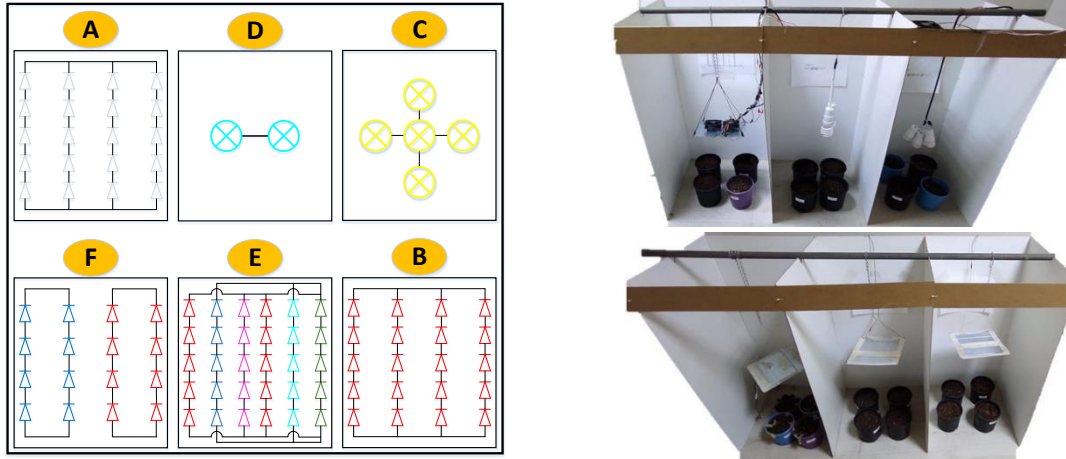
Şekil 1. SıB 4W E27 LED lamba



Şekil 2. SoB, K, M, Y, UK LED ve ölçüleri (XLamp XP-C, Cree Inc.2021)



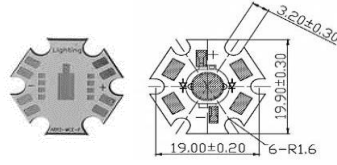
Şekil 3. UVA LED ve ölçüleri (Edixeon S, Edison Opto inc. 2021)



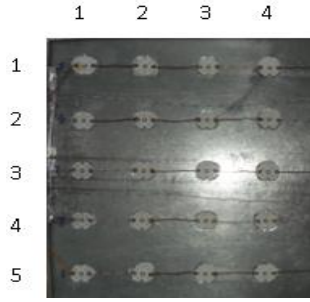
Şekil 4. Bölmelerde kullanılan tek renk (%100) aydınlatma düzenekleri: SoB (A), K (B), SıB (E27, G45, 90-260 V) LED lamba (C), kontrol grubu floresan (D) ve karışık renkli aydınlatma düzenekleri: [%33.3 K + %16.7 UK + %16.7 Y + %16.7 M + %16.6 UVA] (E) ve [%50 M + %50 K] (F).

Yüksek güçlü LED'ler uygun soğutucusu olmadan çalıştırılmaları zarar görmelerine neden olacağından, tüm LED'ler yıldız alüminyum soğutucular üzerine lehimlenmiştir (Şekil 5). Yıldız tip soğutuculu LED'ler 400x400 mm ölçülerindeki metal levhalar üzerine 25 mm aralıklarla yerleştirilmiştir (Şekil 6). Levhalar üzerindeki LED'ler seri ve paralel bağlantılarla birbirlerine bağlanmış, böylece her bölme için ayrı LED aydınlatma düzenekleri (lamba) oluşturulmuştur. Lambalar, bitki yüzeyinden yüksekliği ayarlanabilir olacak şekilde bölmelerin tavanından asılarak

yerleştirilmiştir. Bölmelerin iç yüzeyleri beyaz renkli folyo ile kaplanmış ve iç ortamda hava akışını sağlamak amacıyla 80x80x25 mm boyutlarında fanlar (1400 d/d, 12 V_{dc}, 0.15 A) yerleştirilmiştir. Lambaların yanma ve sönmeye sürelerinin ayarı için ise bir zaman saati kullanılmıştır.



Şekil 5. LED'ler için kullanılan yıldız tipi alüminyum soğutucu ve ölçüleri.



Şekil 6. Metal levha üzerindeki (SoB) LED yerleşimi.

LED dizileri için gereken çalışma gerilimi, akımı ve harcanan güç değerleri Eşitlik 1, 2 ve 3'e göre hesaplanmıştır.

$$V_f = V_{LED} \cdot L_s \quad (1)$$

$$I_f = I_{LED} \cdot L_p \quad (2)$$

$$P_f = V_f \cdot I_f \quad (3)$$

Eşitliklerde, V_f LED dizisinin çalışma gerilimini (V); I_f LED dizisinin çalışma akımını (A); P_f LED dizisinin harcadığı toplam gücü (W); V_{LED} bir LED için doğru yön besleme gerilimini (V), I_{LED} bir LED için gerekli doğru yön besleme akımını (A), L_s LED dizisindeki seri bağlı LED sayısını ve L_p paralel hat sayısını göstermektedir. Buna göre;

A bölümünde 20 adet SoB LED bulunmaktadır. LED dizisi bu grupta gerilimi daha düşük tutmak için 4 paralel kola ayrılmıştır. Her kolda 5 adet LED bulunduğu için koldaki toplam gerilim 15.5 V ve geçen akım 350 mA'dir. Bu durumda, A bölümü için hazırlanan SoB LED aydınlatma için kullanılan güç kaynağı 15.5 V@1400 mA sağlamaktadır.

B bölümünde 20 adet K LED bulunmaktadır. LED dizisi bu grupta gerilimi daha düşük tutmak için 4 paralel kola ayrılmıştır. Her kolda 5 adet LED bulunduğu için koldaki toplam gerilim 11 V ve geçen akım 350 mA'dir. Bu durumda, B bölümü için hazırlanan K LED aydınlatma için kullanılan güç kaynağı 11 V@1400 mA sağlamaktadır.

C bölümünde 5 adet SıB için 2700 K, E27, G45 tipi LED lamba kullanılmıştır. Lambaların herbiri 220V ve 4 W gücündedir.

D bölümünde 2 adet 6500 K, E27 tipi floresan lamba kullanılmıştır. Lambaların her biri 220V ve 23 W gücündedir.

E bölümünde 10 adet K, 5 adet UK, 5 adet M, 5 adet Y ve 5 adet UVA LED bulunmaktadır. Karışımdaki K LED dizisi paralel 2 kola ayrılmıştır. Her paralel koldaki gerilim 11 V ve dizi için gerekli toplam akım 700 mA'dır. Bu nedenle K dizisi için 11V@350mA sağlayan güç kaynağı kullanılmıştır. UK dizisi için 11 V@ 350 mA, M ve Y dizileri için 15.5 V@350 mA ve UVA LED dizisi için ise, 15.5 V@700 mA sağlayan güç kaynağı kullanılmıştır.

F bölümünün aydınlatması için, K ve M dizileri kullanılmıştır. K LED dizisi paralel 2 kola ayrılmıştır. Her paralel koldaki gerilim 11 V ve dizi için gerekli toplam akım 700 mA'dır. Bu nedenle K dizisi için 11V@700mA sağlayan güç kaynağı kullanılmıştır. Benzer şekilde, M LED dizisi paralel 2 kola ayrılmıştır. Her paralel koldaki gerilim 15.5 V ve dizi için gerekli toplam akım 700 mA'dır. Bu nedenle M dizisi için 15.5 V@700mA sağlayan güç kaynağı kullanılmıştır.

Denemelerde PAR ölçümleri bitkilerin üzerinden yapılmış ve ölçümlerde Apogee MQ-510 [389-692 nm; 0-4000 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, görüş alanı: 180°] tam spektrum quantum ölçer (Şekil 7) kullanılmıştır (Apogee inc., 2021).



Şekil 7. PAR ölçer (Apogee, MQ-510)

Saksılarda yetiştirme ortamı olarak Hindistan cevizi kabuğu (coco-peat) kullanılmıştır. Ortamın içerik değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Hindistan cevizi kabuğu (Coco peat) içerik analiz verileri

Yetiştirme Ortamının İçerik Analizi

	%		ppm		Çözünmüş
Azot (N)	0.51	Demir (Fe)	289	H	5.1-6.4
Fosfor (P)	0.09	Mangan (Mn)	18.4	P	10-20 ppm
Potasyum (K)	1.87	Bor (B)	18.1	K	40-100 ppm
Kalsiyum (Ca)	0.30	Bakır (Cu)	17.3	Ca	30-50 ppm
Magnezyum (Mg)	0.11	Çinko (Zn)	17.9	Mg	10-20 ppm
Sülfür (S)	0.10				

2.2. Yöntem

Araştırmanın yürütüldüğü her aydınlatma bölümünde 4 saksı ve her saksıda 8 marul (kırmızı kıvrıkcık yaprak salata (*Lactuca sativa* var. Crispa) tohumu 4-8 mm derinliğe ekilmiş, çimlenme sonrası ise en iyi 3 filiz kalacak şekilde seyreltme işlemi uygulanmıştır.

Denemeler, 24°C sıcaklık ve %60 \pm 5 bağıl nem koşullarında, 16 saat aydınlık (gündüz), 8 saat karanlık (gece) olacak şekilde kurulmuş ve ekim işleminden itibaren toplam 57 günlük deneme süresinde 150 \pm 10 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ PAR uygulanmıştır. Bitkiler üzerinde 2 gün aralıkla yaprak sayısı (adet), yaprak eni (mm), yaprak boyu (mm), boğum arası mesafe (mm) ölçümleri alınarak gelişimleri takip edilmiştir. Deneme sonunda ise, köklü ve köksüz yaş kütleler (g), kuru madde miktarı (%), kök uzunlukları (mm), klorofil a ve b (mg/g) değerleri ölçülmüştür. Ölçümlerde, uzunluklar için 0.01 mm hassasiyetli kumpas, kütleler için hassas terazi ve renk ölçümü için PCE-CSM 3 renk ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 8). Gıdalarda renk ölçümleri L, a, b değerleri ile ifade edilmektedir. Burada "L"

parlaklığı, “a” kırmızı ve yeşili, “b” ise sarı ve mavi renk tonlarının derecesini ifade etmektedir. Parlaklık (L) 0 ile 100 arasında değer almaktadır (Üren, 1999).



Şekil 8. Deneme sonunda yapılan ölçümler

Deneme sonunda kırmızı kıvrıkcık yaprak salata bitkilerinden, 0.25 g örnek alınarak, %80'lik hazırlanmış aseton ile homojenizatörde parçalandıktan sonra %80'lik aseton ile 25 ml'ye tamamlanmıştır. Tamamlanan örnekler daha sonra kaba filtre kağıdından filtre edildikten sonra spektrofotometre cihazında 663 ve 645 nm dalga boylarında okunmuştur. Hesaplamalar için aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır.

$$\text{Klorofil a (mg/g)} = (12.7 \times D_{663}) - (2.69 \times D_{645}) \times V / W \times 1000 \quad (4)$$

$$\text{Klorofil b (mg/g)} = (22.91 \times D_{645}) - (4.68 \times D_{663}) \times V / W \times 1000 \quad (5)$$

Burada, V, ekstrakt hacmi (ml), W, bitki kütlesi (g)'dir.

Bitkiler gelişimini tamamlayıp saksılardan ayırdıktan sonra kuru madde oranının belirlenmesi için, her ışık bölmesinde yetişen marullardan üçer tekerrürlü örnekler alınarak 105°C'de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuş ve kuru madde oranları Eşitlik 6'da ki gibi yapılmış ve istatistiki açıdan değerlendirilmiştir;

$$\%N_y = \frac{W_s}{W_s + W_k} \times 100 \quad (6)$$

N_y = Yaş baza göre nem içeriği (%)

W_s = Su ağırlığı (g)

W_k = Kuru madde ağırlığı (g)

Yapılan denemeler dörder saksıda üçer fide olmak üzere toplamda 12 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiş ve araştırmadan elde edilen sonuçların arasındaki farkın olup olmadığını belirlemek için SPSS paket programında istatistiksel analizler yapılmıştır. İstatistiksel olarak önemli bulunan parametrelerin karşılaştırılmasında, denemede elde edilen verilerin değerlendirilmesi ve varyans analizlerinde (ANOVA) SPSS (Version 17; Chicago, IL, USA) istatistik yazılımı kullanılmıştır. Ortalamaların karşılaştırılması Duncan testine göre $p \leq 0.01$ düzeyinde yapılmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Çalışma süresi boyunca belirli periyotlarla fotoğrafları çekilen saksılar ve çalışma sonundaki tekerrürlere bağlı kök uzunlukları Şekil 9’da görülmektedir.



Şekil 9. Marul bitkilerinin gelişimi ve tekerrürler

Yapılan ölçüm sonuçlarına göre, en yüksek klorofil a ve b değerleri A bölümünde, en düşük değerler ise E bölümünde elde edilmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Klorofil a ve b ölçüm sonuçları

Bölmeler	Klorofil a (mg/g)	Klorofil b (mg/g)
A	545.38	184.67
B	372.57	138.17
C	440.42	163.41
D	459.17	141.38
E	349.45	116.98
F	489.93	155.53

Farklı ışık kaynaklarının, yaprak boyu, yaprak eni, boğum arası mesafe ve yaprak sayısı üzerine etkisinin istatistiki açıdan önemli olduğu bulunmuştur (Çizelge 4). Duncan karşılaştırma testi sonuçlarına göre “B” ışık kaynağında yetiştirilen marulların en fazla yaprak boyuna, “D” ışık kaynağında yetiştirilen marulların en fazla yaprak enine, “A - D - F” ışık kaynağında yetiştirilen marulların boğum arası mesafesinin en kısa olduğuna ve “C - D - F” ışık kaynağında yetiştirilen marulların en fazla yaprak sayısına sahip olduğu belirlenmiştir. Farklılıkları belirtilen ışık kaynakları, değerlendirildikleri parametrelerde diğer ışık kaynaklarında yetiştirilen marullara göre istatistiki açıdan önemlilik göstermişlerdir.

Çizelge 4. Farklı ışık kaynaklarında yetiştirilen marulların gelişim özellikleri

Bölme	Yaprak boyu (mm)	Yaprak eni (mm)	Boğum arası mesafe (mm)	Kök uzunluğu (mm)	Köklü yaş kütle (g)	Köksüz yaş kütle (g)	Yaprak sayısı (adet)
A	176.25 ^{ab*}	107.06 ^b	0 ^a	122.84	16.03	14.23	9.33 ^{bc*}
B	324.58 ^e	97.49 ^a	22.45 ^c	125.30	17.45	15.45	8.50 ^b
C	222.50 ^c	105.47 ^{ab*}	2.87 ^b	149.35	23.31	15.43	9.91 ^{bcd*}
D	198.75 ^b	116.78 ^c	0 ^a	172.25	14.69	13.35	10.58 ^{cd*}
E	287.92 ^d	108.52 ^b	41.25 ^d	121.95	9.05	8.38	5.58 ^a
F	168.33 ^a	98.24 ^a	0 ^a	154.65	16.83	15.14	11.16 ^d
	**	**	**	Önemsiz	Önemsiz	Önemsiz	**

* Duncan çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre aynı harfi taşıyan ortalamalar arasındaki farklılık önemsizdir.

** P<0.01

Çalışma sonunda, marul yapraklarının renk parametrelerinden sadece L değeri üzerine etkisinin istatistiki açıdan önemli olduğu (P<0.01), en yüksek L değerinin “B - D - E” bölmelerindeki ışık kaynaklarında yetiştirilen marullarda olduğu görülmüştür (Çizelge 5).

Çizelge 5. Farklı ışık kaynaklarında yetiştirilen marulların renk özellikleri

Bölme	L	a	b
A	39.34 ^a	-4.48	23.73
B	46.22 ^c	-6.07	26.35
C	41.30 ^a b*	-5.47	25.29
D	42.31 ^a bc*	-5.39	25.47
E	44.59 ^b c*	-6.54	25.69
F	41.15 ^a b*	-5.72	24.61
	**	Önemsiz	Önemsiz

* Duncan çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre aynı harfi taşıyan ortalamalar arasındaki farklılık önemsizdir

** P<0.01

Farklı ışık ve ışık grubu uygulamalarının kuru madde oranı üzerine etkileri istatistiki açıdan önemli bulunmuştur (P<0.05). Duncan karşılaştırma testi sonuçlarına göre en yüksek kuru madde oranı “B” bölümünde yetiştirilen marullarda görülürken, en düşük ise “A - C - E - F” bölümünde yetiştirilen marullarda görülmüştür (Çizelge 6).

Çizelge 6. Farklı ışık kaynaklarında yetiştirilen marulların kuru madde oranları

Bölme	Kuru Madde Oranı (%)
A	4.84 ^a
B	6.57 ^c
C	4.97 ^{ab*}
D	6.06 ^{bc*}
E	4.93 ^a
F	5.19 ^{ab*}
	**

* Duncan çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre aynı harfi taşıyan ortalamalar arasındaki farklılık önemsizdir

** P<0.05

Köksal ve ark., (2013), LED aydınlatma sisteminin domates bitkisinin gelişim parametrelerinde oluşturacağı değişiklikler üzerine yaptıkları çalışmada, kırmızı turuncu LED ışığın ek aydınlatma olarak verilmesinin, bitki boyu, yaprak sayısı, çiçek sayısı ve biyokütle ağırlığı bakımından istatistiki olarak önemli farklılıklar yarattığını gözlemlemiştir. Bice Ataklı, (2018), yaptığı lisansüstü çalışmada, farklı renkteki LED ışıkların (mavi, sarı, kırmızı, mavi+sarı, mavi+kırmızı, sarı+kırmızı, mavi+sarı+kırmızı) topraksız tarımda kıvırcık yapraklı baş salata ve biberde, bitki gelişimlerini incelemiştir. Sonuç olarak, kırmızı ve mavi ışık kaynakları ve bunların kombinasyonlarının verim ve bitki gelişimini artırdığını tespit etmiştir. Efe, (2014), kıvırcık yapraklı salata yetiştiriciliğinde ilave LED kullanımının verim, kalite ve bitki gelişimine olan etkileri üzerine lisansüstü bir çalışma gerçekleştirmiştir. Farklı renk ve karma renklerden oluşan deneme sonuçlarına göre, bitki ağırlığı, yaprak sayısı, C vitamini, yaprak rengi gibi birçok parametrenin değişkenlik gösterdiğini tespit etmiştir. Sonuç olarak, mavi + sarı + kırmızı ışık kombinasyonunun verim ve bileşenlerini artırırken nitrat içeriğini düşürdüğünü belirlemiştir.

Yapılan benzer çalışmalar incelendiğinde LED ışıkların bitkilerin gelişim parametreleri yönünde farklı sonuçlara yol açtığı görülmektedir. Özellikle yaprakları yenen yeşil bitkiler incelendiğinde, farklı ışık kombinasyonlarının bu çalışmada olduğu gibi gelişim parametrelerini olumlu yönde etkilediği gözlemlenmiştir.

