

TÜRKİYE VE JAPONYA MENŞELİ MATCHA TOZLARININ FİZİKOKİMYASAL VE DUYUSAL ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Melike Nur TOSUN DEMİR^{1*}, Fatma KORKMAZ²

¹Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Balıkesir, Türkiye

²Bağımsız araştırmacı, Balıkesir, Türkiye

Geliş /Received 29.07.2025; Kabul /Accepted: 17.11.2025; Online baskı /Published online: 29.11.2025

Tosun Demir, M. N., Korkmaz, F. (2025). Türkiye ve Japonya menşeli matcha tozlarının fizikokimyasal ve duyusal özelliklerinin karşılaştırılması. GIDA (2025) 50 (6) 1186-1199 doi: 10.15237/gida.GD25099

Tosun Demir, M. N., Korkmaz, F. (2025). Comparison of physicochemical and sensory properties of matcha powders from Türkiye and Japan. GIDA (2025) 50 (6) 1186-1199 doi: 10.15237/gida.GD25099

ÖZ

Bu çalışmada Türkiye (TM1–TM5) ve Japonya (JM) menşeli matcha tozlarının fizikokimyasal ve duyusal özellikleri karşılaştırılmıştır. Suda çözünürlük indeksi Türkiye menşeli matcha tozlarında %30.24–35.76 arasında değişirken, Japonya menşeli üründe %32.32 olarak belirlenmiştir. Toplam fenolik madde bakımından Türkiye menşeli örnekler (63.50–111.30 mg GA/g), Japonya menşeli ürüne (64.61 mg GA/g) benzer veya daha yüksek değerler göstermiştir. Bu bulguları destekler şekilde, Türkiye menşeli matcha tozlarının antioksidan kapasitesi ABTS yöntemiyle 1118.30–1596.40 µmol Trolox/g, DPPH yöntemiyle 1257.00–1481.60 µmol Trolox/g aralığında ölçülmüş; Japonya menşeli ürün ise sırasıyla 1138.70 ve 1129.00 µmol Trolox/g değerlerini göstermiştir. Klorofil a, b ve toplam klorofil değerleri bakımından yalnızca bir Türkiye menşeli örnek Japon menşeli üründen daha yüksek bulunmuştur. Duyusal analizlerde tüm örneklerde buruk, otumsu, kınamsı, odunumsu-samanımsı ve yosunsu-balığımsı tatlar baskın olurken, Japonya menşeli örnek daha düşük yoğunluklu bir tat profili sergilemiştir. Bulgular, yerli matcha tozlarının kalite potansiyelini ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Matcha, renk, çözünürlük, toplam fenol, antioksidan aktivite, duyusal analiz

COMPARISON OF PHYSICOCHEMICAL AND SENSORY PROPERTIES OF MATCHA POWDERS FROM TÜRKİYE AND JAPAN

ABSTRACT

This study compared the physicochemical and sensory properties of Turkish (TM1–TM5) and Japanese (JM) matcha powders. The water solubility index ranged from 30.24% to 35.76% in Turkish samples, while the Japanese product showed 32.32%. Total phenolic content of Turkish matchas (63.50–111.30 mg GA/g) was comparable to or exceeded that of the Japanese product (64.61 mg GA/g). Supporting these findings, the antioxidant capacity of Turkish matchas was measured at 1118.30–1596.40 µmol Trolox/g by the ABTS method and 1257.00–1481.60 µmol Trolox/g by the DPPH method, whereas the Japanese product showed 1138.70 and 1129.00 µmol Trolox/g, respectively. Only one Turkish sample showed higher chlorophyll a, b, and total chlorophyll values than the Japanese product. Sensory analysis revealed that bitter-astringent, green, henna-like, straw-like, and seaweed notes were dominant in all samples, with the Japanese product exhibiting a lower-

*Sorumlu yazar Corresponding author

✉: fatma.korkmaz@balikesir.edu.tr

☎: (+90) 266 612 6313

Fatma KORKMAZ; ORCID no: 0000-0002-6834-4833

Melike Nur TOSUN DEMİR; ORCID no: 0000-0002-6451-7354

intensity flavor profile. These findings highlight the high-quality potential of Turkish matcha powders.