4. SONUÇ

Araştırmada bitkilerin farklı LED kombinasyonları ve floresan lamba ışıkları altında 57 günlük süre boyunca gelişimleri incelenmiştir. Yapılan istatistiki analizler sonucunda farklı ışık kaynaklarının, kırmızı kıvırcık yaprak salatanın gelişim parametreleri üzerinde olumlu ve olumsuz birçok sonuca yol açtığı görülmüştür. Sonuç olarak özellikle soğuk beyaz ve sıcak beyaz LED ışıkların birlikte veya yetiştirme dönemine göre sırayla kullanılmasının verimde önemli artışlar sağlanabileceği anlaşılmaktadır. Pazarlanabilir yaprak sayısı açısından bölmeler incelendiğinde "A" ve "F" bölmesinde yetiştirilen bitkilerin öne çıktığı görülmektedir. Ayrıca renginden dolayı kırmızı kıvırcık yapraklı olarak bilinen bu çeşit yapay aydınlatma koşulları altında neredeyse tamamen yeşil bir yaprak rengine sahip olmuştur. Sadece "A ve F" bölmelerinde yetiştirilen marulların yaprak uçlarında hafif kızarıklık tespit edilmiştir. Bu kapsamda kırmızı kıvırcık yapraklı salatanın farklı ışık kaynakları altındaki renk değişimlerinin incelenmesi üzerine yeni çalışmalar yapılması literatüre katkıda bulunacaktır. Gelecek çalışmalarda roka, tere, maydanoz vb. yaprağı yenen bitkiler için de denemeler yapılabilir ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

- Apogee inc., 2021. MQ-510 Fotosentezde Aktif Işınım (PAR: Photosynthetically Active Radiation (PAR)) ölçer teknik dokümanı. <https://www.apogeeinstruments.com/content/MQ-510-manual.pdf>. (Erişim Tarihi: Mayıs 2021)
- Bayhan, Y. ve Avcı, Z. 2019. Örtü Altı Sebze Yetiştiriciliğinde LED Aydınlatma Sistemlerinin Bitki Gelişimine ve Verimine Etkisinin Belirlenmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 17: 86-95.
- Berkovich, Y.A., Krivobok, N.M., Smolyanina, S.O. ve Erokhin, A.N. (2005). Kosmicheskie oranzherei: nastoyashchee budushchee (Space Greenhouses: Now and in Future), Russia.
- Bice Ataklı, S. 2018. Topraksız Tarımda Kıvrıkcık Yapraklı Baş Salata ve Biberde Led Aydınlatmanın Verim, Bitki Gelişimi, Mineral Madde Alımı ve Yaprak Nitrat Birikimine Etkisi. Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Tokat. S:58-62.
- Bozkurt, D. ve Kurt, O. 2007. Keten (*Linum usitatissimum* L.)'in Verim ve Verim Unsurlarına Ekim Zamanı ve Toprak Sıcaklığının Etkisi. OMÜ Zir. Fak. Dergisi, 22 (1): 20-25.
- Brazaitytė, A., R. Ulinskaitė, P. Duchovskis, G. Samuolienė, J. B. Šikšnianienė, G. Šabajevienė, K. Baranauskis, G. Stanienė, G. Tamulaitis, Z. Bliznikas, A. Žukauskas, 2006. Optimization of Lighting Spectrum For Photosynthetic System And Productivity Of Lettuce By Using Light-Emitting Diodes. Acta Hort 711:183-188.
- Carvalho, S. D., K. M. Folta, 2014. Environmentally Modified Organisms—Expanding Genetic Potential with Light. Crit Rev in Plant Sci 33:486-508.
- Chen, X. L., X. Z. Xu, W. Z. Guo, L. C. Wang, X. J. Qiao, 2016. Growth And Nutritional Properties Of Lettuce Affected By Mixed Irradiation Of White And Supplemental Light Provided By Light-Emitting Diode. Sci Hort 200:111-118.
- CREE Inc. (2021). XLamp LED teknik dokümanı. Cree inc. web sayfası: <http://www.cree.com/led-components/products/xlamp-leds>. Erişim tarihi: Mayıs 2021).
- Çağlayan, N. ve Ertekin, C. 2011. Bitkisel Üretim için LED Yetiştirme Lambalarının Kullanımı. Uluslararası Katılımlı I. Ali Numan Kırac Tarım Kongresi ve Fuar, 27-30.
- Çağlayan, N. ve Ertekin, C. 2018. Farklı Dalga Boylu LED Işıklarının Yeşil Yapraklı Bitkilerin Gelişimi Üzerindeki Etkileri. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 14 (2): 105-114.
- Çakırer, G., Akan, S., Demir, K. ve Yanmaz, R. 2017. Bahçe Bitkilerinde Kullanılan Işık Kaynakları. Akademik Ziraat Dergisi, 6: 63-70.
- Çakmakçı, R. 2005(a). Bitki Gelişiminde Fosfat Çözücü Bakterilerin Önemi. S. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, 19 (35): 93-108.
- Çakmakçı, R. 2005(b). Bitki Gelişimini Teşvik eden Rizobakterilerin Tarımda Kullanımı. Atatürk Üniv. Zir. Fak. Derg. 36 (1): 97-107.
- Demotes -Mainard, S., T. Peron, A. Corot, 2016. Plant Responses To Red And Far Red Lights, Applications In Horticulture. Eviron Exp Bot 121:4-21.
- Edison Opto inc. (2021). Edixeon Emitter High Power LED Datasheet. <http://www.edison-opto.com.tw> (Erişim tarihi: Mayıs 2021).

- Efe, H. 2014. Katı Ortam Kültüründe Kıvırcık Yapraklı Salata Yetiştiriciliğinde İlave Led Aydınlatma Uygulamalarının Verim Kalite ve Bitki Gelişimine Etkileri. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Tokat. S:41-42.
- Johkan, M., K. Shoji, F. Goto, S. Hashida, T. Yoshihara, 2010. Blue Light-Emitting Diode Light Irradiation Of Seedlings Improves Seedling Quality And Growth After Transplanting In Red Leaf Lettuce. HortScience 45:1809–1814.
- Karaşahin, M. ve Sade, B. 2011. Farklı Sulama Yöntemlerinin Hibrit Mısırdada (*Zea mays* L. indentata S.) Dane Verimi ve Verim Unsurları Üzerine Etkileri. U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, 25 (2): 47-46.
- Kırbay, E. ve Özer, H. 2015. Farklı Gölgeleme Uygulamalarının Örtüaltında Organik Olarak Yetiştirilen Hıyarın (*Cucumis sativus* L.) Verim ve Kalite Üzerine Etkisi. Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi, 1 (1): 7-14.
- Köksal, N., İncesu, M. ve Teke, A. 2013. LED Aydınlatma Sisteminin Domates Bitkisinin Gelişimi Üzerine Etkileri. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi 6 (2): 71-75.
- Lee, M. J., S. Y. Park, M. M. Oh, 2015. Growth And Cell Division of Lettuce Plants Under Various Ratios Of Red To Far-Red Light-Emitting Diodes. Hort. Environ Biotech 56:188–194.
- Lee, M. J., K. H. Son, M. M. Oh, 2016. Increase in biomass and bioactive compounds in lettuce under various ratios of red to far-red LED light supplemented with blue LED light. Hort. Environ Biotech 57:139–147.
- Lefsrud, M. G., D. A. Kopsell, C. E. Sams, 2008. Irradiance from distinct wavelength light-emitting diodes affect secondary metabolites in kale. HortScience 43:2243–2244
- Li, H., Tang, C., Xu, Z., Liu, X. ve Han, X. 2012. Effects of Different Light Sources on the Growth of Non-heading Chinese Cabbage (*Brassica campestris* L.). Journal of Agricultural Science, 4 (4): 262-273.
- Li, Q., C. Kubota, 2009. Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. Environ Exp Bot 67:59–64.
- Lin, K. H., M. Y. Huang, W. D. Huang, M. H. Hsu, Z. W. Yang, C. M. Yang, 2013. The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. capitata). Sci Hort 150:86–91.
- Matsuda, R., K. Ohashi-Kaneko, K. Fujiwara, K. Kurata, 2007. Analysis of the relationship between blue-light photon flux density and the photosynthetic properties of spinach (*Spinacia oleracea* L.) leaves with regard to the acclimation of photosynthesis to growth irradiance. Soil Sci Plant Nutr 53:459–465.
- Mizuno, T., W. Amaki, H. Watanabe, 2011. Effects of monochromatic light irradiation by LED on the growth and anthocyanin contents in leaves of cabbage seedlings. Acta Hort 907:179–184.
- Naznin, M. T., M. Lefsrud, V. Gravel, X. Hao, 2016. Different ratios of red and blue LED light effects on coriander productivity and antioxidant properties. Acta Hort 1134:223–229.
- Odabaş, M.S. ve Gülümser, A. 2005. Farklı ışık şiddetinin baklada (*Vicia faba* L.) verim ve bazı bitkisel özelliklere etkisi. Tarım Bilimleri Dergisi, 11 (3): 286-291.
- Ohashi-Kaneko, K., M. Takase, N. Kon, K. Fujiwara, K. Kurata, 2007. Effect of light quality on growth and vegetable quality in leaf lettuce, spinach and komatsuna. Environ Control Biol 45:189–198.

- Olle, M., A. Viršilė, 2013. The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality. *Agr. Food Sci* 22:223–234.
- Öz, M. 2002. Bursa Mustafakemalpaşa Ekolojik Koşullarında Farklı Bitki Populasyonları ve Azot Dozlarının Soyanın Verim ve Verim Unsurlarına Etkisi. *Ulud. Üniv. Zir. Fak. Derg.*, 16: 165-177.
- Öztürk, A. ve Demirsoy, L. 2004. Değişik Gölgeleme Uygulamalarının Camarosa Çilek Çeşidinde Verim ve Büyüme Üzerine Etkileri. *Bahçe*, 33 (1-2): 39-49.
- Özyazıcı, M. A. ve Manga, İ. 2000. Çarsamba Ovası Sulu Kosullarında Yesil Gübre Olarak Kullanılan Bazı Baklagil Yembitkileri ile Bitki Artıklarının Kendilerini İzleyen Mısır ve Ayçiçeğinin Verim ve Kalitesine Etkileri. *Turk J Agric For*, 24: 95-103.
- Sağlam, A. 2021. *Phytolacca americana* L. Bitkisinin Farklı Habitatlardaki Bazı Ekolojik ve Kimyasal Parametrelerinin Karşılaştırılması. Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi. S:3.
- Samuolienė, G, A. Urbonavičiūtė, P. Duchovskis, Z. Bliznikas, P. Vitta, A. Žukauskas, 2009. Decrease in nitrate concentration in leafy vegetables under a solid-state illuminator. *HortScience* 44:1857–1860.
- Samuolienė, G., A. Brazaitytė, P. Duchovskis, A. Viršilė, J. Jančiauskienė, R. Sirtautas, A. Novičkovas, S. Skalauskienė, J. Sakalauskaitė, 2012(a). Cultivation of vegetable transplants using solid-state lamps for the short-wavelength supplementary lighting in greenhouses. *Acta Hort* 952:885–892.
- Samuolienė, G., R. Sirtautas, A. Brazaitytė, A. Viršilė, P. Duchovskis, 2012(b). Supplementary red-LED lighting and the changes in phytochemical content of two baby leaf lettuce varieties during three seasons. *J Food Agric Environ* 10:7001–7706.
- Samuolienė, G., A. Brazaitytė, R. Sirtautas, A. Viršilė, J. Sakalauskaitė, S. Sakalauskienė, P. Duchovskis, 2013. LED illumination affects bioactive compounds in romaine baby leaf lettuce. *J Sci Food Agric* 93:3286–3291.
- Snowden, M. C., K. R. Cope, B. Bugbee, 2016. Sensitivity of seven diverse species to blue and green light: interactions with photon flux. *PLOS ONE* 11(10): e0163121.
- Söğüt, T. 2005. Aşılama ve Azotlu Gübre Uygulamasının Bazı Soya Çeşitlerinin Verim ve Verim Özelliklerine Etkisi. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18 (2): 213-218.
- Stutte, G. W., S. Edney, T. Skerritt, 2009. Photoregulation of bioprotectant content of red leaf lettuce with light-emitting diodes. *HortScience* 44:79–82.
- Şahin, M. 2010. Borlu Gübrelemenin Fındık Bitkisinin Verim ve Yaprakların Bazı Bitki Besin Maddesi İçerikleri Üzerine Etkisi. Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi. 1-3 s.
- Şaman, O. ve Öztürk, Ö. 2012. İkinci Ürün Susamda Farklı Bitki Sıklıklarının Verim ve Verim Unsurları Üzerine Etkileri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 5 (1): 118-123.
- Tarakanov, I., O. Yakovleva, I. Konovalova, G. Paliutina, A. Anisimov, 2012. Light-emitting diodes: on the way to combinatorial lighting technologies for basic research and crop production. *Acta Hort* 956:171–178.
- Ünlü, H. ve Padem, H. 2009. Organik Domates Yetiştiriciliğinde Çiftlik Gübresi, Mikrobiyal Gübre ve Bitki Aktivatörü Kullanımının Verim ve Kalite Özellikleri Üzerine Etkileri. *Ekoloji*, 19 (73): 1-9.

Üren, A. 1999. Üç Boyutlu Renk Ölçme Yöntemleri. *Gıda*, 24 (3): 193-200.

Wojciechowska, R., O. Długosz-Grochowska, A. Kołton, M. Żupnik, 2015. Effects of LED supplemental lighting on yield and some quality parameters of lamb's lettuce grown in two winter cycles. *Sci Horti* 187:80–86.

Yorio, N. C., G. D. Goins, H. R. Kagie, R. M. Wheeler, J. C. Sager, 2001. Improving spinach, radish and lettuce growth under red light emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation. *HortScience* 36:380–383.

Yücesan, B. ve Olutaş, M. 2019. Bitki Fabrikalarının Dünü, Bugünü ve Yarını. *Uluslararası Anadolu Ziraat Mühendisliği Bilimleri Dergisi*. (Özel Sayı:1): 1-3.

Žukauskas, A., Z. Bliznikas, K. Breivė, A. Novičkovas, G. Samuolienė, A. Urbonavičiūtė, A. Brazaitytė, J. Jankauskienė, P. Duchovskis, 2011. Effect of supplementary pre-harvest LED lighting on the antioxidant properties of lettuce cultivars. *Acta Horti* 907:87–90.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction and Research Questions & Purpose

The desire to grow crops at times and places that are not suitable for growing plants has led to the development of controllable artificial growing environments. Temperature, humidity and light are among the most important factors to keep under control here. While the temperature, light and humidity values are among certain fixed values, studies are still continuing due to the developing technologies and various variations on light. In this study, the effects of light sources of different wavelengths on the growth of red curly leaf salad (*Lactuca sativa* var. *Crispa*) plants were examined and the results were discussed.

Methodology

The study was carried out with a total of 12 replications, three planted seeds in four pots in 6 compartments (A, B, C, D, E and F). The light sources were adjusted to be 16 hours of daytime and 8 hours of night, and the ambient temperature was kept constant at 24°C. Single color LED light sources in the research; mixed LED light sources with cool white (A), red (B), warm white (C), cool white fluorescent lamps (D), combination with five different LEDs [33.3% red + 16.7% far red + 16.7% green + 16.7% blue + 16.6% UVA] (E) and combination with two different LEDs [50% red + 50% blue] (F) were used. After starting the experiment, the leaf length, leaf width, distance between the leaf nodes of the plants were measured at fixed intervals and their daily development was recorded. At the end of the experiment, root length, rooted weight, rootless weight and leaf number were measured. Color measurements and dry matter weights were defined by analyzing chlorophyll a and b values.

Results and Conclusions

As a result, it is understood that the use of cold white and warm white LED lights together or sequentially according to the growing period can provide significant increases in efficiency. When the sections are examined in terms of the number of marketable leaves, it is seen that the plants grown in the "A" and "F" sections stand out. Also known as red curly-leaved because of its colour, this cultivar has an almost entirely green leaf color under artificial lighting conditions. Only slight redness was detected on the leaf tips of the lettuce grown in "A and F" compartments.

Yazarların Biyografisi



Ahmet ŞAHİN

1997 Keçiören, Ankara doğumlu yazar, ilk, orta ve lise eğitimini Keçiören'de tamamlamıştır. 2017 yılında Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümünden lisans derecesini almıştır. 2021 yılından beri Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği ABD'nde Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir. Tarımda aydınlatma uygulamaları ve topraksız tarım konuları üzerinde çalışmaktadır.

İletişim
ORCID Adresi

ahmetsah.483@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-4342-9491>



İsmail BOYAR

1990 Konak, İzmir doğumlu yazar, ilk, orta ve lise eğitimini Bergama'da tamamlamıştır. 2013 yılında SDÜ Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümünden Lisans, aynı üniversite Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları ABD'nden 2017 yılında Yüksek Lisans derecesini almıştır. 2019 yılından beri Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümünde/ABD'da Arş. Gör. olarak doktora eğitimine devam etmektedir. Tarımda enerji kullanımı, tarımsal ürünleri kurutma tekniği, ürün işleme tekniği ve hayvancılıkta mekanizasyon konularında çalışmaları bulunmaktadır.

İletişim
ORCID Adresi

ismailboyar@akdeniz.edu.tr
<https://orcid.org/0000-0001-6703-6022>



Mehmet TORUN

Dr. Mehmet TORUN, Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü'nde 2006 yılında Lisans eğitimini tamamladıktan sonra, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği ABD'nde 2009 yılında Yüksek Lisans eğitimini, 2015 yılında da doktora eğitimini tamamlamıştır. 2018 yılından bu yana aynı bölümde Dr. Öğr. Üyesi olarak görevine devam etmektedir. Gıda Mühendisliği Temel İşlemler Alanı'nda (Kurutma, ekstraksiyon, kavurma ve konsantrasyon) çok sayıda ulusal ve uluslararası dergide yayınlanmış makalesi bulunmaktadır.

İletişim
ORCID Adresi

torun@akdeniz.edu.tr
<https://orcid.org/0000-0002-6287-2993>



Nuri ÇAĞLAYAN

1975 Sivas doğumlu yazar, ilk, orta ve lise öğrenimini Antalya'da tamamlamıştır. 2002 yılında Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümünden lisans, aynı Üniversite Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları ABD'nde 2007 yılında yüksek lisans ve 2013 yılında doktora öğrenimini tamamlamıştır. 2020 yılından itibaren Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü Kontrol AD'da doçent olarak, LED bitki yetiştirme sistemlerinin tasarımı, sera otomasyon sistemleri, tarımda mekatronik uygulamalar ve yenilenebilir enerji kaynakları konularında çalışmalarını sürdürmektedir.

İletişim
ORCID Adresi

nuricaglayan@akdeniz.edu.tr
<https://orcid.org/0000-0003-0206-5003>



Can ERTEKİN

1970 Karşıyaka, İzmir doğumlu yazar, ilk, orta ve lise eğitimini Karşıyaka'da tamamlamıştır. 1991 yılında Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümünden Lisans, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları ABD'nden 1995 yılında Yüksek Lisans ve 2001 yılında Doktora derecelerini almıştır. 2012 yılından beri Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü'nde Profesör olarak görev yapmaktadır. Tarımda enerji kullanımı, tarımsal ürünleri kurutma tekniği, aydınlatma uygulamaları ve yenilenebilir enerji kaynakları konularında çok sayıda uluslararası ve ulusal çalışmaları bulunmaktadır.

İletişim
ORCID Adresi

ertekin@akdeniz.edu.tr
<https://orcid.org/0000-0003-2987-2438>

Türkiye’de İmal Edilen Odun Pelet Örneklerinin Kalite Özelliklerinin ve Standartlara Uygunluğunun Belirlenmesi

Determination of Quality Characteristics and Compliance with Standards of Wood Pellet Samples Produced in Turkey

Türkan Aktaş¹ 

¹ Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ, Türkiye.

* Corresponding author (Sorumlu Yazar): T. Aktaş, e-mail (e-posta): taktas@nku.edu.tr

Makale Bilgisi

Alınış tarihi : 11.10.2021
Düzeltilme tarihi : 04.03.2022
Kabul tarihi : 28.03.2022

Anahtar Kelimeler:

Odun Peleti
Baca Gazı
Pelet Kalite Standartları
Biyokütle

Atf için:

Aktaş, T., (2022). "Türkiye’de İmal Edilen Odun Pelet Örneklerinin Kalite Özelliklerinin ve Standartlara Uygunluğunun Belirlenmesi", *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 8(1): 25-40.

ÖZET

Bu çalışmada, ülkemizde yakıt olarak imalatı ve satışı yapılan odun peletlerinin kalite özellikleri belirlenmiş ve katı biyo-yakıtların yakıt özelliklerine yönelik farklı standartlara (DIN51731, DIN Plus, ÖNORM 7135, ISO 17225-2) uygunluğu araştırılmıştır. Ayrıca, bu peletler için baca gazı analizleri de gerçekleştirilmiştir. Elde edilen emisyon sonuçları, Avrupa Birliği 2015/1185 ve 2015/1189 yönetmelikleri, TS EN 303-5 standardı, Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (SKHKKY) ve "Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği" (IKHKKY) tarafından belirlenen emisyon sınırları ile karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, Türkiye’de 5 farklı şehirden odun peleti imalatı ve satışı yapan 10 farklı firmadan örnekler toplanmış ve alınan örneklerin standartlarda limit değerleri belirtilen özelliklerden olan uzunluk, çap, yoğunluk, mekanik dayanıklılık, nem içeriği, kül içeriği, ısı değeri ve baca gazı emisyon değerleri saptanmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre, pelet örneklerinde uzunluk değeri 15.69-30.82 mm, çap değeri 6.06-10.39 mm, pelet yoğunluk değeri 944.91-1148.23 kg/m³, yığın yoğunluk değeri 482.8-641.8 kg/m³, mekanik dayanıklılık değeri %95.11-99.22, nem içerikleri %4.32-5.72, kül içerikleri %1.03-2.16, ısı değeri 18.08-18.49 MJ/kg arasında saptanmıştır. Baca gazı emisyon değerlerinden O₂ içeriği %12.7-17.7, CO miktarı 1443-2127 ppm, NO_x miktarı ise 83.7-213.0 ppm arasında ölçülmüştür. Ülkemizde de geçerli olan ISO 17225-2 standardında belirtilen kalite özelliklerine ilişkin sınır değerler açısından da pelet örneklerinde uzunluk, nem içeriği, ısı değeri açısından örneklerin %100’ünün uygun; çap, yığın yoğunluğu açısından da örneklerin %80’inin standartlara uygun olduğu belirlenmiştir. Öte yandan kül içerikleri incelendiğinde, örnekler içinde ENplusA1 sınıfına uygun pelet örneği olmadığı, %40’ının ENplusA2 sınıfına ve %80’inin ise ENplusB sınıfına girdiği, %20’sinin standart dışı olduğu saptanmıştır. Pelet örneklerinin CO emisyon değerleri AB yönetmeliklerinde belirlenen emisyon sınır değerini aşmıştır dolayısıyla AB Ekodesign-direktifinde belirtilen hiçbir ısıtma sisteminde bu çalışma kapsamında incelenen örneklerin uygun olmadığı belirlenmiştir. Aynı şekilde IKHKKY ve SKHKKY’de belirlenen emisyon limitleri incelendiğinde de bu yönetmeliklerde belirtilen yakma sistemlerinde pelet örneklerinin CO emisyonu açısından uygun olmadığı belirlenmiştir. TS EN 303-5 standardında belirtilen CO emisyon değerlerine göre incelediğimiz tüm pelet örneklerinin sadece "Sınıf 3"e 50 kW ısı gücü değerine kadar tüm ısıtma sistemlerinde kullanılabileceği, peletlerin %80’inin 50kW-150 kW ısı gücü sahip sistemlerde kullanılabileceği fakat daha yüksek ısı gücü sahip sistemler için hiçbirinin kullanımının uygun olmadığı saptanmıştır.