Keywords: Matcha, color, solubility, total phenol, antioxidant activity, sensory analysis

GİRİŞ

Matcha tozu, Tencha tipi Japon yeşil çayının (*Camellia sinensis*) öğütülmesiyle elde edilen (Kochman vd., 2020), dünyanın en popüler içeceklerinden biridir (Kika vd., 2024). Matchanın tadını belirleyen başlıca bileşenler arasında suda çözünebilen karbonhidratlar, organik asitler, amino asitler, çay polifenoller, flavonol glikozitleri, tanenler ve kafein yer almaktadır. Acı ve buruk tatlardan en çok sorumlu olan bileşikler ise kateşinlerdir. Bu grupta (-)-epigallokateşin-3-gallat (EGCG) en baskın olanıdır (Cui vd., 2025) ve sağlık yararı öncelikle EGCG ile ilişkilendirilmektedir (Shishikura ve Khokhar, 2005). İçeriğindeki antioksidan ve fenolik bileşenler ile ilişkili olarak, antikarsinojenik, antiinflamatuar, kardiyoprotektif ve antiviral etkiye sahip olduğu bildirilmiştir (Kochman vd., 2020). Hem insan hem hayvan çalışmalarında sinir sistemi, öğrenme, inflamasyon ve metabolik parametreler üzerinde faydalı etkiler saptanmış, in vitro çalışmalarda ise bazı kanser hücreleri üzerinde baskılayıcı etkiler gözlemlenmiştir (Sokary vd., 2022).

Geleneksel olarak matcha tozu gölgeleme, hasat, buharlama, kurutma, rafinasyon ve öğütme olmak üzere 6 aşamada üretilmektedir. Üretim hasattan yaklaşık 20-30 gün önce çay bitkilerinin gölgede yetişmesi ile başlamakta ve hasat zamanı coğrafi konuma göre değişmekle birlikte genellikle ilkbaharda gerçekleşmektedir. Hasat sonrası yapraklar enzimatik aktivitenin yavaşlatılması, oksidasyonun önlenmesi ve yeşil rengin korunması amacıyla 95 °C'de 20-45 saniye buharlama işlemine tabi tutulmaktadır (Phuah vd., 2023). 55 °C'de 30 dakika kurutmanın ardından yapraklar rafine edilmekte ve bu işlemin ardından 'Tencha' adı verilen öğütülmemiş yaprak formu elde edilmektedir (Horie vd., 2017). Öğütme aşaması ise düşük nemli, karanlık ve serin ortamda geleneksel olarak taş değirmenlerde gerçekleştirilmektedir (Phuah vd., 2023). Gölgeleme uygulaması, bitkide klorofil, teanin gibi aminoasitler ve çeşitli biyoaktif bileşenlerin sentezini artırarak, matcha tozuna karakteristik

canlı yeşil rengini ve kendine özgü yumuşak, acı olmayan tadını kazandırmaktadır (Sokary vd., 2022).

Matcha tozunun kalitesi; nem, toprak yapısı, iklim koşulları ve coğrafi konum gibi çevresel etkenlerin yanı sıra kullanılan çay çeşidi, uygulanan tarımsal yöntemler, gölgeleme süresi, hasat zamanı ve işleme teknikleri gibi yetiştirme uygulamalarıyla doğrudan ilişkilidir. Ayrıca üretim sürecindeki teknolojik farklılıklar ve ürünün sınıflandırılma kriterleri de kalite üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Tüm bu unsurlar, matcha tozunun rengi, tadı, aromatik profili ve besin bileşimi gibi özelliklerini şekillendirmektedir. Gölgeleme işlemi, yeşil rengin artmasını, acılık ve burukluğun azalmasını ve umami tat profilinin gelişmesini sağlayan temel etkidir (Ye vd., 2024a).

Artan tüketici ilgisi ve sağlıklı yaşam trendleri doğrultusunda, matcha tozunun yerel üretimi stratejik bir fırsat haline gelmiştir. Türkiye'de üretilen matchaların kalitesine dair literatürde sınırlı sayıda veri bulunmaktadır. Bu çalışma, Japonya ve Türkiye menşeli matcha tozlarının klorofil ve toplam fenolik madde içeriği, antioksidan kapasite, renk, toz ve duyuşal özellikleri gibi kriterler bakımından karşılaştırarak yerli üretimin potansiyelini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Elde edilen veriler, yerel üretimin iyileştirilmesi, kalite standardizasyonu ve pazarlama stratejileri açısından yol gösterici olabilir.