Article Info

Received date : 11.10.2021
Revised date : 04.03.2022
Accepted date : 28.03.2022

Keywords:

Wood Pellet
Flue Gas
Pellet Quality Standards
Biomass

How to Cite:

Aktaş, T., (2022). "Determination of Quality Characteristics and Compliance with Standards of Wood Pellet Samples Produced in Turkey", *Journal of Agricultural Machinery Science*, 8(1): 25-40.

ABSTRACT

In this research, the quality properties of wood pellets produced and sold as fuel in our country were determined and the compliance of solid biofuels with different standards (DIN51731, DIN Plus, ÖNORM 7135, ISO 17225-2) related to fuel properties investigated. In addition, flue gas analyzes were carried out for these samples. The emission results obtained were compared with the emission limits determined by the European Union regulations of 2015/1185 and 2015/1189, TS EN 303-5 standard, regulations on "Control of Industrial Air Pollution" (SKHKKY) and "Regulation on Control of Air Pollution Resulting from Heating" (IKHKKY)". For this purpose, samples were collected from 10 different companies that manufacture and sell wood pellets from 5 different cities in Turkey, and the length (mm), diameter (mm), density (kg/m³), mechanical strength (%), moisture content (%), ash content (%), calorific value (MJ/kg) and flue gas emission values were determined. According to the measurement results, It was determined that the length value is between 15.69-30.82 mm, the diameter value is between 6.06-10.39 mm, the density value is between 0.51-1.15 kg/m³, the mechanical strength value is 95.11-99.22%, moisture contents between 4.32-5.72%, ash contents between 1.03-2.03%, and heating values between 18.08-18.49 MJ/kg. Among the flue gas emission values, the O₂ content was measured between 12.7%-71.7%, the amount of CO was measured between 1443-2127 ppm, and the amount of NO_x was measured between 83.7-213 ppm. In terms of the limit values for the quality characteristics specified in the ISO 17225-2 standard, which is also valid in our country, 100% of the samples are suitable in terms of length, moisture content and heating value; In terms of diameter and bulk density, 80% of the samples were determined to comply with the standards. On the other hand, when the ash content results were examined, it was determined that the samples were not suitable for ENplusA1 class, 40% of the samples were in ENplusA2 class and 80% were in ENplusB class, 20% of the samples were non-standard. The CO emission values in the flue gas samples resulting from the burning of the pellet samples exceeded the emission limit value determined in the EU regulations, so it was determined that the pellet samples examined within the scope of this study were not suitable for any heating system specified in the EU Ecodesign-directive. Likewise, when the emission limits determined in IKHKKY and SKHKKY are examined, it has been determined that the pellet samples are not suitable in terms of CO emission in the combustion systems specified in these regulations. According to the CO emission values specified in the TS EN 303-5 standard, all the pellet samples we examined can only be used in all heating systems up to "Class 3" up to 50 kW thermal power, 80% of the pellets can be used in systems with 50kW-150 kW thermal power but it has been determined that none of them is suitable for systems with higher thermal power.

1. GİRİŞ

Ülkemiz açısından büyük bir potansiyele sahip olan biyokütle kaynaklarının kullanımının gerek ekonomik ve gerekse çevresel açıdan pekçok önemli avantajları olması sebebiyle, son yıllarda bu konuya olan ilgi artmış ve çalışmalar büyük hız kazanmıştır. Biyokütle kaynakları arasında orman biyokütle varlığı önemli bir yer tutmaktadır. Ülkemiz 2020 yılı itibariyle 22.933.000 ha orman ve ağaçlık araziye sahiptir (Karaca, 2021). Türkiye’de sürdürülebilir, ucuz ve temiz enerji eldesi için önem taşıyan orman biyokütle varlığından kaynaklanan ürün potansiyellerine yönelik 2018 verilerine göre; toplam kereste miktarı 8.205.000 m³ ve toplam atık kereste miktarı 2.461.500 ton; toplam endüstriyel odun üretimi 6.678.047 ton ve endüstriyel odun atık miktarı 3.339.023 ton; toplam ahşap bazlı panel (sunta, kontrplak ve mdf) üretim miktarı 9.377.000 m³ ve toplam ahşap bazlı panel atık miktarı ise 982.000 ton olarak saptanmıştır (Gürel, 2020).

Biyokütle kaynakları geleneksel yöntemlerin kullanılmasıyla ısınma, pişirme vb. uygulamalarda yaygın olarak değerlendirilmektedir. Öte yandan ticari ölçekte gerçekleştirilecek enerji uygulamaları için biyokütle kullanımında önemli sınırlayıcı faktörler bulunmaktadır. Bu faktörler özellikle düşük kütle yoğunluğu ve besleme, taşıma ve nakliye için optimum olmayan biçimsel özelliklere sahip olmalarıdır. Biyokütlenin yoğunluğu hasat ve balyalama işlemlerinden sonra 112-160 kg/m³ aralığına yükselirken (Atchison ve Hettenhaus, 2004), parçalamadan sonra odun yoğunluğu yaklaşık 265 kg/m³'e yükselmektedir. Peletleme ve briketleme işlemleri ile biyokütle yığın yoğunluğu 4-7 kat artırılabilir ve böylece biyokütle ticari tip bir ürün haline gelmektedir (Tumuluru, 2016). Farklı peletleme sistemleri kullanılarak elde edilen odun peletleri yaygın olarak ısınma amacıyla veya sanayi amaçlı olarak fırın, kazan gibi yakma sistemlerinde yakılarak ya da gazlaştırma ve piroliz vb. termokimyasal dönüşüm yöntemleri ile gaz ve sıvı yakıtlara dönüştürülerek kullanılmaktadır (Ray vd. 2013, Tumuluru 2016).

Pelet yakıtları; talaş, odun yongası, ağaç kabuğu vb. gibi ağaç ürünleri ve mobilya imalatı sektörünün atıkları, artık tarımsal ürünler, tahıl sapları, fındık, badem, ceviz kabukları ve hatta atık kağıt gibi pekçok farklı materyal kullanılarak imal edilmektedir. Odun peleti üretiminde kullanılan temel hammadde ise beyaz odun (gövde odunu), kabuk ve tomruklama artıklarından sağlanmaktadır ve beyaz odun yongaları çok düşük kül oranı (%1 den az) içeren Premium cinsi üstün nitelikli pelet üretiminde kullanıldığı için tercih edilmektedir (Çelik, 2011). Odun peleti, odun artıklarının kurutulup öğütülerek talaş hâline getirildikten sonra yüksek basınçla sıkıştırılmasından elde edilen 6-10 mm çapındaki yakıt topakları olarak tanımlanmakta ve üretim teknolojisinin kolaylığı, çevre dostu olması vb. özellikleri ile bütün yenilenebilir enerji kaynakları içinde ön plana çıkmaktadır (Zengin vd., 2020). Bugün odun peleti için ana hammadde talaş olup odun yongası, ağaç kabuğu gibi malzemeler de bu hammaddeye eklenebilmektedir (Çelik, 2011).

Pelet yakıtların kimyasal ve mekanik özellikleri; iyi yanma, yüksek verim, düşük emisyon ve partikül salınımı ile kül ve cüruf atık miktarını etkileyen önemli faktörlerdir (Sungur vd., 2018). Bu faktörler dikkate alındığında üretilen ve kullanılacak peletlerin Çizelge 1’ de bazıları belirtilmiş olan ilgili standartlara uygun olması beklenmektedir. Avrupa ülkelerinde her ülkenin kullandığı farklı standartlar mevcuttur. Örneğin; SN 166000 (İsviçre), NS 3165 (Norveç), SS 187120 (İsveç), DIN 51731 (Almanya), ÖNORM 7135 (Avusturya) bunlardan bazılarıdır. Pelet yakıtlarının standartlarda da belirtilmiş olan kalite özelliklerinden olan nem içeriklerinin düşük, ısı değerlerinin yüksek, kül içeriklerinin düşük ve yoğunluk değerlerinin yüksek olması beklenmektedir. Pelet boyutları da peletin

depodan yanma odasına kolaylıkla taşınmasında önemli rol oynayan özellikler arasındadır (Sungur vd., 2018).

Öte yandan ülkemizde imal edilmekte olan ve satışı yapılan odun peletleri için genelde üretici firma tarafından ambalaj üzerinde verilen etiket bilgileri incelendiğinde, kalite özellikleri ile ilgili verilmesi gereken bilgilerin bazılarının hiç verilmediği, eksik veya çok yanlış verilebildiği görülmüştür. Öyle ki özellikle ısı değer bilgileri dikkate alındığında, bu verilerin alt veya üst ısı değer olarak belirtilmeden ve çok yanlış birimlerle ifade edilerek verildiği etiket bilgilerine rastlanmıştır. Örneğin, etiket üzerinde 5200 kWh/kg olarak belirtilmiş olan yani 18720 MJ/kg değerine karşılık gelen ısı (kalorifik) değere dahi rastlanmıştır. Çizelge 1’de de görüldüğü gibi standart peletler için üst ısı değer 16.56-19.5 MJ/kg arasında değişmektedir.

Çizelge 1. Odun peleti standartları (Sungur vd. 2018, Gürdil vd. 2015)

Parametre	Birim	DIN 51731	DINPlus	ÖNORM 7135	ISO 17225-2		
					ENplusA1	ENplusA2	ENplusB
Çap	mm	4-12	-	4-10	6±1 ya da 8±1		
Uzunluk	mm	<50	<5xD	<5xD	3.15<L≤40 ¹		
Pelet yoğunluğu	(g/cm ³)	1.0-1.4	>1.12	>1.12	-		
Yığın yoğunluğu	kg/m ³	-	-	-	BD600 ≥ 600		
Nem içeriği	(w-%)	<12	<10	<10	≤10		
Kül içeriği	(w-%)	<1.5	<0.5	<0.5	≤0.7	≤1.2	≤2.0
Mekanik dayanıklılık	(w-%)	-	-	-	≥ 97.5	≥ 97.5	≥ 96.5
Üst ısı değeri	MJ/kg	17.5-19.5	>18	>18	≥16.56		

Peletlerin kullanıldığı soba, kazan vs. gibi sistemlerde yanma özelliklerinin ve kullanılan yakıtın çevresel etkilerinin saptanabilmesi için yanma sonucunda ortaya çıkan baca gazındaki gazların (CO, CO₂, O₂, NO_x, SO_x vb.) emisyon değerlerinin belirlenmesi önem taşımaktadır. Bunun yanı sıra yakma sistemlerinde bacalarda oluşabilecek yoğunlaşmayı engellemek için izin verilebilecek minimum gaz sıcaklığı da önemli olmakla beraber bu veriye ilişkin bir düzenleme mevcut değildir. Bununla birlikte baca gazı kanal ve borularının yüzey sıcaklıklarının 100 °C’yi geçmemesi istenmektedir (Sungur vd., 2018). Baca gazları emisyon sınır değerleri incelendiğinde, bu değerlerin kullanılan yakıt çeşidine (katı, sıvı, gaz vs.), kullanılan yakma sistemlerine, kullanım amaçlarına (ısıtma, sanayi vs.), ısı gücü değerlerine vs. bağlı olarak farklılık gösterdiği anlaşılmaktadır. Baca gazlarına ilişkin izin verilen sınır değerler; Avrupa Birliği Ekodesign-direktifine göre belirlenmiş olan AB 2015/1185 ve 2015/1189 yönetmelikleri (soba, merkezi ısıtma sistemleri vs. gibi farklı yakma sistemleri için 2022 yılından itibaren dikkate alınacak olan sınır değerler) (Amann vd. 2018), Avrupa ülkelerinin bazılarında ve ülkemizde de yürürlükte olan EN 303-5 (TS EN 303-5, 2021) normu (Sungur vd. 2018), “Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (SKHKKY, 2014)” ve “Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (IKHKKY, 2009)”ne göre Çizelge 2’de verilmiştir.

Bu çalışmada, ülkemizde imal edilen ve yakıt olarak satışı yapılan odun pelet örneklerinin kalite özellikleri belirlenmiş ve saptanan bu özelliklerin katı biyoyakıtların yakıt özelliklerine yönelik farklı standartlara (Alman DIN normları, Avusturya Ö-normları ve ülkemizde de kullanılan Avrupa EN normları) uygunluğu araştırılmıştır. Ayrıca yanma sonucunda ortaya çıkan baca gazlarının emisyon

değerleri ve sıcaklıkları da belirlenerek Avrupa Birliği Ekodesign-direktifine göre belirlenmiş olan AB 2015/1185 ve 2015/1189 yönetmeliklerinde, TS EN 303-5 normunda (2021), "Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği"nde (2014) ve "Isınmadan Kaynaklanan Hava kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği"nde (2009) belirtilen emisyon sınır değerlerine göre hangi yakma sistemlerinde kullanımlarının uygun olabileceği değerlendirilmiştir.

Çizelge 2. Biyokütle ve odun kaynaklı katı yakıtların kullanımında baca gazı emisyon sınırları (IKHKKY 2009, SKHKKY 2014, Amann vd. 2018, Sungur vd. 2018)

<i>Avrupa Birliği Ekodesign-direktifi, AB 2015/1185 ve 2015/1189 yönetmeliklerine göre</i>						
Küçük ölçekli yakma sisteminin tipi	Yakıt	Çalışma	Isıl güç	O ₂ ref. değeri (%)	CO (ppm)	NO _x (ppm)
Açık yanma odalı tek soba	Biyokütle kaynaklı katı yakıt	Hepsi	≤50 kW	13	1746.43	63.78
Kapalı yanma odalı tek soba	Biyokütle kaynaklı katı yakıt	Hepsi	≤50 kW	13	1309.82	63.78
Tek mutfak sobası	Biyokütle kaynaklı katı yakıt	Hepsi	≤50 kW	13	1309.82	63.78
Kapalı yanma odalı tek soba	Odun peleti	Otomatik	≤50 kW	13	261.96	106.3
Merkezi ısıtma sistemi	Biyokütle kaynaklı katı yakıt	Manuel	≤500 kW	10	611.25	106.3
Merkezi ısıtma sistemi	Biyokütle kaynaklı katı yakıt	Otomatik	≤500 kW	10	436.61	106.3

TS EN 303-5 normuna göre

Kazanlar	Yakıt	Çalışma	Isıl güç	O ₂ ref. değeri (%)	CO (ppm)		
					Sınıf 3	Sınıf4	Sınıf5
Biyokütle kaynaklı katı yakıt	Manuel		≤50 kW	10	4365.75	1047.87	611.26
			50 kW<IG≤150 kW	10	2183.03	-	-
			150 kW<IG≤500 kW	10	1135.18	-	-
Biyolojik kaynaklı katı yakıt	Otomatik		≤50 kW	10	3435.59	1309.82	436.60
			50 kW<IG≤150 kW	10	2183.03	-	-
			150 kW<IG≤500kW	10	1135.18	-	-

IKHKKY'ya göre

Isıtma sistemleri	Yakıt	Çalışma	Isıl güç	O ₂ ref. değeri (%)	CO (ppm)	CO ₂ (%)
100 kW<IG≤500kW	13	400				
500 kW<IG≤1000 kW	13	240				

SKHKKY'ya göre

Kazanlar	Yakıt	Çalışma	Isıl güç	O ₂ ref. değeri (%)	CO (ppm)	NO _x (ppm)	SO _x (ppm)
15MW-50 MW	-	368	-	70			
50 MW ≤IG<100MW	6	-	195	70			
100MW≤IG<300MW	6	-	146	70			
IG≥300 MW	6	-	98	70			

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Örnek Hacminin Belirlenmesi ve Materyal Temini

Bu çalışmada ana materyal olarak; pelet imalatçıların daha yoğun oldukları bölgelerde (İç Anadolu Bölgesi, Ege Bölgesi, Marmara Bölgesi) yer alan 5 farklı şehirde (Ankara, İzmir, Bursa, Sakarya ve Tekirdağ) yakacak olarak odun peleti imalatı ve satışı yapan 10 farklı firmadan toplanan örnekler kullanılmıştır. Pelet imalatçıların dağılımına bakıldığında (Kutay, 2021) ele alınan bu bölgelerin yanı sıra Akdeniz ve Karadeniz Bölgelerinde de resmi pelet imalatçıların olduğu anlaşılmalı beraber bu firmalardan örnek temini mümkün olamamıştır.

Ülkemizde resmi olarak pelet imalatı yapan toplam 30 imalatçı olduğu bildirilmiştir (Kutay, 2021). İnternet üzerinden resmi ve resmi olmayan pelet imalatçıları da incelenmiş olup bunların markalı ve markasız olarak satış yapmakta olduğu ve toplam sayılarının ise 58 civarında olduğu anlaşılmıştır (inceleme 2022 Şubat ayı içerisinde yapılmıştır).

Araştırmada örnek hacmi (örneklem büyüklüğü) belirlenirken resmi ve resmi olmayan imalatçı sayıları göz önüne alınmıştır. Bu tür çalışmalarda örnek hacmi belirlenirken toplam işletme sayısının en az %3 (Yamane, 2006) veya %10'unun (Cochran, 1977) alınmasının yeterli olacağı ve örnek hacminin birim sayısının artmasıyla ana kitlenin daha iyi temsil edileceği de bildirilmiştir (Han ve Bakır, 2010). Resmi olan imalatçı sayısına bakıldığında araştırma kapsamında 3 imalatçının ürünü olan peletlerin araştırmaya dahil edilmesinin yeterli olduğu anlaşılmakla beraber örnek hacmi mümkün olduğunca büyük tutularak 10 olarak seçilmiştir.

Çeşitli firmalardan toplanan odun pelet örnekleri Ö harfiyle isimlendirilmiş ve numaralandırılmıştır (Ö1...Ö10 şeklinde).

2.2. Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi

Pelet kalite özelliklerinden çap, uzunluk, pelet partikül yoğunluğu ve yığın yoğunluğu ile ilgili ölçümler 10 tekerrürlü olarak yapılırken nem, kül, mekanik dayanıklılık ve ısı değer ölçümleri ise 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilerek elde edilen sonuçların aritmetik ortalamaları alınmıştır.

Pelet örneklerinin çap ve uzunluk değerleri 0.01 mm hassasiyete sahip dijital bir kumpas kullanılarak EN 16127 (2012) standardına uygun olarak ölçülmüştür. Pelet partikül yoğunluklarının belirlenmesi için EN 16127 standardında belirtildiği şekilde pelet örneklerinin çap, uzunluk değerleri ölçülmüş ve bu ölçüler kullanılarak hacimleri hesaplanmıştır. Herbir peletin kütlesi ölçülerek pelet kütlesinin pelet hacmine bölünmesi ile pelet yoğunluğu kg/m^3 olarak hesaplanmıştır.

Pelet örneklerinin yığın yoğunluğu EN 15103 (2009) standardına uygun olarak pelet örnekleri 5 litre hacme sahip silindirik kap içerisine silme olarak doldurulmuş ve 3 kez yaklaşık olarak 150 mm yükseklikten serbest olarak ahşap zemin üzerine bırakılmıştır. Daha sonra, kabın üst kısmındaki fazla pelet örnekleri kap dışına alınmıştır. Yığın yoğunluğu, pelet kütlesinin kap hacmine bölünmesi ile belirlenmiştir (kg/m^3).

Peletlerin mekanik dayanıklılıkları EN 15210-2 (2010) standardına göre belirlenmiştir. Öncelikle 500 ± 10 g pelet örneği test cihazına koyularak 10 dakika boyunca 50 ± 2 1/min devirde çalıştırılmıştır. 10 dakika sonunda peletler dışarı alınarak 3.15 mm çapa sahip elek ile elenmiştir. Mekaniksel dayanıklılık değeri test öncesinde ve sonrasında oluşan kütle kaybına (%) bağlı olarak hesaplanmıştır.

Pelet örneklerinin nem içerikleri EN 14774-2 (2009) standardında belirtilmiş olan etüvde (Drying Oven marka, DHG-9055A model) kurutma yöntemi uygulanarak ve aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Nem (y.b.)} = ((M_2 - M_3) / (M_2 - M_1)) \times 100 \quad (1)$$

Bu eşitlikte; M_1 kurutma kabının boş ağırlığı (g), M_2 kurutma öncesi kuru örnek kabı ve örnek ağırlığı toplamı (g), M_3 ise kurutma sonrası kuru örnek kabı ve örnek ağırlığının toplamıdır (g).

Pelet örneklerinin kül içerikleri EN 14775 (2009) standardında belirtilen yöntem ile kül fırını (Nüve marka, MF110 Model) ve örneklerin içine koyulduğu krozeler kullanılarak ve aşağıda verilmiş olan formül yardımıyla kül miktarının kuru örnek ağırlığına oranlanmasıyla % olarak belirlenmiştir.

$$\% \text{ Kül} = ((\text{Ağırlık}_{\text{kroze+kül}} - \text{Ağırlık}_{\text{kroze}}) / \text{Ağırlık}_{\text{kuru örnek}}) \times 100 \quad (2)$$

Örneklerin üst ısıl değerleri (HHV) ise EN 14918 (2009) standardına göre Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü laboratuvarında (Samsun) bulunan IKA marka C200 model kalorimetre cihazı ile ölçülmüştür.

2.3. Baca Gazı Emisyon Değerlerinin Belirlenmesi

Baca gazı sıcaklığı ve emisyon değerlerinin ölçümleri her bir örnek için birer dakika aralıklarla 3 okuma yapılarak gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçların aritmetik ortalamaları alınmıştır. Baca gazı emisyon değerleri Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü laboratuvarında (Samsun) bulunan pelet sobası ve ECOM EN2 marka baca gazı analizörü kullanılarak ölçülmüştür. Peletler önce yakma sobasında yakılmış ve baca gazı sıcaklığının yanısıra oluşan baca gazı emisyon değerleri (O₂, CO₂, CO, NO, NO_x ve SO₂) analizör ile ölçülerek kaydedilmiştir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

3.1. Kalite Özelliklerine İlişkin Sonuçlar

Kalite özellikleri olarak 10 farklı pelet örneğinde ölçülmüş olan çap, uzunluk, partikül yoğunluğu, yığın yoğunluğu, nem içeriği, kül içeriği, ısıl değer ve mekanik dayanıklılık değerlerinin ortalamaları ve standart sapma verileri Çizelge 3'de verilmiştir. Çizelge 3'de görüldüğü gibi örneklerin ortalama uzunluk değerleri 15.69-30.82 mm, çap değerleri 6.06-10.39 mm, pelet yoğunlukları 944.91-1148.23 kg/m³, yığın yoğunlukları 482.8-641.8 kg/m³, nem içerikleri %4.32-5.72, kül içerikleri %1.03-2.16, mekanik dayanıklılık değerleri %95.11-99.22 ve ısıl değerleri 18.08-18.49 MJ/kg arasında değişmiştir. Farklı standartlarda belirtilmiş olan sınır değerlere göre bu peletlerin uygunluk durumları Çizelge 4'de özetlenmiştir. Tumuluru vd. (2010) Britanya Kolumbiyası'nda ihracat için üretilen ve farklı yükleme zamanlarında örneklenmiş olan odun peletlerinin kalite özelliklerinin Avrupa Standartlar Komitesi (CEN) ve Amerika Birleşik Devletleri Pelet Yakıt Enstitüsü tarafından belirtilmiş olan derecelendirmeye uygunluğu üzerine bir araştırma yapmışlardır. Bu araştırma sonucunda çap değerlerinin 6.4 ila 6.5 mm, uzunluk değerlerinin 14.0 ila 19.0 mm, yığın yoğunluğunun 728 ila 808 kg/m³, nem içeriğinin %3.5 ila %6.5, kül içeriğinin %0.26 ila %0.93, mekanik dayanıklılığın %97 ila %99 ve ısıl değerlerinin ise 17 ila 18 MJ/kg aralıklarında değiştiğini ve belirtilen derecelendirmeyi karşıladığını saptamışlardır. Bu çalışma kapsamında belirlenen kalite özelliklerine ilişkin sonuçlar incelendiğinde, kül içeriklerine ilişkin sonuçların bizim çalışma sonuçlarımıza göre daha düşük saptandığı (kullanılan hammaddeye bağlı olarak) diğer sonuçların ise genel olarak paralellik gösterdiği anlaşılmaktadır. Zengin vd. (2020) tarafından gerçekleştirilmiş olan orman artıklarının pelet olarak değerlendirilme imkânlarının araştırılmasına yönelik çalışmada 21 farklı varyasyonda üretilen peletler için nem değerleri %4.41-7.21, kül yüzdeleri %0.61-1.73, ısıl değerler ise 18.26-19.44 MJ/kg arasında belirlenmiş olup yine bizim araştırma sonuçlarımızla paralel sonuçlar elde edilmiş olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 3'de verilmiş olan ortalama uzunluk değerleri incelendiğinde tüm pelet örneklerinin uzunluk özelliği açısından 4 standarda da (DIN51731, DINPlus, ÖNORM 7135 ve ISO17225-2) uygun olduğu anlaşılmaktadır (Çizelge 4).

Çap ortalama değerleri pelet standartlarına göre irdelendiğinde tüm pelet örneklerinin çap değerlerinin DIN51731 standardına uygun olduğu (4-12 mm), Ö1ve Ö7 örnekleri hariç diğer örneklerin ÖNORM 7135 standardına uygun oldukları ve ISO 17225-2'de belirtilmiş olan ENplus pelet sınıflarına girdikleri belirlenmiştir (Çizelge 4).

Pelet yoğunlukları incelendiğinde, Ö1 ve Ö7 örnekleri hariç diğer örneklerin DIN51731 normunda belirtilen sınırlar içinde kaldığı (1000-1400 kg/m³) fakat DINPlus'da ve ÖNORM 7135'de belirtilen sınırlara (>1120 kg/m³) sadece Ö4 ve Ö5 örneklerinin uyduğu saptanmıştır (Çizelge 4).

Pelet örneklerinin yığın yoğunlukları incelendiğinde bu özellik için sınır değerinde sadece ISO 17225-2'de belirtilmiş olan her üç pelet sınıfı için de aynı olan sınır değere (≥ 600) Ö1 ve Ö7 peletleri hariç diğer pelet örneklerinin uygun olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4).

Pelet bilgi etiketlerinde yer alan önemli kalite özelliklerinden birisi olan ve yüksek ısı değeri için düşük olması istenen nem içeriklerine ilişkin sonuçlar incelendiğinde (%4.32-5.72 arasında), bu araştırma kapsamında incelenmiş olan tüm örneklerin nem içeriklerinin 4 standarda da uygun olduğu görülmektedir (Çizelge 4).

En önemli pelet yakıt kalite özelliklerinden birisi olan kül içeriği değerleri incelendiğinde hiçbirinin DINPlus ve ÖNORM 7135 normlarına uygun olmadığı, 10 örnek içinde Ö1, Ö7 ve Ö9 numaralı 3 örneğin kül içerikleri hariç diğer örneklerin DIN51731 normuna uygun olduğu, ISO 17225-2'de belirtilmiş olan ENplus pelet sınıflarından ENplusA1 sınıfına hiç bir örneğin uygun olmadığı, ENplusA2 sınıfına 4 örneğin uygun olduğu (Ö2, Ö5, Ö6, Ö10) ve ENplusB sınıfına ise Ö1 ve Ö7 örnekleri hariç diğer 8 örneğin uygun olduğu saptanmıştır (Çizelge 4).

Mekanik dayanıklılıkla ilgili sınır değerler, incelenen standartlar içerisinde sadece ISO 17225-2'de verilmiştir. Elde edilen mekanik dayanıklılık sonuçları incelendiğinde 4 pelet örneği hariç (Ö5, Ö6, Ö9, Ö10) diğer örneklerin ENplusA1 ve ENplusA2 sınıflarına uygun olduğu, 2 örnek hariç (Ö5 ve Ö6) diğer örneklerin ise ENplusB sınıfına uygun olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4).

Üst ısı değeri sonuçları incelendiğinde tüm pelet örneklerinin ısı değeri 18 MJ/kg değerinden yüksek olduğu dolayısıyla bu değerlerle ilgili olarak 4 farklı standarda da uygun oldukları anlaşılmıştır (Çizelge 4).

Çizelge 3. Pelet örneklerinin kalite özelliklerine ilişkin ortalama ve standart sapma değerleri

Örnek No	Uzunluk (mm)	Çap (mm)	Pelet yoğunluğu (kg/m ³)	Yığın yoğunluğu (kg/m ³)	Nem (y.b.)	Kül (%)	Mekanik dayanıklılık (%)	Isıl değer (MJ/kg)
Ö1	30.65 ^(2.06)	10.37 ^(0.23)	944.91 ^(28.01)	482.8 ^(5.02)	4.32 ^(0.18)	2.16 ^(0.04)	97.69 ^(0.48)	18.11 ^(0.02)
Ö2	23.82 ^(3.75)	6.42 ^(0.16)	1011.01 ^(85.66)	602.8 ^(3.96)	5.72 ^(0.26)	1.17 ^(0.02)	98.31 ^(0.03)	18.49 ^(0.02)
Ö3	25.01 ^(6.17)	6.06 ^(0.16)	1091.43 ^(68.45)	619.2 ^(2.2)	5.06 ^(0.49)	1.41 ^(0.03)	98.92 ^(0.28)	18.27 ^(0.04)
Ö4	23.93 ^(3.41)	6.12 ^(0.04)	1130.72 ^(34.59)	641.8 ^(2.39)	5.62 ^(0.07)	1.44 ^(0.06)	99.22 ^(0.16)	18.41 ^(0.08)
Ö5	20.34 ^(5.53)	8.28 ^(0.09)	1148.23 ^(36.54)	611.4 ^(2.61)	4.57 ^(0.19)	1.03 ^(0.04)	96.46 ^(0.49)	18.21 ^(0.01)
Ö6	15.69 ^(3.25)	6.37 ^(0.20)	1066.9 ^(83.82)	607.8 ^(2.86)	5.28 ^(0.10)	1.08 ^(0.02)	95.11 ^(0.15)	18.17 ^(0.02)
Ö7	30.82 ^(3.01)	10.39 ^(0.24)	957.98 ^(52.83)	507.8 ^(3.49)	4.32 ^(0.30)	2.03 ^(0.03)	98.43 ^(0.48)	18.08 ^(0.02)
Ö8	25.25 ^(3.93)	6.37 ^(0.23)	1004.71 ^(19.05)	631.6 ^(2.88)	5.36 ^(0.53)	1.29 ^(0.05)	99.05 ^(0.15)	18.29 ^(0.17)
Ö9	25.62 ^(3.17)	6.19 ^(0.16)	1015.9 ^(25.37)	608.8 ^(1.64)	5.32 ^(0.51)	1.67 ^(0.10)	96.87 ^(0.80)	18.41 ^(0.02)
Ö10	23.77 ^(5.23)	8.18 ^(0.12)	1017.54 ^(6.21)	637.4 ^(3.44)	4.94 ^(0.11)	1.11 ^(0.09)	96.72 ^(0.76)	18.18 ^(0.11)

Çizelge 4. Odun peleti örneklerinin kalite özellikleri açısından standartlara uygunluk durumları
(✓: Uygun, ✗: Uygun değil)

Kalite Özellikleri	Standartlar	Örnekler										
		Ö1	Ö2	Ö3	Ö4	Ö5	Ö6	Ö7	Ö8	Ö9	Ö10	
Çap (mm)	DIN 51731	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	DINPlus	Bu standartta çap özelliği için herhangi bir sınır değeri belirtilmemiştir.										
	ÖNORM 7135	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	
	ISO 17225-2	ENplusA1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
		ENplusA2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
		ENplusB	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Uzunluk (mm)	DIN 51731	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	DINPlus	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	ÖNORM 7135	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	ISO 17225-2	ENplusA1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
		ENplusA2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
		ENplusB	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Pelet yoğunluğu (g/cm ³)	DIN 51731	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	
	DINPlus	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	
	ÖNORM 7135	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	
	ISO 17225-2	ENplusA1	Bu standartta pelet yoğunluğu özelliği için herhangi bir sınır değeri belirtilmemiştir.									
		ENplusA2										
		ENplusB										
Yığın yoğunluğu (kg/m ³)	DIN 51731	Bu standartta yığın yoğunluğu özelliği için herhangi bir sınır değeri belirtilmemiştir.										
	DINPlus	Bu standartta yığın yoğunluğu özelliği için herhangi bir sınır değeri belirtilmemiştir.										
	ÖNORM 7135	Bu standartta yığın yoğunluğu özelliği için herhangi bir sınır değeri belirtilmemiştir.										
	ISO 17225-2	ENplusA1	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓
		ENplusA2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
		ENplusB	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Nem içeriği (%)	DIN 51731	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	DINPlus	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	ÖNORM 7135	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	ISO 17225-2	ENplusA1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
		ENplusA2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
		ENplusB	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Kül içeriği (%)	DIN 51731	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	
	DINPlus	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	
	ÖNORM 7135	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	
	ISO 17225-2	ENplusA1	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	
		ENplusA2	✗	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✗	✓	
		ENplusB	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	
Mekanik dayanıklılık (%)	DIN 51731	Bu standartta mekanik dayanıklılık özelliği için herhangi bir sınır değeri belirtilmemiştir										
	DINPlus	Bu standartta mekanik dayanıklılık özelliği için herhangi bir sınır değeri belirtilmemiştir										
	ÖNORM 7135	Bu standartta mekanik dayanıklılık özelliği için herhangi bir sınır değeri belirtilmemiştir										
	ISO 17225-2	ENplusA1	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✗
		ENplusA2	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	
		ENplusB	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	
Üst ısı değeri (MJ/kg)	DIN 51731	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	DINPlus	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	ÖNORM 7135	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	ISO 17225-2	ENplusA1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
		ENplusA2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
		ENplusB	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		

3.2. Baca Gazı Emisyon Değerlerine Yönelik Sonuçlar

Araştırma kapsamında incelenen pelet örnekleri için ortalama baca gazı emisyon (O₂, CO₂, CO, NO, NO_x ve SO₂) ve baca gazı sıcaklık sonuçları Çizelge 5' de verilmiştir. Yakma sonunda ortaya çıkan baca gazı içerisindeki CO emisyon değerleri incelendiğinde bu değerlerin 1443-2375 ppm arasında değiştiği ve pelet örneklerinin hepsinde Avrupa Birliği Ekodesign-direktifine göre belirlenmiş olan AB 2015/1185 ve 2015/1189 yönetmeliklerinde odun peletleri için belirtilen 261.96 ppm emisyon sınırının aşıldığı dolayısıyla bu direktifte verilen hiçbir ısıtma sisteminde bu çalışma kapsamında incelenen pelet örneklerinin kullanılamayacağı anlaşılmaktadır. Ülkemizde 15 kW-1000 kW arası ısı güce sahip katı

yakıt yakılan ısıtma sistemleri için düzenlenen "Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (IKHKKY, 2009)" ve 500 kW-300 MW ısı güce sahip katı yakıt yakılan sistemler için düzenlenmiş olan "Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (SKHKKY, 2014)"nde belirlenen emisyon limitleri incelendiğinde de bu yönetmeliklerde belirtilen hiçbir sistem için bu peletlerin CO emisyonu açısından uygun olmadığı anlaşılmaktadır. Öte yandan TS EN 303-5 (Kazanlar - Katı yakıtlı kazanlar, elle ve otomatik yüklemeli, anma ısı çıktısı 500 kW'a kadar) standardında belirtilen CO emisyon değerlerine göre incelediğimiz tüm pelet örneklerinin "Sınıf 3" e girdiği ve manuel veya otomatik olarak çalıştırılabilen 50 kW ısı gücü değerine kadar tüm ısıtma sistemlerinde kullanılabilceği, 10 pelet örneğinden 2'sinin (Ö5 ve Ö10) haricinde diğer 8 örneğin ise 50 kW-150 kW ısı güce sahip sistemlerde (manuel veya otomatik), kullanılabilceği fakat 150 kW-500 kW ısı güce sahip sistemlerde hiçbir pelet örneğinin kullanımının uygun olmadığı anlaşılmıştır. Ayrıca "Sınıf 4" ve "Sınıf 5" için belirtilen CO emisyon değerlerini ise hiçbir pelet örneğinin sağlayamadığı belirlenmiştir.

Baca gazı içerisindeki NO_x emisyon değerleri incelendiğinde pelet örneklerinin sadece üçünün (Ö1, Ö6 ve Ö7) Avrupa Birliği Ekodesign-direktifine göre belirlenmiş olan AB 2015/1185 ve 2015/1189 yönetmeliklerinin odun peletleri için belirlediği emisyon sınırını aşmadığı (106.3 ppm) dolayısıyla bu peletlerin ≤50 kW ısı gücü altındaki kapalı yanma odalı ısıtma sistemlerinde kullanılabilceği anlaşılmaktadır. Ülkemizde 500 kW-300 MW ısı güce sahip katı yakıt yakılan kazanlar için düzenlenmiş olan "Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (SKHKKY, 2014)"nde belirlenen emisyon limitleri incelendiğinde de bu yönetmeliklerde belirtilen 50 MW-100 MW arasında ısı güce sahip sistemlerde Ö5 ve Ö10 örnekleri hariç tüm peletlerin NO_x sınırını aşmadığını yani %80' inin kullanıma uygun olduğu, 1000 MW-300 MW arasında ısı güce sahip sistemlerde ise pelet örneklerinin %50'sinin (Ö1, Ö2, Ö3, Ö6 ve Ö7) kullanımının NO_x emisyonu açısından uygun olduğu, 300 MW ısı gücünün üstündeki sistemlerde ise Ö1, Ö6 ve Ö7 peletlerinin NO_x emisyon sınır değeri açısından kullanıma uygun olduğu belirlenmiştir.

Baca gazı içerisindeki SO_x emisyon değerleri SKHKKY dikkate alınarak incelendiğinde pelet örneklerinin bu yönetmelikte belirtilmiş olan sınır değerinden (70 ppm) oldukça düşük olduğu ve tüm örneklerde SO₂ emisyonlarının 0-5.33 ppm arasında değiştiği ve bu yönüyle tüm sistemlerde kullanımının uygun olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde Zengin vd. (2020) orman artıklarından elde edilmiş olan pelet örnekleri için SO₂ emisyon değerlerini 2.00-7.67 ppm arasında belirlemişlerdir.

Çizelge 5. Pelet örneklerinin baca gazı analiz sonuçlarına ilişkin ortalama ve standart sapma değerleri

Örnek No	BG sıcaklığı (°C)	O ₂ (%)	CO (ppm)	CO ₂ (%)	SO ₂ (ppm)	NO (ppm)	NO _x (ppm)
Ö1	77.99 ^(0.05)	18.03 ^(0.25)	1478.00 ^(40.65)	3.37 ^(0.31)	0.67 ^(0.42)	83.67 ^(3.09)	84.33 ^(3.30)
Ö2	85.00 ^(1.41)	14.20 ^(1.98)	1810.00 ^(32.66)	3.57 ^(0.54)	0.00 ^(0.0)	109.67 ^(7.59)	114.67 ^(8.38)
Ö3	79.00 ^(0.0)	11.67 ^(1.51)	1937.33 ^(169.49)	4.57 ^(0.75)	0.00 ^(0.0)	168.33 ^(10.53)	177.00 ^(10.98)
Ö4	83.00 ^(0.82)	12.70 ^(1.98)	1849.33 ^(116.78)	3.87 ^(0.25)	0.00 ^(0.0)	139.00 ^(6.16)	144.00 ^(7.35)
Ö5	78.40 ^(0.08)	10.63 ^(1.68)	2375.00 ^(125.76)	10.00 ^(1.63)	3.33 ^(0.45)	203.00 ^(28.99)	213.00 ^(30.41)
Ö6	78.07 ^(0.05)	14.30 ^(0.16)	2127.00 ^(203.37)	6.23 ^(0.12)	5.33 ^(0.47)	81.00 ^(5.10)	85.00 ^(5.35)
Ö7	77.90 ^(0.08)	17.77 ^(0.21)	1443.00 ^(154.03)	3.07 ^(0.21)	0.33 ^(0.47)	79.67 ^(4.92)	83.67 ^(5.44)
Ö8	78.67 ^(0.47)	11.70 ^(0.30)	2010.00 ^(64.81)	4.73 ^(0.33)	0.67 ^(0.41)	149.67 ^(3.86)	186.00 ^(5.89)
Ö9	81.11 ^(0.77)	13.04 ^(0.13)	1734.67 ^(46.91)	3.90 ^(0.29)	0.33 ^(0.38)	134.67 ^(4.11)	147.33 ^(5.25)
Ö10	77.13 ^(0.21)	11.33 ^(1.23)	2369.67 ^(124.93)	9.67 ^(0.79)	2.67 ^(0.40)	218.00 ^(13.37)	220.00 ^(17.96)

Pelet örneklerinin pelet sobasında yakılması sırasında oluşan baca gazı sıcaklık değerleri 77.13 - 85 °C arasında değişmiştir. Sungur vd. (2018) baca gazı kanal ve borularının yüzey sıcaklıklarının 100 °C'yi geçmemesinin gerektiğini belirtmişlerdir ve dolayısıyla incelediğimiz tüm pelet örnekleri için oluşan baca gazı sıcaklık değerlerinin bu değeri geçmediği anlaşılmaktadır.

4. SONUÇ

Bu çalışmada ülkemizde üretilen ve ticari olarak satışı yapılan pelet örneklerinin kalite özellikleri ve baca gazı emisyonları belirlenerek ülkemizde ve Dünya'da geçerliliği olan farklı standart ve yönetmeliklerdeki sınır değerlerle karşılaştırılmıştır.