MATERYAL VE METOT

Materyal

Bu çalışmada, piyasada erişilebilir olan ve en çok satılan 1 adet Japon menşeli (JM) ve 5 farklı markaya ait Türkiye menşeli matcha tozları (TM1, TM2, TM3, TM4 ve TM5) kullanılmıştır. Ürünler, orijinal ambalajlarında ve son kullanma tarihlerine dikkat edilerek temin edilmiş; analizlere kadar serin, kuru ve karanlık koşullarda muhafaza edilmiştir. Matcha tozlarının nem içeriği, AOAC'nin standart metodolojisine (Metot No: 930.15) (AOAC, 2010) göre belirlenmiş ve %2.19-

6.04 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Araştırmada kullanılan kimyasallar ise Sigma-Aldrich (Taufkirchen, Almanya)'den tedarik edilmiştir.

Metot

Toz özelliklerinin analizi

Matcha örneklerinin toz özelliklerinin belirlenmesinde Sakr vd. (2024)'nin belirttiği yöntem bazı değişikliklerle uygulanmıştır. Bu kapsamda, 1 g matcha tozu herhangi bir basınç uygulanmaksızın yavaşça 10 mL hacmindeki mezüre aktarılarak hacim değeri kaydedilmiş ve yığın yoğunluğunun (g/mL) hesaplanmasında kullanılmıştır. Ardından aynı örneğin içinde bulunduğu mezür düz bir zemine sabit bir hızla yaklaşık 50 defa vurularak toz partiküllerinin sıkışması sağlanmış ve sıkıştırılmış hacim değeri kaydedilmiştir. Bu değer, sıkıştırılmış yığın yoğunluğunu (g/mL) hesaplamak için kullanılmıştır. Elde edilen yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yığın yoğunluğu verileri doğrultusunda, Carr indeksi ve Hausner oranı aşağıdaki eşitlikler aracılığıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Carr indeksi (\%)} = \frac{\text{sıkıştırılmış yığın yoğunluğu} - \text{yığın yoğunluğu}}{\text{sıkıştırılmış yığın yoğunluğu}} \times 100$$

Eşitlik 1

$$\text{Hausner oranı} = \frac{\text{sıkıştırılmış yığın yoğunluğu}}{\text{yığın yoğunluğu}}$$

Eşitlik 2

Suda çözünürlük indeksinin analizi

Suda çözünürlük indeksi analizi Manikharda vd. (2023) tarafından bildirilen yöntemle yapılmıştır. Distile su ile hazırlanan %2 (w/v)'lik matcha dispersiyonu, 80 °C'ye ayarlı su banyosunda (Nüve, ST 30, Türkiye) 30 dakika inkübe edildikten sonra 4500xg'de 10 dakika süreyle santrifüj (Nüve, NF 800, Türkiye) edilmiştir. Elde edilen süpernatant kurutma kaplarına alınarak 105 °C'de kurutulmuş ve suda çözünürlük indeksi aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır.

$$\text{Suda çözünürlük indeksi (\%)} = \frac{\text{süpernatantın kuru madde ağırlığı (g)}}{\text{örnek ağırlığı (g)}} \times 100$$

Eşitlik 3

Su absorpsiyon kapasitesi analizi

Matcha örneklerinin su absorpsiyon kapasitesi Dely vd. (2025) tarafından bildirilen yöntemle belirlenmiştir. Matcha tozu (0.5 g) üzerine 25 mL distile su eklenerek bir vorteks yardımıyla 5 dakika süresince karıştırılmıştır. Ardından oluşan dispersiyon 6000xg'de 10 dakika süresince santrifüjlenerek süpernatant dikkatlice uzaklaştırılmış ve su absorpsiyon kapasitesi aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır.

$$\text{Su absorpsiyon kapasitesi (g/g)} = \frac{\text{cökelti ağırlığı (g)} - \text{örnek ağırlığı (g)}}{\text{örnek ağırlığı (g)}} \times 100$$

Eşitlik 4

Toplam fenolik madde analizi

Toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite analizleri için, matcha tozu (0.5 g), distile su (25 mL) ile karıştırılarak 80 °C'ye ayarlanmış su banyosunda 1 saat süreyle ekstraksiyon gerçekleştirilmiştir. Ekstraksiyon sonrasında örnekler süzülüş, elde edilen süpernatant analizlerde kullanılmak üzere ayrılmıştır (Dely vd., 2025).