Ülkemizde de geçerli olan ISO 17225-2 standardında belirtilen kalite özelliklerine ilişkin sınır değerler açısından da pelet örneklerinde uzunluk, nem içeriği, ısıl değer açısından tüm örneklerin tamamının standartlara uygun olduğu (örneklerin %100'ü); çap, yığın yoğunluğu açısından örneklerin %80' inin uygun olduğu belirlenmiştir. Öte yandan kül içeriği sonuçları incelendiğinde, ENplusA1 sınıfına uygun pelet örneği olmadığı, örneklerin %40' ının ENplusA2 sınıfına ve %80' inin ise ENplusB sınıfına girdiği, örneklerin %20' sinin standart dışı olduğu saptanmıştır.

Araştırma kapsamında ele alınan örneklerde, ISO17225-2 standardının yanısıra diğer standartlara kalite özellikleri açısından uygunluk durumları da aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Uzunluk özelliğinin örneklerin %100'ünde tüm standartlara uygun değerlerde olduğu,
- Çap özelliği örneklerin %100'ü DIN51731 normuna uygunken %80'inin ÖNORM7135 ve Avrupa EN normlarına uygun değerlerde olduğu,
- Pelet yoğunluk değerlerinin pelet örneklerinin %80'inin DIN51731'e uygun ve sadece %20'sinin DINPlus'a uygun değerlerde olduğu,
- Yığın yoğunluk değerleri için bu standartlar arasında sadece ISO17225-2'de alt sınır değer belirtildiği ve peletlerin %80'inin bu standartta belirtilen Avrupa EN normlarına uygun değerlerde olduğu,
- Nem içeriklerinin ve ısıl değerlerin örneklerin %100'ünde de tüm standartlara uygun değerlerde olduğu,
- Kül içeriklerinin örneklerin %70'ün DIN51731 normuna uygunken, hiçbirinin DINPlus ve ÖNORM7135' uygun olmadığı, %40'ının ENplusA2 sınıfına ve %80'ninin ENplusB sınıfına uygun değerlerde olduğu,
- Mekanik dayanıklılık değeri için sadece ISO17225-2'de alt sınır belirtildiği ve örneklerin %60'ının hem ENplusA1 hem de ENplusA2 sınıfına ve %80'inin ENplusB sınıfına uygun değerlerde olduğu,

Araştırma kapsamında ele alınan pelet örneklerinin yakılması ile ortaya çıkan baca gazı emisyon değerlerinin AB ülkelerinde ve ülkemizde geçerli olan yönetmeliklere ve standarda uygunluk durumları da aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Pelet örneklerinin yakılması ile ortaya çıkan baca gaz örneklerindeki CO emisyon değerleri AB2015/1185 ve 2015/1189 yönetmeliklerinde belirlenen emisyon sınır değerini aşmıştır dolayısıyla bu direktifte belirtilen hiçbir ısıtma sisteminde bu çalışma kapsamında incelenen pelet örneklerinin uygun olmadığı,
- IKHKY ve SKHKY'de belirlenen emisyon limitleri incelendiğinde de bu yönetmeliklerde belirtilen yakma sistemlerinde pelet örneklerinin CO emisyonu açısından uygun olmadığı,
- TS EN 303-5 standardında belirtilen CO emisyon değerlerine göre incelenen tüm pelet örneklerinin sadece "Sınıf 3"e 50 kW ısıl güç değerine kadar tüm ısıtma sistemlerinde kullanılabilmesi, peletlerin %80'inin 50kW-150 kW ısıl güce sahip sistemlerde kullanılabilmesi fakat daha yüksek ısıl güce sahip sistemler için hiçbirinin kullanımının uygun olmadığı,
- Pelet örneklerinin %30'unda yakma sonucu ortaya çıkan baca gaz örneklerindeki NOx emisyon değerlerinin Avrupa Birliği Ekodesign-direktifinde belirlenen değeri aşmadığı ve ≤50 kW ısıl güç altındaki kapalı yanma odalı ısıtma sistemlerinde kullanılabilmesi,

-NO_x emisyonu açısından SKHKKY’de belirlenen emisyon limitleri incelendiğinde de bu yönetmeliklerde belirtilen 50 MW-100 MW arasında ısı güce sahip sistemlerde örneklerin %80’ inin kullanıma uygun olduğu, 1000 MW-300 MW arasında ısı güce sahip sistemlerde ise pelet örneklerinin %50’sinin kullanımın uygun olduğu, 300 MW ısı gücün üstündeki sistemlerde ise peletlerin %30’unun kullanıma uygun olduğu,

-SO_x emisyon değerlerinin SKHKKY’ya göre sınır değerden düşük olduğu ve tüm sistemlerde kullanımının uygun olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışma, kalite özellikleri ve baca gazı emisyonları belirlenen odun peletlerinin 50 kW ısı gücü değerine kadar olan ısıtma sistemlerinde ısıtma amaçlı kullanıma uygun olduklarını ve bu açıdan petrol ve doğalgaz gibi fosil kökenli yakıtlara iyi bir alternatif olabileceklerini göstermiştir. Ülkemizde pelet yakıtı sektörünün mevcut durumu ve gelecek öngörülerine ilişkin yapılan çalışmalardan da anlaşılacağı üzere pelet yakıtı Türkiye için nispeten yeni bir ürün ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Ülkemizde resmi olarak faaliyet gösteren oldukça az sayıda pelet imalatçısı bulunmakta (yaklaşık 30) ve bu firmalar pelet imalatında genellikle odun kullanmaktadırlar. Öte yandan resmi pelet yakıtı üreticilerinin yanı sıra ülkemizin hemen her bölgesinde önemli sayıda gayri resmi pelet yakıtı üreticisinin de bulunduğu görülmektedir. Ülkemiz 2021 yılı itibarıyla Avrupa ülkelerine ürünlerini ihraç edebilecek yalnızca iki ENplus sertifikalı özel pelet yakıtı üreticisi ile temsil edilmektedir. ENplus Belgesi alma süreci ise oldukça uzun bir denetim, test vs. gerektirdiği için ülkemizde üretilen pelet yakıtların büyük çoğunluğu iç piyasaya yönelik üretilmektedir. Buna rağmen pelet yakıtı halen yakıt türleri içerisinde pazarda küçük bir paya sahiptir. Gerek yurt içi tüketimde pazar payının gerekse ihracat potansiyelinin artırılabilmesi açısından bu araştırma sonuçları da dikkate alındığında ülkemizde imalatı yapılan peletlerin kalite özelliklerinin DINplus ve ÖNORM 7135 sınırları açısından (özellikle kül içeriği); baca gazı emisyon değerlerinin de Avrupa Birliği Ekodesign direktifinde belirtilen sınır değerler açısından geliştirilmesi gerekli ve önemlidir.

KAYNAKLAR

- Amann, M., Cofala, J., Klimont, Z., Nagl, C., Schieder, W. 2018. Measures to Address Air Pollution From Small Combustion Sources. Report for Specific Agreement 11 under Framework Contract ENV.C.3/FRA/2013/00131 of DG-Environment of the European Commission.
- Atchison, J.E., Hettenhaus, J.R. 2004. Innovative methods for corn stover collecting, handling, storing and transporting. Report No: NREL/SR-510-33893.
- Cochran, W.G. 1977. *Sampling Techniques*. 3rd Edition. John Wiley&Sons, New York.
- Çelik, B. 2011. *Pellet Üretim Tesisinin Fizibilitesi: Bartın Örneği*. Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- EN14774-2, 2009. Solid biofuels - Determination of moisture content - Oven dry method - Part 2: Total moisture - Simplified method European Committee for Standardization: Management Centre, Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels.
- EN14775, 2009. Solid biofuels - Determination of ash European Committee for Standardization: Management Centre, Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels
- EN14918, 2009. Solid biofuels - Determination of calorific European Committee for Standardization: Management Centre, Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels

- EN15103, 2009. Solid biofuels - Determination of bulk density European Committee for Standardization: Management Centre, Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels.
- EN15210-2, 2010. Solid biofuels - Determination of mechanical durability of pellets and briquettes - Part 2: Briquettes European Committee for Standardization: Management Centre, Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels.
- EN16127, 2012. Solid biofuels - Determination of length and diameter of pellets European Committee for Standardization: Management Centre, Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels.
- Gürdil, G.A.K., Baz Y.Ö., Demirel Ç, Demirel B. 2015. Yakıt peleti ve briketi için güncellenmiş avrupa birliği standartları ve ilgili parametreler. *U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29(2): 147-156.
- Gürel, B. 2020. Türkiye'deki güncel biyokütle potansiyelinin belirlenmesi ve yakılmasıyla enerji üretimi iyi bir alternatif olan biyokütle atıklar için sektörel açıdan ve toplam yanma enerji değerlerinin hesaplanması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(2), 407-416.
- Han, Y, Bakır, G. 2010. Özel besi işletmelerinin barınak yapısı ve etkileyen faktörler. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 41 (1): 45-51.
- IKHKY, 2009. Isınmadan Kaynaklanan Hava kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği.
- Karaca, N.K. 2021. *Current Status and The Future Projections of The Turkish Pellet Fuel Industry: A Survey Study*. The Graduate School of Social Sciences of Middle East Technical University, Master Thesis.
- Ray, A., Hoover A. N., Nagle N., Chen X., Gresham, G. 2013. Effect of pelleting on the recalcitrance and bioconversion of dilute-acid pretreated corn stover under low- and high- solids conditions. *Biofuels*, 4(3), 271-284.
- Sungur, B., Topaloğlu B., Özbey, M. 2018. Pelet yakıtlı yakma sistemlerinin ısıl performans ve emisyon açısından incelenmesi. *Mühendis ve Makina*, 59(693), 64-84.
- TS EN 303-5, 2021. Kazanlar-Bölüm 5: Katı yakıtlı kazanlar, elle ve otomatik yüklemeli, anma ısı çıktısı 500 kW'a kadar - Terim ve tarifleri, gerekler, deneyler ve işaretleme, Türk Standartları Enstitüsü.
- Tumuluru, J. 2016. Specific energy consumption and quality of wood pellets produced using high-moisture lodgepole pine grind in a flat die pellet mill. *Chemical Engineering Research & Design*, 110, 82-97.
- Tumuluru, J. S., Sokhansanj, S., Lim, C. J., Bi, T., Lau, A., Melin, S., Sowlati, T., Oveisi, E. 2010. Quality of wood pellets produced in British Columbia for export. *Applied Engineering in Agriculture*, 26(6): 1013-1020.
- Yamane, T. 2006. *Temel Örnekleme Yöntemleri*. Çev. Esin, A., Bakır, M.A., Aydın, C, Güzbüzel, E. Literatür Yayınları: 53. İstanbul.
- Zengin Y., Efendioğlu Çelik A., Dok M., Çolak S., Kargıdan A.İ., Çakır A., Semercioğlu A. 2020. Orman atıklarının pelet olarak değerlendirilme imkânlarının araştırılması. *Ormanlık Araştırma Dergisi*, 7:2, 113-119.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction and Research Questions & Purpose

Chemical and mechanical properties of pellet fuels such as good burning, high efficiency, low emission and particle emission are important factors affecting the amount of ash and slag waste. Considering these factors, it is expected that the pellets to be produced and used should be comply with the relevant standards. As quality characteristics which are also specified in the standards for pellet fuels are expected as low moisture content, high thermal values, low ash content and high density values. Pellet dimensions are also among the features that play an important role in easily transporting the pellet from the hopper to the combustion chamber. It is also important to determine the emission values of the gases (CO, CO₂, O₂, NO_x, SO_x, etc.) in the flue gas resulting from combustion in order to determine the combustion characteristics and the environmental effects of the fuel used in the systems such as stove, boiler where pellets are used. When the label information given by the manufacturer on the packaging for wood pellets produced and sold in Turkey is examined, it is seen that some of the information that should be given about the quality characteristics is generally not given fully or is given incomplete and wrong.

In this research, the quality properties of wood pellet samples produced and sold in Turkey as fuel and the compliance of these properties to related standards accepted for fuel properties of solid biofuels used also in Turkey (German DIN norms, Austrian Ö-norms and European EN norms) were investigated. In addition, the emission values and temperatures of the flue gases resulting from combustion were also determined. Emission limit values of specified in the different regulations and standards such as regulations of EU 2015/1185 and 2015/1189 determined according to the European Union Ecodesign-directive, standards of TS EN 303-5 (2021), regulation of "Industrial Air Pollution Control Regulation" (2014) and regulation of "Control of Air Pollution Resulting from Heating" (2009) were investigated. Then evaluation was made to determine which samples would be suitable for use in which combustion systems according to these emission limit values.

Methodology

The quality properties including dimensions and flue gas emission values of wood pellets samples were measured standard methods. In the experiments, first of all, sample volume was determined and wood pellet samples were obtained. Samples were collected from 10 different companies that manufacture and sell wood pellets from 5 different cities in Turkey. Sample volume (sample size) in this research was determined by taking into consideration of the number of official manufacturers (30). It is understood that it is sufficient to include the pellets, which are the products of 3 manufacturers (10% of the total number of manufacturers) into this research. But the sample volume has been chosen as 10 by keeping it as large as possible.

Wood pellet samples were named and numbered with the letter Ö (Ö1...Ö10). The length (mm), diameter (mm), density (kg/m³), mechanical strength (%), moisture content (%), ash content (%), calorific (heating) value (MJ/kg) as quality criteria were determined according to related standards. Standard measurements of diameter (EN 16127), length (EN 16127), pellet particle density (EN 16127) and bulk density (EN 15103), which are among the pellet quality characteristics, were made with 10 replications while the moisture content (EN 14774-2), ash content (EN 14775), mechanical strength (EN 15210-2) and heating value (EN 14918) measurements were performed with 3 replications. For

the flue gas analysis, the pellets were first burned in the combustion stove and the flue gas emission values (O_2 , CO_2 , CO , NO , NO_x and SO_2) formed as well as the flue gas temperature were measured using a flue gas analyzer. Finally, measured values for quality properties and flue gas emission of wood pellets were investigated in terms of the compliance with different standards and regulations. Results of quality properties were compared with the standards of DIN51731, DIN Plus, ÖNORM 7135, ISO 17225-2. The flue gas emission results were compared with the emission limits specified by the European Union regulations of 2015/1185 and 2015/1189, regulations on "Control of Industrial Air Pollution" (SKHKKY) and "Regulation on Control of Air Pollution Resulting from Heating" (IKHKKY) and TS EN 303-5 standard.

Results and Conclusions

According to the measurement results, it was determined that the length value is between 15.69-30.82 mm, the diameter value is between 6.06-10.39 mm, the density value is between 0.51-1.15 kg/m^3 , the mechanical strength value is 95.11-99.22%, moisture contents between 4.32-5.72%, ash contents between 1.03-2.03%, and heating values between 18.08-18.49 MJ/kg. Among the flue gas emission values, the O_2 content was measured between 12.7%-71.7%, the amount of CO was measured between 1443-2127 ppm, and the amount of NO_x was measured between 83.7-213 ppm. In terms of the limit values for the quality characteristics specified in the ISO 17225-2 standard, which is also valid in our country, 100% of the samples are suitable in terms of length, moisture content and heating value; In terms of diameter and bulk density, 80% of the samples were determined to comply with the standards. On the other hand, when the ash content results were examined, it was determined that the samples were not suitable for ENplusA1 class, 40% of the samples were in ENplusA2 class and 80% were in ENplusB class, 20% of the samples were non-standard. The CO emission values in the flue gas samples resulting from the burning of the pellet samples exceeded the emission limit value determined in the EU regulations, so it was determined that the pellet samples examined within the scope of this study were not suitable for any heating system specified in the EU Ecodesign-directive. Likewise, when the emission limits determined in IKHKKY and SKHKKY are examined, it has been determined that the pellet samples are not suitable in terms of CO emission in the combustion systems specified in these regulations. According to the CO emission values specified in the TS EN 303-5 standard, all the pellet samples we examined can only be used in all heating systems up to "Class 3" up to 50 kW thermal power, 80% of the pellets can be used in systems with 50 kW-150 kW thermal power, but it has been determined that none of them is suitable for systems with higher thermal power. Considering the results of this research in terms of increasing both the market share in domestic consumption and the export potential of the pellets produced in Turkey, it is clear that improvement of the quality characteristics (in terms of DINplus and ÖNORM 7135 limits especially ash content) and flue gas emission (in terms of the limit values specified in the European Union Ecodesign directive) is necessary and important.

Yazarların Biyografisi



Türkan AKTAŞ

1994 yılında Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümünde lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl Trakya Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümünde araştırma görevlisi olarak göreve başladı. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı'nda 1996 yılında yüksek lisans eğitimini, 2000 yılında ise doktora eğitimini tamamladı. 2008 yılında Tarımsal Mekanizasyon Bilim Alanında Üniversite Doçenti unvan ve yetkisini aldı. 2014 yılından bu yana Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği, Tarımsal Enerji Sistemleri Anabilim Dalı'nda Profesör olarak görevini sürdürmekte. Tarım ürünlerinin kurutulması, Biyolojik malzemelerin mühendislik özellikleri, Termokimyasal enerji dönüşüm yöntemleri konularında uzman. Adres: Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 59030, Tekirdağ, Türkiye. Tel: +90-282-2502262.

İletişim

taktas@nku.edu.tr

ORCID Adresi

<https://orcid.org/0000-0001-9977-859X>

Farklı Şekil İndeksine Sahip Marfona ve Hermes Patateslerin Fiziksel Özelliklerine Göre Kütle Modellemesi

Mass Modeling Based on The Physical Properties of Marfona and Hermes Potatoes With Different Shape Index

Ebubekir Altuntaş^{1,*} 

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

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

Makale Bilgisi

Alınış tarihi : 14.02.2022
Düzeltilme tarihi : 08.04.2022
Kabul tarihi : 11.04.2022

Anahtar Kelimeler:

Patates,
Boyut,
Projeksiyon Alanı,
Basık Küre Hacim,
Şekil İndeksi,
Kütle Modeli

Atf için:

Altuntaş, E., (2022). "Farklı Şekil İndeksine Sahip Marfona ve Hermes Patateslerin Fiziksel Özelliklerine Göre Kütle Modellemesi", *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 8(1): 41-57.

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, farklı şekil indeksine sahip Marfona ve Hermes patates çeşitlerinin geometrik özellikler, projeksiyon alanları ve hacim özelliklerine göre kütle modellemelerinin belirlenmesidir. Kütle tahmini için modellemelerde farklı sınıflandırmalar olarak; boyutlara göre 1. sınıflandırma, projeksiyon alanına göre 2. sınıflandırma ve hacim özelliklerine göre 3. sınıflandırma olarak dikkate alınmıştır. Bu amaçla, şekil indeksine göre Marfona ve Hermes ve karışık patates çeşitlerinin geometrik boyut özellikleri olarak; uzunluk (l), genişlik (w), kalınlık (t) boyutları, geometrik ortalama çap (Gmd); projeksiyon alanları olarak, birinci, ikinci ve üçüncü projeksiyon alanları (FPA , SPA , TPA) ve kriter alanı (Cae) ile hacim karakteristikleri olarak oblate sferoid (V_{obsp}) ve elipsoid sferoid (V_{ellsp}) hacimlerine göre kütle tahminlemesi yapılmıştır. Şekil indeksi (SI)'ne göre patatesler yuvarlak (100-160) ve oval (161-240) olarak karakterize edilmiştir. Kütle tahmini için analizlerde genel toplamda 114 lineer regresyon modeli kullanılmıştır ve maksimum belirtme katsayısı (R^2), minimum regresyon standart hatası (RSE) ve kök ortalama karesel hata ($RMSE$) değerleri dikkate alınarak modeller önerilmiştir. Patates çeşitleri arasında yuvarlak şekil indeksine göre boyutlar, projeksiyon alanları ve hacimler açısından patates yumrularının kütle tahmini etmede geliştirilen model Hermes çeşidinde belirlenirken, oval şekil indeksine göre ise Marfona çeşidinde belirlenmiştir. Tüm modeller içinde şekil indeksi dikkate alınmadan maksimum belirtme katsayısı (R^2), minimum regresyon standart hatası (RSE) ve kök ortalama karesel hata ($RMSE$) değerleri veren model, elipsoid küre hacmiyle kütle tahmini yuvarlak (100-160) şekil indeksinde $m=2.830 + 1.169V_{ellsp}$ ($R^2=0.940$, $RSE=5.112$, $RMSE=5.035$) ile Hermes çeşidinde belirlenmiş olup bu model önerilmiştir. Kütle tahminlerinde önerilen bu modeller; patates yumrularının hasat sonrası kullanımına yönelik olarak sınıflandırma, temizleme ve boyutlandırma işlemlerine ilişkin makine ve sistemlerin tasarım, projeleme ve geliştirilmesinde kullanılabilir.

Article Info

Received date : 14.02.2022
Revised date : 08.04.2022
Accepted date : 11.04.2022

Keywords:

Potato,
Dimension,
Projected Area,
Oblate Spheroid Volume,
Shape Index,
Mass Modeling

How to Cite:

Altuntaş, E., (2022). "Mass Modeling Based on The Physical Properties of Marfona and Hermes Potatoes With Different Shape Index", *Journal of Agricultural Machinery Science*, 8(1): 41-57.

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the mass modeling of Marfona, Hermes potato varieties with different shape indexes according to their geometric properties, projection areas, and volume properties. As different classifications in models for mass estimation; classification according to dimensions, 1st classification, 2nd classification according to projection area, and 3rd classification according to volume properties. For this purpose, the mass estimations were made according to geometric dimension characteristics as the length (l), width (w), thickness (t) dimensions, geometric mean diameter (Gmd), projected area characteristics as the first, second, and third projection areas (FPA , SPA , TPA), and criteria area (Cae), volume characteristics as the oblate spheroid (V_{obsp}) and ellipsoid spheroid (V_{ellsp}) of Marfona and Hermes and mixed potato varieties with shape index. Potatoes were characterized as round (100-160) and oval (161-240) according to the shape index (SI). For mass estimation, a general total of 114 linear regression models were used in the analyzes, and models were proposed considering the maximum coefficient of determination (R^2), minimum regression standard error (RSE), and root mean square error ($RMSE$) values. The model gave a maximum coefficient of determination (R^2), minimum regression standard error (RSE), and root mean square error ($RMSE$) values among all models, without taking into account shape index, mass estimation with ellipsoid sphere volume for round (100-160) shape index as $m=2.830 + 1.169V_{ellsp}$ ($R^2=0.940$, $RSE=5.112$, $RMSE=5.035$) in Hermes variety, and it can be recommended. Suggested models for mass estimation can be used in the design, project, and development of machines and systems for classification, cleaning, and sizing operations for post-harvest use of potato tubers.

1. GİRİŞ

Patates, Türkiye'de, temel gıda maddesi olarak yaygın bir şekilde yetiştirilmektedir. Türkiye'de, patates, 2019 yılında 4 milyon 979 bin ton üretimine karşın 2020 yılı istatistiklerine göre %4.4 artışla 5 milyon 200 bin ton üretimi ile çok önemli bir endüstri bitkisidir. Patates yumrularının kalitesi, çeşide, coğrafi etkilere, yetiştirme yöntemlerine göre farklılık göstermektedir (Anonymous, 2021).

Patateslerin boyutları, ABD sınıflandırmasına göre çap boyutuna bağlı olarak göre farklılık göstermektedir. Farklı boyutlandırmalar ve şekil farklılıkları bu sınıflandırma içinde yer almaktadır. Mekanik sınıflandırmada, genelde en küçük boyut tohumluk patates için kullanılmaktadır. Hasat sonrası patates yumruları, farklı boyutlara göre (>50 mm, 30–50 mm ve <30 mm pazarlanamaz) sınıflandırıldığı gibi, şekilsiz patatesleri seçme, hasarlı olanları ayırma ve patatesleri şekillerine göre paketleme işlemlerini bantlarda işçiler gerçekleştirmektedir.

Tüketiciler, aynı şekil ve büyüklükteki patatesleri tercih ettiğinden tarımsal ürün için şekil özelliği en önemli özelliklerdendir. Sınıflandırma, tek tip şekil ve boyut elde etmeye katkıda bulunmakta, böylece paketleme ve nakliye maliyetleri düşmekte, aynı zamanda optimal bir paketleme konfigürasyonu sağlamakla, ürün standartlarının karşılanması, pazar değerinin artırılması ve pazarlama faaliyetlerine önemli katkılar sağlanabilmektedir (Rashidi ve Seyfi, 2008).

Patatesler, çaplarına göre (>50 mm, 30–50 mm and <30 mm) olarak sınıflandırıldığı gibi, yuvarlak, oval, uzun ve çok uzun şekil özellikleriyle de sınıflandırılabilir. Patates yumrularının şekil indeksi (*SI*), özellikle üretici, tüketici ve sanayici için farklı kullanım amaçlarına göre önemli bir kalite parametresidir (Henriksen ve ark., 2006).

Kütle, boyut, yüzey alanı, hacim ve ağırlık gibi fiziksel özellikler patates yumrularının mekanik özelliklerini etkileyen parametrelerdir. Patates yumrularındaki değişkenlikler, şekil indeksi ile karakterize edilebilir. Herhangi bir ürünün boyutu genel olarak kütlesi ile ilişkilendirilebilir. Seçilen geometrik özellikler temelinde sınıflandırma, toplu bir sınıflandırmadan daha etkili bir sonuç verebilir. Ayrıca, ürünün kütle modeli bilindiğinde, ürünün kütesinin geometrik özelliklerinden kolayca tahmin edilebilmesi mümkündür.

Kütle modellemesini tahmin etmek için, tarımsal materyallerin fiziksel karakteristiklerinin kullanıldığı çok sayıda çalışma yapılmıştır. Örneğin: Tabatabaeefar (2002), patates çeşitleri için; Lorestani ve Tabatabaeefar (2006), bergamot meyvesi için; Jahromi ve ark. (2007), kivi meyvesi için; Sharifi ve ark. (2007), portakal meyvesi için; Gorji Chakespari ve ark. (2010), elma çeşitleri için; Berberoglu ve ark., (2014), patates çeşitleri için; Saraçoğlu ve Özarslan (2015) kiraz domates meyveleri için; Mahawar et al. (2019), kinnow mandarin için; Sasikumar ve ark. (2020), kan meyvesi (blood fruit, *Haematocarpus validus*) için; Zainal A'Bidin ve ark (2020) muz meyveleri için; Altuntaş (2021), Japon elması için; Altuntas ve Mahawar (2021), karayemiş meyvesi için kütle modellemesi çalışmalarını yapmışlardır.

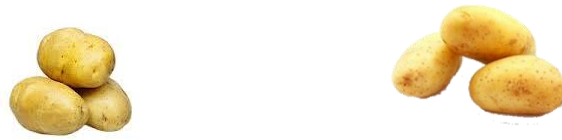
Vursavuş ve Kesilmiş (2016), Bandita F1 çeşidine ait domates meyveleri için hasarsız çarpma tekniği kullanarak kütle tahminlerine ait değişik modeller geliştirmişlerdir. Bu kapsamda değerlendirdikleri model eşitliği için çarpma parametreleriyle ölçülen ve tahmini domateslerin kütle değerleri arasındaki ilişkinin yüksek olduğunu ($R^2=0.94$ ve $R^2=0.92$) ifade etmişlerdir. Boydas ve ark. (2012), yenedünya meyvelerine ait çeşit ve genotipleri için kütle, boyut ve şekil özelliklerine yönelik görüntü işleme tekniğini kullanmıştır. Demir ve ark. (2019), farklı badem çeşitlerinin fiziksel özelliklerini eliptik Fourier yaklaşımıyla karşılaştırarak şekil analizlerini belirlemişlerdir.

Rashidi ve Gholami (2008), kütle tahminlerinin geometrik özelliklere dayalı olarak modellenmesinin ticari ölçekte faydalı ve uygulanabilir olabildiğini vurgulamışlardır. Tabatabaeefar (2002), patateslerin boyut ve şekil özelliklerini incelemiş, sınıflandırma ve derecelendirme açısından hacim ve karıştırılmış çeşitler arasında önemli bir korelasyon ($r=0.98$) bulmuştur.

Kütle modellenmesi kullanılarak elde edilen matematiksel ilişkiler, patates yumrularının ticari ölçekte derecelendirmesine yardımcı olmasının yanında sürecin daha doğru ve daha az emekle yapılmasına da katkı sunabilmektedir. Bu durum, patates yumrularının üretici, tüketici ve sanayici açısından ürünün pazar değerini ve ticarileştirme potansiyelini artırabilmektedir. Bu nedenle, bu araştırmanın amacı, kütle tahmini için patates yumrularının şekil indeksine dayalı optimum kütle modellerinin belirlenmesidir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

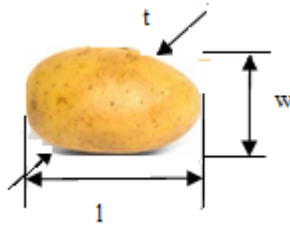
Çalışmadaki kullanılan, patates Marfona ve Hermes çeşididir (Şekil 1). Marfona çeşidi, Hollanda, Hermes çeşidi ise Avusturya menşelidir (Anonymous, 2005). Marfona orta erkenci, yüksek verimli bir çeşit olup, Hermes çeşidi ise, cips sanayinde kullanılan bir çeşittir. Patatesler, Nevşehir ilindeki bir üreticiden temin edilmiştir.



(a) Marfona çeşidi

(b) Hermes çeşidi

Şekil 1. Patates çeşitleri



Şekil 2. Bir patates yumrusunun üç eksenli boyutunun (l, w, t) gösterimi.

Marfona ve Hermes patates çeşitlerine ait yumrular için öngörülen kütle modellenmesinde birincil olarak boyutlar (Şekil 2), ikincil olarak projeksiyon alanı ve üçüncül olarak hacim olmak üzere 3 farklı sınıflandırma yapılmıştır. Boyuta dayalı model sınıflandırması için farklı patateslerin bağımsız değişkenleri (uzunluk, genişlik, kalınlık ve geometrik ortalama çap sırasıyla l , w , t , Gmd) dikkate alınarak kütle modellenmesi yapılmıştır. İkincil olarak projeksiyon alanına dayalı model sınıflandırması ve kütle tahmini için her bir çeşit ve her bir SI için patates yumrularının birinci, ikinci ve üçüncü projeksiyon alanları (FPA , SPA , TPA) ve kriter alanı (Cae) dikkate alınmıştır. Üçüncül olarak yapılan sınıflandırmada, her bir çeşit ve her bir SI için hacim parametreleri olarak basık küre ve elipsoid küre hacimleri (V_{obs} ve V_{ellsp}) dikkate alınarak kütle modellenmesi yapılmıştır.

Patates yumrularının kütle modellemesi için yumru boyutları, projeksiyon alanları ve hacim özellikleri kapsamında, patates yumrularının aksel boyutlarının ölçümünde 0.01 mm hassasiyetli dijital kumpas (Mitutoyo, CD-6CSX, Japonya) kullanılmıştır. Patates yumrularının birim kütlelerinin belirlenmesi için ise 0.01 g çözünürlükteki dijital elektronik terazi (Radwag, PS 4500/C/1, Polonya) kullanılmıştır. Geometrik ortalama çap değeri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Gmd = (lwt)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

Her patates çeşidi için patates yumrularının şekil indeksi (*SI*) aşağıda verilen denklem kullanılarak hesaplanmıştır (Singh ve ark., 2004):

$$SI = \frac{l^2}{wt} \times 100 \quad (2)$$

Şekil indeksine göre patates yumruları sırasıyla yuvarlak (*SI*=100-160) ve oval (*SI*=161-240) olarak tanımlanmış ve her *SI* grubu için Morfona ve Hermes çeşidi için 100'er yumru kullanılmıştır. Karıştırılmış çeşit tanımlamasında ise her *SI* grubu için çeşit bazında 200 yumru değerlendirmeye alınmıştır.

Projeksiyon alanlarına göre kütle tahmininde kullanılan birinci projeksiyon alan (*FPA*), ikinci projeksiyon alanı (*SPA*), üçüncü projeksiyon alanı (*TPA*) ve kriter alanı (*Cae*) değerleri için aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır (Khezri ve ark., 2012).

$$FPA = \frac{\pi lw}{4} \quad (3)$$

$$SPA = \frac{\pi lt}{4} \quad (4)$$

$$TPA = \frac{\pi wt}{4} \quad (5)$$

$$Cae = \frac{FPA + SPA + TPA}{3} \quad (6)$$

Patates yumrularının kütle tahmini için kütle hacimle ilişkilendirilmiş olup, patates yumrularının hacimleri, basık küre (oblate spheroid, V_{obsp}) ve elipsoid küre (elipsoid spheroid, V_{ellsp}) hacimleri, Jahromi ve ark. (2008); Altıntaş ve Mahawar (2021) tarafından açıklanan aşağıdaki eşitlikler kullanılarak belirlenmiştir.

$$V_{obsp} = \frac{4\pi}{3} \left(\frac{l}{2}\right) \left(\frac{w}{2}\right)^2 \quad (7)$$

$$V_{ellsp} = \frac{4\pi}{3} \left(\frac{l}{2}\right) \left(\frac{w}{2}\right) \left(\frac{t}{2}\right) \quad (8)$$

Araştırmada patates yumrularının kütle tahmini için aşağıdaki çoklu lineer (doğrusal) regresyon modeli kullanılmıştır.

$$Y = k_0 + k_1X_1 + k_2X_2 + k_3X_3 + \dots + k_nX_n \quad (9)$$

Y = Bağımlı değişken (Patates yumrusu),

X_1, X_2, \dots, X_n = Bağımsız değişkenler (Patates yumrusunun meyvelerinin fiziksel özellikleri),

$k_0, k_1, k_2, \dots, k_n$ = Regresyon katsayılarıdır (Rashidi ve Seyfi, 2008).

Her üç model sınıflandırması için, bir, iki veya üç farklı bağımsız değişken aşağıdaki gibi dikkate alınarak kütle modellemesi formüle edilmiştir. Birinci grup kütle boyut özelliklerine ait patates yumrularının l, w, t, Gmd değerleri sırasıyla geometrik boyutlarına ait kütle tahmini model eşitlikleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

$$m = k_1l + k_2 \quad (10)$$

$$m = k_1w + k_2 \quad (11)$$

$$m = k_1t + k_2 \quad (12)$$

$$m = k_1l + k_2w + k_3 \quad (13)$$

$$m = k_1l + k_2t + k_3 \quad (14)$$

$$m = k_1w + k_2t + k_3 \quad (15)$$

$$m = k_1l + k_2w + k_3t + k_4 \quad (16)$$

İkinci grup sınıflandırmada, projeksiyon alanı tahmin modelleri için, patates çeşitleri ve patates yumrularının FPA, SPA, TPA, Cae projeksiyon alanları dikkate alınarak; bir, iki veya üç projeksiyon alanının bir fonksiyonu olarak kütle tahmini model eşitlikleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

$$m = k_1FPA + k_2 \quad (17)$$

$$m = k_1SPA + k_2 \quad (18)$$

$$m = k_1TPA + k_2 \quad (19)$$

$$m = k_1Cae + k_2 \quad (20)$$

$$m = k_1FPA + k_2SPA + k_3 \quad (21)$$

$$m = k_1FPA + k_2TPA + k_3 \quad (22)$$

$$m = k_1SPA + k_2TPA + k_3 \quad (23)$$

$$m = k_1FPA + k_2SPA + k_3TPA + k_4 \quad (24)$$

Üçüncü grup sınıflandırmada, hacimsel kütle tahmin modelleri için, patates yumrularının V_{obsp} ve V_{ellsp} (basık küre ve elipsoid küre) gibi hacimlerine göre bir ve iki değişkenli hacmin bir fonksiyonu olarak kütle tahmini model eşitlikleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

$$m = k_1V_{obsp} + k_2 \quad (25)$$

$$m = k_1V_{ellsp} + k_2 \quad (26)$$

$$m = k_1V_{obsp} + k_1V_{ellsp} + k_3 \quad (27)$$

Üç sınıflandırmada da her bir çeşitte boyutlar için 8, toplamda 24, projeksiyon alanları için 8 toplamda 24 ve hacimler için 3 toplamda 9 olmak üzere; şekil indeksi için de aynı değerler dikkate

alındığında genel toplamda $57 \times 2 = 114$ doğrusal regresyon modeli belirlenmiş ve tüm veriler için Microsoft Excel programı kullanılmıştır. Analizlerde belirtme katsayısı (R^2) ve regresyon standart hatası (RSE) ile kök ortalama kare hatası ($RMSE$) dikkate alınmıştır. Maksimum R^2 ve minimum RSE ve $RMSE$ (Kök ortalama kare hatası) değerlerine sahip modeller kütle tahmini için önerilebilir olarak kabul edilmiştir (Mahawar ve ark., 2019; Altuntas ve Mahawar, 2021).

Kök ortalama kare hatası (hatanın ortalama karekökü, $RMSE$) aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır (Rashidi ve Gholami, 2011).

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(M_i - m_i)^2}{n}} \quad (28)$$

M_i = Ölçümü yapılan patates yumrusu,
 m_i = Kütle modeli ile tahmin edilen patates yumrusu,
 n = örnek sayısı'dır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Farklı şekil indeksine sahip sırasıyla yuvarlak (100-160) ve oval (161-240) şekilli farklı patates çeşitlerine (Marfona, Hermes ve Karışık) ait kütle modellerinin belirlenmesinde kullanılan bazı fiziksel özellikler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Farklı şekil indeksine sahip Marfona, Hermes ve karışık patates çeşitlerinin fiziksel özellikleri

Fiziksel özellikler	Yuvarlak (SI=100-160)			Oval (SI=161-240)		
	Marfona	Hermes	Karışık (*)	Marfona	Hermes	Karışık
Şekil İndeksi (SI)	144.632±10.568	143.277±10.736	143.955±10.647	193.013±21.888	174.568±11.900	183.791±19.856
Kütle (m, g)	105.014±8.640	95.316±21.109	100.165±16.806	113.818±20.238	96.341±22.634	105.079±23.138
Uzunluk (l, cm)	6.289±0.234	5.970±0.490	6.130±0.415	7.030±0.558	6.447±0.562	6.739±0.630
Genişlik (w, cm)	5.567±0.165	5.508±0.441	5.552±0.335	5.615±0.494	5.412±0.604	5.513±0.559
Kalınlık (t, cm)	4.899±0.207	4.101±0.467	4.714±0.353	4.590±0.325	4.414±0.310	4.502±0.329
Geometrik ortalama çap (Gmd, cm)	5.554±0.128	5.289±0.398	5.422±0.324	5.644±0.386	5.349±0.465	5.496±0.451
Birincil projeksiyon alanı (FPA, cm ²)	27.651±1.488	25.972±4.029	26.811±3.144	31.143±4.758	27.642±5.247	29.393±5.295
İkincil projeksiyon alanı (SPA, cm ²)	24.206±1.507	21.344±3.302	22.775±2.934	25.425±3.426	22.473±3.432	23.949±3.727
Üçüncül projeksiyon alanı (TPA, cm ²)	21.529±1.024	19.681±2.926	20.605±2.375	20.307±2.868	18.890±3.300	19.598±3.164
Kriter alan (Cae, cm ²)	24.462±1.146	22.332±3.345	23.397±2.713	25.625±3.541	23.002±3.961	24.313±3.972
Basık küre hacmi (V_{obs} , cm ³)	103.286±8.199	96.496±22.108	99.891±16.976	117.996±27.913	101.786±29.594	109.891±29.822
Elipsoid küre hacmi (V_{ellsp} , cm ³)	90.320±6.362	79.171±17.620	87.745±14.346	95.936±19.872	82.334±20.815	89.412±21.412

*: n= 200 yumru; ±: Standart sapma

Patates çeşitleri dikkate alınmadan; yuvarlak şekle sahip SI=100-160 grup için, fiziksel parametre aralıkları; 95.32-105.01 g (m), 5.97-6.29 cm (l), 5.51-5.57 cm (w), 5.29-5.55 cm (Gmd), 22.33-24.46 cm² (Cae), 96.50-103.29 cm³ (V_{obs}) ve 79.17-90.32 cm³ (V_{ellsp}) olarak bulunurken, SI değerleri ise 143.28-144.63 aralığında değişmiştir. Oval şekil indeksine sahip SI=161-240 grupta fiziksel parametre aralıkları ise 96.34-113.82 g (kütle), 6.45-7.03 cm (uzunluk), 5.41-5.62 cm (genişlik), 5.35-5.64 cm

(*Gmd*), 23.00-25.63 cm² (*Cae*), 101.79-118.00 cm³ (*V_{obsp}*) ve 82.33-95.94 cm³ (*V_{ellsp}*) olarak bulunmuş, *SI* değerleri ise 174.57-193.01 aralığında değişmiştir. Tabatabaeefar (2002), Vital, Agria ve Ajacks patates çeşitleri için patates yumrularının ortalama geometrik ortalama çaplarının sırasıyla 4.92 cm, 6.50 cm, 6.20 cm ve yumru ağırlığının ise sırasıyla 71.1, 219, 173 g olduğunu bildirmiştir. Özellikle Agria çeşidi patates yumrularına ait değerlerin, çalışmada kullanılan Marfona ve Hermes çeşitlerinden daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir.

Altıntaş ve ark. (2013), Jelly patates çeşidine ait patates yumrularının 4 farklı patates boyutuna göre; uzunluk, genişlik, kalınlık, geometrik ortalama çap değerlerinin 5.41-10.08 cm, 4.05-7.00 cm, 3.60-5.59 cm ve 4.27-7.29 cm aralığında değiştiğini açıklamışlardır. Abd Elhay (2017), Astrix, Diamont and Santana patates çeşitleri arasında uzunluk, genişlik ve kalınlık değerlerinin sırasıyla 66.48-9.88 cm, 4.51-5.82 cm ve 3.87-4.41 cm aralığında değiştiğini belirtmişlerdir.