Toplam fenolik madde analizi Zhu vd. (2022)'nin belirttiği yöntemle gerçekleştirilmiştir. Kısaca, 0.1 mL seyreltilmiş (1:5) matcha ekstraktına sırasıyla 0.9 mL distile su ve 5 mL %10'luk Folin-Ciocalteu reaktifi eklenmiştir. Üç dakika beklemenin ardından, karışıma 4 mL %7.5'lik Na₂CO₃ çözeltisi ilave edilmiştir. Örnekler, karanlık ortamda 1 saat süreyle inkübe edildikten sonra, absorbans değerleri 765 nm'de UV-VIS spektrofotometre (Shimadzu, UV-1280, Japonya) ile ölçülmüş ve sonuçlar mg GAE/g örnek cinsinden ifade edilmiştir.

Antioksidan kapasite analizi

Matcha tozlarının antioksidan kapasiteleri, ABTS [2,2'-azinobis(3-ethyl-benzothiazoline-6-sulfonic acid)] ve DPPH [2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl] radikalleri kullanılarak, 2 farklı spektrofotometrik yöntem aracılığıyla belirlenmiştir. ABTS analizi, Ye vd. (2024b) tarafından bildirilen yöntemle gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, fosfat tamponu ile absorbansı 0.70 ± 0.02 değerine ayarlanan ABTS reaktifinden 2.5 mL alınarak 25 µL örnek ekstraktı ile karıştırılmış ve 6 dakika sonra

absorbans değerinin ölçümü spektrofotometrede 734 nm dalga boyunda yapılmıştır. DPPH analizinde, Manikharda vd. (2023)'nin belirttiği yöntem bazı değişikliklerle uygulanmıştır. Kısaca, 0.1 mL örnek ekstraktı ile 3.9 mL 0.1 mM DPPH reaktifi karıştırılmış ve karışım karanlık ortamda 30 dakika inkübe edilmiştir. Ardından, örneklerin absorbans değeri spektrofotometrede 517 nm dalga boyunda ölçülmüştür.

Her iki analizde elde edilen sonuçlar, yönteme özgü olarak Trolox standardı kullanılarak hazırlanan standart eğriler yardımıyla değerlendirilmiş ve sonuçlar $\mu\text{mol Trolox/g}$ örnek cinsinden ifade edilmiştir.

Klorofil analizi

Klorofil analizi Sakr vd. (2024) tarafından bildirilen yönteme göre gerçekleştirilmiştir. Matcha tozu (0.05 g) %80'lik aseton çözeltisi (10 mL) ile 30 dakika süresince ekstrakte edilmiştir. Ardından karışım $6000\times g'$ de 5 dakika santrifüjlenmiş ve elde edilen süpernatant analizde kullanılmıştır. Süpernatantın 645 nm ve 663 nm dalga boylarındaki absorbans değerleri, UV-VIS spektrofotometre kullanılarak ölçülmüştür. Elde edilen absorbans değerlerine dayanarak klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil miktarları aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır (Jiang vd., 2023).

$$\text{Klorofil a (mg/g)} = \frac{((12.72 \times A_{663}) - (2.59 \times A_{645})) \times \text{örnek hacmi (mL)}}{1000 \times \text{örnek ağırlığı (g)}} \quad \text{Eşitlik 5}$$

$$\text{Klorofil b (mg/g)} = \frac{((22.88 \times A_{645}) - (4.67 \times A_{663})) \times \text{örnek hacmi (mL)}}{1000 \times \text{örnek ağırlığı (g)}} \quad \text{Eşitlik 6}$$

$$\text{Toplam klorofil (mg/g)} = \frac{((20.2 \times A_{645}) - (8.02 \times A_{663})) \times \text{örnek hacmi (mL)}}{1000 \times \text{örnek ağırlığı (g)}} \quad \text{Eşitlik 7}$$

Renk analizi

Matcha tozları ve %2 oranında matcha tozu kullanılarak hazırlanan matcha dispersiyonlarının renk değerleri (L^* , a^* ve b^*) CIE renk sistemine göre bir kromometre (CR-400, Konica Minolta, Japonya) kullanılarak ölçülmüştür.