Çalışmada, patates yumrularına ait kütle ile boyutlar, projeksiyon alanı ve hacimlere ait ilişkilere dair korelasyon katsayıları (*R*) belirlenmiş ve Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Farklı şekil indeksine sahip Marfona, Hermes ve karışık patates çeşitlerinin kütle ve fiziksel özelliklerine ilişkin korelasyon katsayıları

Fiziksel özellikler	Yuvarlak (<i>SI</i> =100-160)								
	Marfona			Hermes			Karışık çeşit		
	Oran	DF	R	Oran	DF	R	Oran	DF	R
<i>m/l</i>	16.698	98	0.756**	15.966	98	0.918**	16.341	198	0.898**
<i>m/w</i>	18.764	98	0.624**	17.305	98	0.891**	18.050	198	0.850**
<i>m/t</i>	21.436	98	0.333 ^{ns}	21.048	98	0.877**	21.250	198	0.780**
<i>m/Gmd</i>	18.907	98	0.868**	12.907	98	0.983**	18.475	198	0.951**
<i>m/FPA</i>	3.798	98	0.794**	3.670	98	0.969**	3.736	198	0.935**
<i>m/SPA</i>	4.338	98	0.541*	4.843	98	0.960**	4.398	198	0.900**
<i>m/TPA</i>	4.878	98	0.751**	4.014	98	0.975**	4.861	198	0.925**
<i>m/Cae</i>	4.293	98	0.846**	4.268	98	0.982**	4.281	198	0.956**
<i>m/Vobsp</i>	1.017	98	0.975**	0.988	98	0.975**	1.003	198	0.920**
<i>m/Vellsp</i>	1.163	98	0.998**	1.204	98	0.998**	1.182	198	0.956**
Oval (<i>SI</i> =161-240)									
<i>m/l</i>	16.190	98	0.798**	14.943	98	0.782**	15.594	198	0.822**
<i>m/w</i>	20.272	98	0.855**	17.801	98	0.722**	19.059	198	0.777**
<i>m/t</i>	24.800	98	0.739**	21.829	98	0.695**	23.343	198	0.738**
<i>m/Gmd</i>	20.167	98	0.932**	18.011	98	0.758**	19.118	198	0.851**
<i>m/FPA</i>	3.655	98	0.963**	3.485	98	0.993**	3.575	198	0.851**
<i>m/SPA</i>	4.477	98	0.871**	4.287	98	0.969**	4.388	198	0.836**
<i>m/TPA</i>	5.605	98	0.878**	5.100	98	0.967**	5.362	198	0.815**
<i>m/Cae</i>	4.442	98	0.956**	4.188	98	0.993**	4.322	198	0.856**
<i>m/Vobsp</i>	0.965	98	0.975**	1.000	98	0.975**	0.956	198	0.835**
<i>m/Vellsp</i>	1.186	98	0.998**	1.144	98	0.998**	1.179	198	0.855**

DF: Serbestlik derecesi; R: Korelasyon katsayısı; **: $p < 0.01$ önemli; ns: Önemsiz

Çizelge 2'ye göre, yuvarlak ve oval şekil indeksi bazında; farklı çeşit patates yumrularının kütleleri ile boyut, projeksiyon alanı ve hacimleri arasındaki ilişkiler sırasıyla; uzunluk, genişlik, geometrik ortalama çap, birinci projeksiyon alan, ikinci projeksiyon alan, üçüncü projeksiyon alan, kriter alanı, basık küresel hacim ve eliptik küresel hacim arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

Yuvarlak şekilli patates yumruları için (SI=100-160);

Marfona çeşidi için:

$$m = 16.70l = 18.76w = 21.44t = 18.91Gmd = 3.80FPA = 4.34SPA = 4.88TPA = 4.29Cae = 1.02V_{obsp} = 1.16V_{ellsp} \quad (29)$$

Hermes çeşidi için:

$$m = 15.97l = 17.31w = 21.05t = 12.91Gmd = 3.67FPA = 4.84SPA = 4.01TPA = 4.27Cae = 0.99V_{obsp} = 1.20V_{ellsp} \quad (30)$$

Karışık çeşit için:

$$m = 16.34l = 18.05w = 21.25t = 18.48Gmd = 3.74FPA = 4.40SPA = 4.86TPA = 4.28Cae = 1.00V_{obsp} = 1.18V_{ellsp} \quad (31)$$

Oval şekilli patates yumruları için (SI=161-240);

Marfona çeşidi için:

$$m = 16.19l = 20.27w = 24.80t = 20.17Gmd = 3.66FPA = 4.48SPA = 5.61TPA = 4.44Cae = 0.97V_{obsp} = 1.19V_{ellsp} \quad (32)$$

Hermes çeşidi için:

$$m = 14.94l = 17.80w = 21.83t = 18.01Gmd = 3.49FPA = 4.29SPA = 5.10TPA = 4.19Cae = 1.00V_{obsp} = 1.14V_{ellsp} \quad (33)$$

Karışık çeşit için:

$$m = 15.59l = 19.06w = 23.34t = 19.12Gmd = 3.58FPA = 4.39SPA = 5.36TPA = 4.32Cae = 0.96V_{obsp} = 1.18V_{ellsp} \quad (34)$$

Kütle ve fiziksel özellikler arasındaki korelasyon katsayıları için; m/l , m/w , m/t , m/Gmd , m/FPA , m/SPA , m/TPA , m/Cae , m/V_{obsp} , m/V_{ellsp} arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

3.1. Birincil sınıflandırma: Boyutlara göre modelleme

Boyutlara göre kütle tahmini için SI=100-160 ve SI= 161-240 yuvarlak ve oval şekil indeksine göre patates yumrularının kütle tahmini için geliştirilen ve önerilen modeller Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3'te boyutlara göre kütle tahmini için tüm geliştirilen modeller içinde, SI=100-160 yuvarlak şekil indeksine göre geliştirilen ve önerilen modeller arasında patates çeşitlerinden Marfona çeşidinde, uzunluk, genişlik ve kalınlık boyutlarının birlikte değerlendirildiği üç değişkenli model $m = -159.236 + 10.541l + 21.047w + 17.573t$ ($R^2=0.872$) olarak önerilirken, Hermes çeşidinde ise üç boyutlu değişkenli $m = -235.512 + 20.328l + 26.976w + 12.586t$ ($R^2=0.842$) model önerilebilir. Karıştırılmış çeşit değerlendirmesinde ise yuvarlak şekil indeksine göre üç değişkenli kütle modeli $m = -171.281 + 15.687l + 20.059w + 13.550t$ ($R^2=0.912$) olarak önerilebilir. Ancak, kütle tahmininde maksimum belirtme katsayısı (R^2), minimum regresyon standart hatası (RSE) ve kök ortalama karesel hata ($RMSE$) değerlerine göre genel olarak önerilecek model ise Hermes çeşidinde, geometrik ortalama çap değerine göre önerilen model olabilir:

$$m = -175.742 + 51.248Gmd \quad (R^2=0.933) \quad (35)$$

Çizelge 3. Yuvarlak ve oval şekil indeksli Marfona ve Hermes patates çeşitleri için boyut sınıflandırmasına dayalı doğrusal regresyon modelleri

SI=100-160						SI=161-240				
Patates çeşidi	No	Model	R ²	RSE	RMSE	No	Model	R ²	RSE	RMSE
Marfona	1.1	$m = -66.251 + 27.216l$	0.557	5.617	5.532	1.9	$m = -90.448 + 29.048l$	0.633	12.309	12.123
	1.2	$m = -71.101 + 31.450w$	0.363	6.737	6.635	1.10	$m = -85.907 + 35.545w$	0.734	10.475	10.317
	1.3	$m = 34.172 + 14.416t$	0.117	7.935	7.815	1.11	$m = -97.025 + 45.952t$	0.540	13.774	13.565
	1.4	$m = -213.65 + 18.432Gmd$	0.752	4.202	4.139	1.12	$m = -163.730 + 49.159Gmd$	0.870	7.338	7.227
	1.5	$m = -173.942 + 23.312l + 23.640w$	0.763	4.184	4.100	1.13	$m = -126.806 + 14.773l + 24.332w$	0.825	8.507	8.335
	1.6	$m = -96.516 + 25.63l + 8.214t$	0.593	5.389	5.280	1.14	$m = -144.131 + 20.193l + 25.266t$	0.737	10.420	10.210
	1.7	$m = -180.418 + 34.87w + 18.409t$	0.562	5.588	5.475	1.15	$m = -145.012 + 26.846w + 23.528t$	0.832	8.321	8.153
	1.8	$m = -235.512 + 20.328l + 26.976w + 12.586t$	0.842	3.354	3.269	1.16	$m = -159.236 + 10.541l + 21.047w + 17.573t$	0.872	7.271	7.086
Hermes	2.1	$m = -140.842 - 39.559l$	0.835	8.453	8.326	2.9	$m = -106.876 + 31.510l$	0.609	14.223	14.008
	2.2	$m = -137.386 + 42.225w$	0.788	9.595	9.450	2.10	$m = -50.870 + 27.214w$	0.518	15.784	15.546
	2.3	$m = -128.515 + 49.413t$	0.760	10.209	10.055	2.11	$m = -128.302 + 50.872t$	0.480	16.385	16.138
	2.4	$m = -175.742 + 51.248Gmd$	0.933	5.389	5.308	2.12	$m = -100.949 + 36.880Gmd$	0.570	14.904	14.678
	2.5	$m = -155.912 + 25.053l + 18.453w$	0.873	7.432	7.281	2.13	$m = -104.690 + 29.042l + 2.538w$	0.605	14.282	13.994
	2.6	$m = -164.783 + 25.764l - 23.477t$	0.905	6.409	6.280	2.14	$m = -90.113 + 39.188l - 15.010t$	0.611	14.187	13.900
	2.7	$m = -172.235 + 25.797w + 27.694t$	0.908	6.318	6.190	2.15	$m = -84.812 + 18.956w + 17.804t$	0.524	15.676	15.359
	2.8	$m = -175.438 + 14.756l + 15.430w + 21.568t$	0.932	5.451	5.313	2.16	$m = -79.970 + 35.860l + 5.835w - 19.594t$	0.610	14.193	13.834
Karışık	3.1	$m = -121.962 + 36.234l$	0.804	7.427	7.371	3.9	$m = -98.493 + 30.206l$	0.675	13.227	13.127
	3.2	$m = -135.584 + 42.451w$	0.719	8.876	8.809	3.10	$m = -73.211 + 32.321w$	0.605	14.583	14.473
	3.3	$m = -74.483 + 37.028t$	0.611	10.457	10.378	3.11	$m = -128.797 + 51.956t$	0.543	15.686	15.568
	3.4	$m = -166.631 + 49.200Gmd$	0.904	5.187	5.147	3.12	$m = -135.286 + 43.722Gmd$	0.724	12.176	12.085
	3.5	$m = -158.282 + 24.044l + 19.999w$	0.872	5.991	5.930	3.13	$m = -111.197 + 20.146l + 14.594w$	0.722	12.222	12.100
	3.6	$m = -134.783 + 27.958l + 13.479t$	0.842	6.657	6.591	3.14	$m = -130.485 + 22.973l + 17.935t$	0.700	12.713	12.585
	3.7	$m = -168.929 + 30.090w + 21.631t$	0.867	6.102	6.040	3.15	$m = -125.429 + 21.345w + 25.050t$	0.661	13.524	13.388
	3.8	$m = -171.281 + 15.687l + 20.059w + 13.550t$	0.912	4.978	4.916	3.16	$m = -128.128 + 17.422l + 12.352w + 10.586t$	0.729	12.075	11.923

m: kütle; *l*: uzunluk; *w*: genişlik; *t*: kalınlık; *k_i* is regresyon katsayısı; *RSE*: regresyon standart hatası, *RMSE*: kök ortalama kare hatası.

SI=161-240 oval şekil indeksine göre boyutlar açısından patates yumrularının kütle tahmin etmede geliştirilen ve önerilen modeller arasında patates çeşitlerinden Hermes çeşidinde, uzunluk, genişlik ve kalınlık boyutlarının göre $m = -159.236 + 10.541l + 21.047w + 17.573t$ ($R^2=0.872$) olarak belirlenirken, Marfona çeşidinde uzunluk ve kalınlık boyutlarının dikkate alındığı iki değişkenli $m = -90.113 + 39.188l - 15.010t$ ($R^2=0.611$) modeli ve karıştırılmış çeşit değerlendirmesinde ise uzunluk, genişlik ve kalınlık boyutlarının dikkate alındığı üç değişkenli kütle modeli $m = -128.128 + 17.422l + 12.352w + 10.586t$ ($R^2=0.729$) önerilebilir. Ancak kütle tahminlerinde maksimum belirtme katsayısı (R^2), minimum regresyon standart hatası (RSE) ve kök ortalama karesel hata ($RMSE$) değerlerine önerilen model ise Hermes çeşidi için, uzunluk, genişlik ve kalınlık boyutları ile aşağıdaki eşitliği verilen modeldir:

$$m = -159.236 + 10.541l + 21.047w + 17.573t \quad (R^2=0.872) \quad (36)$$

Valencia ve Moro çeşidine ait portakal meyvelerinin görüntü işleme yöntemiyle, şekil ve boyut özelliklerini Sayıncı ve ark. (2012) incelemişler ve portakal çeşitlerinin geometrik ortalama çap ve yüzey alanını tahminlemede kütle ve hacim arasında yüksek belirtme katsayılarına yönelik lineer eşitlikler geliştirmişlerdir. Er ve ark. (2013) ise, makine öğrenmesiyle otomatik olarak standartlara uygun ve daha hızlı bir meyve sınıflandırma işlemi, elmaların bant üzerindeki anlık görüntülerini Matlab programı yardımıyla işleyerek görüntüler üzerinden renk, boyut ve kütle tahminleri yapmışlardır. Bu noktada, boyut, renk, sınıf ve kütle tahmininin %95.5 başarı ile sağlandığını açıklamışlardır.

3.2. İkincil sınıflandırma: Projeksiyon alanlarına göre modelleme

Projeksiyon alanlarına göre kütle tahmini için SI=100-160 ve SI= 161-240 yuvarlak ve oval şekil indeksine göre projeksiyon alanları açısından patates yumruların kütle tahmin etmede geliştirilen ve önerilen modeller Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4'te projeksiyon alanlarına göre kütle tahmini için tüm geliştirilen modeller içinde, SI=100-160 yuvarlak şekil indeksine göre birinci, ikinci ve üçüncü projeksiyon alanları ve kriter alan açısından Marfona çeşidinde, birinci, ikinci ve üçüncü projeksiyon alanlarının birlikte değerlendirildiği üç değişkenli model $m = -64.572 + 3.943FPA + 0.7275SPA + 1.992TPA$ ($R^2=0.846$) önerilirken, Hermes çeşidinde ise üç projeksiyon alanı değişkenli $m = -42.003 + 1.484FPA + 2.201SPA + 2.633TPA$ ($R^2=0.937$) modeli önerilebilir. Karıştırılmış çeşit değerlendirmesinde ise yuvarlak şekil indeksine göre üç değişkenli projeksiyon alanına göre kütle modeli $m = -40.495 + 2.720FPA + 1.000SPA + 2.180TPA$ ($R^2=0.919$) önerilebilir. Ancak kütle tahminlerinde maksimum belirtme katsayısı (R^2), minimum regresyon standart hatası (RSE) ve kök ortalama karesel hata ($RMSE$) değerlerine önerilecek genel model ise Hermes çeşidinde, birinci, ikinci ve üçüncü projeksiyon alanlarına göre aşağıda eşitliği verilen modeldir:

$$m = -42.003 + 1.484FPA + 2.201SPA + 2.633TPA \quad (R^2=0.937) \quad (37)$$

Çizelge 4. Yuvarlak ve oval şekil indeksli Marfona ve Hermes patates çeşitleri için projeksiyon sınıflandırmasına dayalı doğrusal regresyon modelleri

<i>SI=100-160</i>			<i>SI=161-240</i>							
Patates çeşidi	No	Model	R ²	RSE	RMSE	No	Model	R ²	RSE	RMSE
Marfona	1.1	$m = -34.817 + 5.056FPA$	0.763	4.113	4.051	1.9	$m = -7.876 + 3.903FPA$	0.828	8.431	8.304
	1.2	$m = 12.673 + 3.808SPA$	0.459	6.209	6.115	1.10	$m = -16.623 + 5.129SPA$	0.749	10.179	10.026
	1.3	$m = -16.126 + 5.619TPA$	0.461	6.199	6.105	1.11	$m = -17.810 + 6.477TPA$	0.834	8.286	8.161
	1.4	$m = -46.82 + 6.20Cae$	0.772	4.036	3.975	1.12	$m = -23.826 + 5.367Cae$	0.872	7.274	7.164
	1.5	$m = -49.089 + 4.134FPA + 1.641SPA$	0.822	3.558	3.486	1.13	$m = -18.208 + 2.768FPA + 1.798SPA$	0.849	7.905	7.745
	1.6	$m = -66.296 + 4.110FPA + 2.676TPA$	0.841	3.368	3.300	1.14	$m = -19.724 + 1.991FPA + 3.517TPA$	0.874	7.209	7.064
	1.7	$m = -17.038 + 2.164SPA + 3.228TPA$	0.523	5.835	5.717	1.15	$m = -24.590 + 1.666SPA + 4.725TPA$	0.851	7.855	7.696
	1.8	$m = -64.572 + 3.943FPA + 0.7275SPA + 1.992TPA$	0.846	3.311	3.227	1.16	$m = -22.753 + 1.740FPA + 0.804SPA + 3.045TPA$	0.876	7.141	6.960
Hermes	2.1	$m = -32.128 + 4.907FPA$	0.873	7.410	7.298	2.9	$m = 4.804 + 3.312FPA$	0.584	14.658	14.437
	2.2	$m = -35.284 + 6.121SPA$	0.903	6.481	6.383	2.10	$m = -15.947 + 4.992SPA$	0.570	14.915	14.689
	2.3	$m = -40.402 + 6.895TPA$	0.913	6.129	6.036	2.11	$m = 1.888 + 5.000TPA$	0.526	15.654	15.417
	2.4	$m = -41.598 + 6.132Cae$	0.937	5.240	5.161	2.12	$m = -3.479 + 4.339Cae$	0.572	14.866	14.641
	2.5	$m = -39.530 + 2.103FPA + 3.760SPA$	0.929	5.500	5.438	2.13	$m = -2.308 + 2.389FPA + 1.451SPA$	0.582	14.685	14.389
	2.6	$m = -41.836 + 1.786FPA + 4.612TPA$	0.928	5.571	5.458	2.14	$m = 19.937 + 8.826FPA - 8.870TPA$	0.619	14.029	4.111
	2.7	$m = -40.907 + 2.712SPA + 3.977TPA$	0.927	5.625	5.511	2.15	$m = -17.171 + 5.553SPA - 0.603TPA$	0.566	14.984	14.681
	2.8	$m = -42.003 + 1.484FPA + 2.201SPA + 2.633TPA$	0.937	5.231	5.099	2.16	$m = 7.593 - 7.676FPA + 2.911SPA - 9.999TPA$	0.626	13.905	13.553
Karışık	3.1	$m = -33.564 + 4.987FPA$	0.872	5.987	5.942	3.9	$m = -4.617 + 3.729FPA$	0.725	12.174	12.083
	3.2	$m = -16.865 + 5.136SPA$	0.810	7.312	7.257	3.10	$m = -19.334 + 5.194SPA$	0.698	12.746	12.650
	3.3	$m = -34.369 + 6.526TPA$	0.857	6.333	6.285	3.11	$m = -12.059 + 5.974TPA$	0.664	13.446	13.345
	3.4	$m = -38.028 + 5.904Cae$	0.913	4.930	4.893	3.12	$m = -16.475 + 4.998Cae$	0.733	11.990	11.899
	3.5	$m = -36.448 + 3.265FPA + 2.153SPA$	0.910	5.013	4.963	3.13	$m = -14.029 + 2.405FPA + 2.019SPA$	0.734	11.885	11.766
	3.6	$m = -41.836 + 1.786FPA + 4.612TPA$	0.916	4.859	4.810	3.14	$m = -6.489 + 3.371FPA + 0.634TPA$	0.723	12.188	12.066
	3.7	$m = -41.807 + 2.823SPA + 3.214TPA$	0.866	6.141	6.080	3.15	$m = -21.6181 + 3.343SPA + 2.267TPA$	0.712	12.445	12.320
	3.8	$m = -40.495 + 2.720FPA + 1.000SPA + 2.180TPA$	0.919	4.760	4.700	3.16	$m = -13.688 + 2.480FPA + 2.057SPA - 0.176TPA$	0.736	11.914	11.764

m : kütle; FPA : uzunluk, SPA : genişlik; TPA : kalınlık; Cae : Kriter alan; k_i is regresyon katsayısı; RSE : regresyon standart hatası, $RMSE$: Kök ortalama kare hatası.

SI=161-240 oval şekil indeksine göre birinci, ikinci ve üçüncü projeksiyon alanları ve kriter alan açısından patates yumrularının kütle tahmin etmede geliştirilen ve önerilen modeller arasında patates çeşitlerinden Marfona çeşidinde, birinci, ikinci ve üçüncü projeksiyon alanların birlikte değerlendirildiği üç değişkenli model $m = -22.753 + 1.740FPA + 0.804SPA + 3.045TPA$ ($R^2=0.876$) olarak belirlenirken, Hermes çeşidinde ise üç projeksiyon alan değişkenli $m = 7.593 - 7.676FPA + 2.911SPA - 9.999TPA$ ($R^2=0.626$) modeli bulunmuştur. Karıştırılmış çeşit değerlendirmesinde ise yuvarlak şekil indeksine göre üç değişkenli projeksiyon alanına göre kütle modeli olarak $m = -13.688 + 2.480FPA + 2.057SPA - 0.176TPA$ ($R^2=0.736$) modeli önerilebilir. Ancak, kütle tahminlerinde maksimum belirtme katsayısı (R^2), minimum regresyon standart hatası (RSE) ve kök ortalama karesel hata ($RMSE$) değerlerine göre önerilecek genel model ise Marfona çeşidinde, birinci, ikinci ve üçüncü projeksiyon alanlarına göre aşağıda eşitliği verilen modeldir:

$$m = -22.753 + 1.740FPA + 0.804SPA + 3.045TPA \quad (R^2=0.876) \quad (38)$$

Saraçoğlu (2017), erik meyvelerinin kütle modellemesinde, projeksiyon alanlarına göre en yüksek R^2 değeri modeller içerisinde; Santa Rosa çeşidinde $m = -24.083 + 0.046PA_3$ ($R^2=0.961$, $RMSE=1.300$) ile Can çeşidinde ise $m = -5.247 + 0.026PA_1$ ($R^2 = 0.934$, $RMSE= 0.891$) olarak bulunduğunu açıklamıştır. Altuntas ve ark. (2014), üç değişkenli projeksiyon alanına dayalı kütle modellemesi en yüksek R^2 ve daha düşük RSE 'ye sahip olup, Jelly, Milva ve Sante patates çeşitleri için sırasıyla 0.858, 0.832 ve 0.843 olarak bulunmuş ve önerilen modelin Jelly patates çeşidi için $m = -40.883 + 1.515PL + 1.804PW + 2.890PT$ ($R^2=0.858$) olarak tahmin edildiğini açıklanmıştır. Vivek ve ark. (2018), Sohiong meyvelerinin kütle tahmini için belirlenen projeksiyon alanı uzunluk ekseninde belirlenmiş ve kütle tahmini modeliyse ($m = 1.740 P_L^{1.095}$; $R^2= 0.945$) olarak önerilmiştir.

3.3. Üçüncül sınıflandırma: Hacimlere göre modelleme

Hacimlere göre kütle tahmini için SI=100-160 ve SI= 161-240 yuvarlak ve oval şekil indeksine göre hacim değerleri açısından patates yumrularının kütle tahmin etmede geliştirilen ve önerilen modeller Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. Yuvarlak ve oval şekil indeksli Marfona ve Hermes patates çeşitleri için hacim sınıflandırmasına dayalı doğrusal regresyon modelleri

Patates çeşidi	No	SI=100-160			SI=161-240			R ²	RSE	RMSE
		Model	R ²	RSE	RMSE	No	Model			
Marfona	1.1	$m = 14.045 + 0.880V_{obsP}$	0.699	4.631	4.561	1.4	$m = 35.292 + 0.664V_{obsP}$	0.825	8.499	8.370
	1.2	$m = 0.674 + 1.154V_{ellSP}$	0.748	4.238	4.174	1.5	$m = 21.834 + 0.958V_{ellSP}$	0.875	7.179	7.071
	1.3	$m = -9.317 + 0.470V_{obsP} + 0.728V_{ellSP}$	0.845	3.323	3.256	1.6	$m = 23.188 + 0.136V_{obsP} + 0.776V_{ellSP}$	0.877	7.123	6.979
Hermes	2.1	$m = 9.772 + 0.886V_{obsP}$	0.859	7.817	7.699	2.4	$m = 37.795 + 0.576V_{obsP}$	0.560	15.083	14.855
	2.2	$m = 2.830 + 1.169V_{ellSP}$	0.940	5.112	5.035	2.5	$m = 28.769 + 0.820V_{ellSP}$	0.565	14.994	14.767
	2.3	$m = 2.850 - 0.027V_{obsP} + 1.201V_{ellSP}$	0.939	5.136	5.033	2.6	$m = 30.975 + 0.158V_{obsP} + 0.599V_{ellSP}$	0.561	15.057	14.753
Karışık	3.1	$m = 9.398 + 0.908V_{obsP}$	0.844	6.625	6.575	3.4	$m = 33.463 + 0.651V_{obsP}$	0.699	12.723	12.627
	3.2	$m = 5.503 + 1.116V_{ellSP}$	0.914	4.924	4.887	3.5	$m = 22.479 + 0.926V_{ellSP}$	0.731	12.022	11.931
	3.3	$m = 3.475 + 0.257V_{obsP} + 0.837V_{ellSP}$	0.924	4.623	4.577	3.6	$m = 23.050 + 0.053V_{obsP} + 0.854V_{ellSP}$	0.730	12.047	11.926

SI=100-160 yuvarlak şekil indeksine göre basık küre ve elipsoid küre hacimleri açısından patates yumrularının kütle tahmin etmede geliştirilen ve önerilen modeller arasında Marfona çeşidi patateste, basık küre ve elipsoid küre hacminin birlikte değerlendirildiği iki değişkenli model $m = -9.317 + 0.470V_{obsP} + 0.728V_{ellSP}$ ($R^2=0.845$) olarak belirlenirken, Hermes çeşidinde ise elipsoid küre

hacminin tek değişkenli olduğu $m=2.830+1.169V_{ellsp}$ ($R^2=0.940$) modeli bulunmuştur. Karıştırılmış çeşit değerlendirilmesinde ise yuvarlak şekil indeksine göre iki değişkenli basık küre ve ve elipsoit küre hacminin yer aldığı $m=3.475 + 0.257V_{obsp} + 0.837V_{ellsp}$ ($R^2=0.924$) modeli önerilebilir. Ancak *kütle tahminlerinde maksimum belirtme katsayısı* (R^2), minimum regresyon standart hatası (RSE) ve kök ortalama karesel hata ($RMSE$) değerlerine önerilecek genel model Hermes çeşidinde ise, elipsoid küre hacminin yer aldığı tek değişkenli aşağıda eşitliği verilen modeldir:

$$m=2.830+1.169V_{ellsp} (R^2=0.940) \quad (39)$$

SI=161-240 oval şekil indeksine göre basık küre ve elipsoid küre hacimleri açısından açılarından patates yumrularının kütle tahmin etmede geliştirilen ve önerilen modeller arasında patates çeşitlerinden Marfona çeşidinde, basık küre ve ve elipsoit küre hacminin birlikte değerlendirildiği iki değişkenli model $m= 23.188 + 0.136V_{obsp} + 0.776V_{ellsp}$ ($R^2=0.877$) olarak belirlenirken, Hermes çeşidinde ise elipsoid küre hacminin tek değişkenli olduğu $m= 28.769 + 0.820V_{ellsp}$ ($R^2=0.565$) modeli bulunmuştur. Karıştırılmış çeşit değerlendirilmesinde ise oval şekil indeksine göre iki değişkenli basık küre ve ve elipsoid küre hacminin yer aldığı $m= 22.479 + 0.926V_{ellsp}$ ($R^2=0.731$) modeli önerilebilir. Ancak *kütle tahminlerinde maksimum belirtme katsayısı* (R^2), minimum regresyon standart hatası (RSE) ve kök ortalama karesel hata ($RMSE$) değerlerine önerilecek genel model Hermes çeşidinde ise, elipsoid küre hacminin olduğu aşağıda eşitliği verilen tek değişkenli modeldir:

$$m= 23.188 + 0.136V_{obsp} + 0.776V_{ellsp} (R^2=0.877) \quad (40)$$

Tabatabaeefar (2002), farklı patates çeşitlerinde, fiziksel özellikler arasındaki ilişkileri belirlemiş ve karıştırılmış patateslerin (Draga+Agria+Ajacks) hacmi ve boyutları arasında $\ln V= 1.2 \ln a + 0.94 \ln b + 0.86 \ln c - 7.28$ modeliyle $R^2 = 0.98$ belirtme katsayısıyla yüksek bir korelasyon bulunduğunu; karıştırılmış patates çeşitlerinde kütle ve hacim arasında çok yüksek bir belirtme katsayısı ($R^2 = 0.994$) ile elde edilen model denkleminin $m=-0.6+0.93V$ olduğunu açıklamıştır. Golmohammadi ve Purrahi (2009), Agria, Satina ve Kayzer çeşitleri arasında patates yumrularının hacim değerlendirmesine göre önemli farklılıklar olduğunu ifade etmişlerdir. Altıntaş ve ark (2013), farklı patates çeşitleri ile yaptıkları çalışmada Jelly patates çeşidi için iki değişkenli kütle modellemesi olarak $m=0.613 + 0.0004V_{obsp} + 0.001V_{ellsp}$ ($R^2=0.985$) modelini önermişlerdir.

4. SONUÇ

Çalışmada, Marfona ve Hermes patates çeşidi ile karışık çeşitli patates yumrularının yuvarlak (SI=100-160) ve oval (SI=161-240) yumru şekil indeksine göre boyutları, projeksiyon alanları ve hacimlerle ilişkili olarak kütlelerinin tahmin edilmesine yönelik lineer modeller geliştirilmiştir. Patates çeşitleri arasında yuvarlak şekil indeksine göre boyutlar açısından patates yumruların kütle tahmin etmede geliştirilen model Hermes çeşidinde geometrik ortalama çap değerine göre $m=-175.742 + 51.248Gmd$ ($R^2=0.933$) olarak önerilirken, oval şekil indeksine göre Marfona çeşidinde $m=-159.236 + 10.541l + 21.047w + 17.573t$ ($R^2=0.872$) olarak üç değişkenli model önerilebilir. Projeksiyon alanlarına göre geliştirilen kütle tahmin modelinde yuvarlak (SI=100-160) şekil indeksine göre Hermes çeşidinde $m=-42.003 + 1.484FPA + 2.201SPA + 2.633TPA$ ($R^2=0.937$) üç değişkenli model önerilirken, oval (SI=161-240) yumru şekil indeksine göre Marfona çeşidinde

$m = -22.753 + 1.740FPA + 0.804SPA + 3.045TPA$ ($R^2=0.876$) üç değişkenli model önerilebilir. Geometrik boyutlar dikkate alınarak hesaplanan basık ve elipsoid küre hacimlerine göre patates çeşitleri için yuvarlak ($SI=100-160$) yumru şekil indeksine göre Hermes çeşidinde $m = 2.830 + 1.169V_{ellsp}$ ($R^2=0.940$) tek değişkenli model önerilirken, oval ($SI=161-240$) yumru şekil indeksine göre Marfona çeşidinde $m = 23.188 + 0.136V_{obsp} + 0.776V_{ellsp}$ ($R^2=0.877$) iki değişkenli model önerilebilir. Boyutlar, projeksiyon alanları ve hacimsel olarak kütle tahminlerinde önerilen modeller; patates yumrularının hasat sonrası tohumluk, sofralık ve sanayilik amaçlı kullanımına yönelik olarak sınıflandırma, temizleme ve boyutlandırma işlemlerine ilişkin makine ve sistemlerin tasarım, projeleme ve geliştirilmesinde kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Abd Elhay, YB. (2017). Determination of some physical and mechanical properties of potato tubers related to design of sorting, cleaning and grading machine. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, 34 (3), 1375-1388.
- Anonymous. (2005). Netherlands Potato Consultative Foundation (NIVAP), Netherlands, 2005. Available at: <http://europotato.org/datasource>.
- Anonymous. (2021, Şubat 01). <https://www.tarimorman.gov.tr>.
- Altuntaş, E. (2021). [Japon elmasının fiziksel özelliklerine göre doğrusal regresyon modelleri ile kütle tahmini](#). *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi* 10 (1), 153-161.
- Altuntas, E., Mahawar, M.K. (2021). [Mass prediction of cherry laurel genotypes based on physical attributes using linear regression models](#). *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University*, 38(1), 87-94.
- Altuntas, E., Yilmaz, G., Karan, Y.B., Dulger, E. (2013). [Assessment of the physico-mechanical, chemical and colour characteristics of potatoes depending on tuber size and cultivar](#). *International Journal of Food Engineering*, 9(4), 487-497.
- Berberoglu, E., Altuntas, E., Dulger, E. (2014). Development of adequate mathematical models to predict the mass of potato varieties from their some physical attributes. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University*, 31(3), 1-9.
- Boydas, M.G., Sayinci, B., Gozlekci, S., Oztürk, I., Ercisli, S. (2012). Basic physical properties of fruits in loquat (*Eriobotrya Japonica* (Thunb. Lindl.) cultivars and genotypes determined by both classical method and digital image processing. *African Journal of Agricultural Research*, 7(29), 4171-4181.
- Demir, B., Sayıncı, B., Çetin, N., Yaman, M., Çömlek, R. (2019). Shape discrimination of almond cultivars by elliptic fourier descriptors. *Erwerbs-Obstbau*, 61(3), 245-256.
- Er, O., Cetişli, B., Sofu, M.M., Kayacan, M.C. (2013). Gerçek zamanlı otomatik elma tasnifleme. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17(2), 31-38.
- Golmohammadi, A., Purrahimi G. (2009). Physical Properties of Three Potato Varieties During Storage Period. *10. International Agricultural Engineering Conference, Asian Association for Agricultural Engineering, 7-10 December, 2009*.
- Gorji Chakespari, A., Rajabipour, A., Mobli, H. (2010). Mass modeling of two apple varieties by geometrical attributes. *Australian Journal of Agricultural Engineering*, 1(3), 112-118.
- Henriksen, C.B., Molgaard, J.P., Rasmussen, J. (2006). The effect of autumn ridging and inter-row subsoiling on potato tuber yield and quality on a sandy soil in Denmark. *Soil & Tillage Research*, 93: 309-315.

- Jahromi, M.K., Jafari, A., Rafiee, S., Mirasheh, R., Mohtasebi, S.S. (2008). Mass modeling of date fruit (cv. Zahedi) with some physical characteristics. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 3(1), 127-131.
- Jahromi, M.K., Rafiee, S., Mirasheh, R., Jafari, A., Mohtasebi, S.S., Ghasemi Varnamkhasti M. (2007). Mass and Surface Area Modeling of Bergamot (*Citrus medica*) Fruit with Some Physical Attributes. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript FP 07 029*. Vol. IX. October, 2007.
- Khezri, S.L., Rashidi, M., Gholami, M. (2012). Modeling of Peach Mass Based on Geometrical Attributes Using Linear Regression Models. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 12 (7), 991-995.
- Lorestani, A.N., Tabatabaefar, A. (2006). Modelling the mass of kiwifruit by geometrical attributes. *Int. Agrophysics*, 20, 135-139.
- Mahawar, M.K., Bibwe, B., Jalgaonkar, K., Ghodki, B.M. (2019). Mass modeling of kinnow mandarin based on some physical attributes. *Journal of Food Process Engineering*, 42 (5), <https://doi.org/10.1111/jfpe.13079>.
- Rashidi, M., Seyfi, K. (2008). Modeling of kiwifruit mass based on outer dimensions and projected areas. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 3, 14-17.
- Rashidi, M., Gholami, M. (2008). Classification of Fruit Shape in Kiwifruit Using the Analysis of Geometrical Attributes. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 3(2), 258-263.
- Saraçoğlu, T. (2017). Mathematical Models for Estimating the Mass of Plum Fruit by Selected Physical Properties. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpasa University*, 34 (3), 82-90.
- Saraçoğlu, T., Özarlan, C. (2015). Kiraz Domatesi Meyvesinin Kütle ve Hacminin Matematiksel Modellemesi. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 12(1), 103-108.
- Sasikumar, R., Vivek, K., Chakkaravarthi, S., Deka, S.C. (2020). Physicochemical Characterization and Mass Modeling of Blood Fruit (*Haematocarpus Validus*) – An Underutilized Fruit of Northeastern India, *International Journal of Fruit Science*, <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1848752>
- Sayinci, B., Ercisli, S., Ozturk, I., Eryilmaz, Z., Demir, B. (2012). Determination of size and shape in the 'Moro' blood orange and 'Valencia' sweet orange cultivar and its mutants using image processing. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napuca*, 40(1), 234-242.
- Sharifi, M., Rafiee, S., Keyhani, A., Jafari, A., Mobli, H., Rajabipour A., Akram A. (2007). Some physical properties of orange (var. Tompson). *International Agrophysics*, 21, 391-397.
- Singh, S., Kumar, D., Singh B.P. (2004). Short note quantification of tuber shape in Indian potato cultivars. *Potato Journal*, 31(3-4), 205-207.
- Tabatabaefar, A. (2002). Size and shape of potato tubers. *International Agrophysics*, 16: 301–305.
- Vivek, K., Mishra, S., Pradhan R.C., 2018. Physicochemical characterization and mass modelling of *Sohiong* (*Prunus nepalensis* L.) fruit. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12, 923–936.
- Vursavuş, K.K., Kesilmiş, Z. (2016). Hasarsız çarpma tekniği kullanılarak domates meyvesinin kütle tahmini için farklı model yaklaşımlarının geliştirilmesi ve değerlendirilmesi *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 31, 385-392.
- Zainal A'Bidin, F.N., Shamsudin, R., Mohd Basri, M.S., Mohd Dom, Z. (2020). Mass Modelling and Effects of Fruit Position on Firmness and Adhesiveness of Banana Variety Nipah. *International Journal of Food Engineering*, e2019019.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction and Research Questions & Purpose

Potatoes can be classified according to their diameters (>50 mm, 30–50 mm, and <30 mm), as well as in different sizes with their round, oval, long, and very long shape indexes. The shape index (SI) of potato tubers is an important quality parameter, especially for producers, consumers, and industrialists, according to different usage purposes. Physical properties such as mass, size, projected area, and volume are parameters that affect the mechanical behavior of potato tubers against force. Mathematical relationships using mass models according to different shape indices can help grade potato tubers on a commercial scale, as well as contribute to a more accurate and less labor-intensive process. The aim of this study was to determine the mass modeling of Marfona, Hermes potato varieties with different shape indexes according to their geometric properties, projection areas, and volume properties.

Methodology

The potato varieties used in the study are Marfona and Hermes varieties. As different classifications in models for mass estimation; classification according to dimensions, 1st classification, 2nd classification according to projection area, and 3rd classification according to volume properties. For this purpose, the mass estimations were made according to geometric dimension characteristics as the length (l), width (w), thickness (t) dimensions, geometric mean diameter (Gmd), projected area characteristics as the first, second, and third projection areas (FPA , SPA , TPA), and criteria area (Cae), volume characteristics as the oblate spheroid (V_{obsp}) and ellipsoid spheroid (V_{ellsp}) of Marfona and Hermes and mixed potato varieties with shape index. Potatoes were characterized as round (100-160) and oval (161-240) according to the shape index (SI). For mass estimation, a general total of 114 linear regression models were used in the analyzes, and models were proposed considering the maximum coefficient of determination (R^2), minimum regression standard error (RSE), and root mean square error ($RMSE$) values.

Results and Conclusions

The model gave a maximum coefficient of determination (R^2), minimum regression standard error (RSE), and root mean square error ($RMSE$) values according to dimensions, considering the shape index, as $m = -159.236 + 10.541l + 21.047w + 17.573t$ ($R^2=0.872$) in Marfona variety for $SI=161-240$ oval shape index can be recommended. Among the models determined for mass estimation according to the round shape index according to the projection areas, the model as $m = -42.003 + 1.484FPA + 2.201SPA + 2.633TPA$ ($R^2=0.937$) for the Hermes variety can be recommended. The model gave a maximum coefficient of determination (R^2), minimum regression standard error (RSE), and root mean square error ($RMSE$) values among all models, without taking into account shape index, mass estimation with ellipsoid sphere volume for round (100-160) shape index as $m = 2.830 + 1.169V_{ellsp}$ ($R^2=0.940$, $RSE=5.112$, $RMSE=5.035$) in Hermes variety and it can be recommended. The suggested models for mass estimation can be used in the design, project, and development of machines and systems for classification, cleaning, and sizing operations for post-harvest use of potato tubers.

Yazarların Biyografisi



Ebubekir ALTUNTAŞ

1967 yılında Sivas'ta doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sivas'ta yaptı. Lisans eğitimini 1985-1989 yılları arasında Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Mekanizasyon Bölümünde tamamladı. Yüksek lisans eğitimini 1992-1994 yılları arasında Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları A.B.Dalında; doktora eğitimini ise 1994-1998 yılları arasında Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları A.B.Dalında tamamladı. 1993 yılında Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Aynı bölüme, 2000 yılında yardımcı Doçent, 2006 yılında Doçent olarak ve 2012 yılında Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Tarımda Makine Sistemleri bilim dalına Profesör olarak atandı. Halen aynı üniversitede görev yapmaktadır. Birçok bilimsel ve akademik çalışma ve faaliyetlerde görev almış olup, 120'nin üzerinde bilimsel makale ve yayını bulunmaktadır. Evli ve iki çocuk babasıdır.

İletişim ebubekir.altuntas@gop.edu.tr
ORCID Adresi <https://orcid.org/0000-0003-3835-1538>