Lezzet profil analizi

Matcha örneklerinin lezzet profil analizi, Pérez-Burillo vd. (2018) tarafından belirtilen yönteme göre gerçekleştirilmiş; değerlendirmede, Lee ve Chambers (2007) tarafından tanımlanan duyuşal terimler ve referans standartlar kullanılmıştır. Panel, matcha örneklerini tatmayı gönüllü olarak kabul eden ve yaşları 31 ile 45 arasında değişen 12 panelistten (3 kadın, 9 erkek) oluşan bir grup tarafından gerçekleştirilmiştir. Duyusal değerlendirme, her bir lezzet özelliğinin yoğunluğunun 0 (hiç yok) ile 5 (çok yoğun) arasında derecelendirildiği bir skalaya göre yapılmıştır. Örnekler oda sıcaklığında, 20 mL'lik miktarlarda plastik bardaklarda sunulmuş; duyuşal yorgunluğu azaltmak amacıyla su ve galeta ile birlikte servis edilmiştir.

İstatistiksel analiz

Veriler, Minitab (sürüm 17.0) programı kullanılarak yapılan varyans analizi (ANOVA) ve Tukey çoklu karşılaştırma testi ile değerlendirilmiştir. Anlamlılık düzeyi $P < 0.05$ ve güven aralığı %95 olarak kabul edilmiştir. Tüm analizler üç paralel örnek üzerinden yürütülmüş ve sonuçlar örnek kuru maddesi üzerinden hesaplanarak 'ortalama \pm standart hata' olarak ifade edilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Toz özellikleri

Yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yığın yoğunluğu, toz örneklerin işlenebilirlik ve depolama özelliklerini etkileyen önemli kalite parametreleri arasında yer almaktadır (Sakr vd., 2024). Bu özellikler aynı zamanda tozların akışkanlık davranışlarını da belirleyici niteliktedir (Zhao vd., 2023). Matcha örnekleri içerisinde en yüksek yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değerleri TM4 örneğinde belirlenmiştir ($P < 0.05$) (Çizelge 1). Ayrıca, TM3 örneğinin yoğunluk değerleri JM örneğiyle istatistiksel olarak benzer bulunmuştur ($P > 0.05$). Literatürde, büyük partikül boyutuna sahip tozların özgül yüzey alanlarının ve partiküller arası boşluklarının düşük; buna karşılık yığın yoğunluklarının yüksek olduğu bildirilmektedir (Zhu vd., 2022; Zhao vd., 2023).

Toz örneklerin sıkıştırılabilirlik özellikleri, Carr indeksi değerine göre çok iyi (<15), iyi (15-20), zayıf (20-35), kötü (35-45) ve çok kötü (>45) olarak sınıflandırılmaktadır. Hausner oranına göre ise tozların akış özellikleri düşük (<1.2), orta (1.2-1.4) ve yüksek (>1.4) düzeyde değerlendirilmektedir (Caliskan ve Dirim, 2016). Buna göre, tüm matcha tozlarının zayıf

sıkıştırılabilirlik ve orta-yüksek akış özellikleri sergilediği belirlenmiştir. Ayrıca, matcha tozları içerisinde TM3 örneği en yüksek Carr indeksi ve Hausner oranı değerini göstermiştir. Küçük partiküllü tozların karşılıklı yapışma ve agregasyon oluşturma eğiliminde olduğu, bu durumun da akışkanlığı olumsuz yönde etkilediği belirtilmektedir (Zhu vd., 2022).

Çizelge 1. Matcha örneklerinin toz ve fonksiyonel özellikleri
Table 1. Powder and functional properties of matcha samples

Matcha örneği Matcha sample	Yığın yoğunluğu Bulk density (g/mL)	Sıkıştırılmış yığın yoğunluğu Tapped bulk density (g/mL)	Carr indeksi Carr index (%)	Hausner oranı Hausner ratio	Suda çözünürlük indeksi Water solubility index (%)	Su absorpsiyon kapasitesi Water absorption capacity (g/g)
JM	0.35±0.01 ^C	0.51±0.01 ^B	30.63±0.36 ^{AB}	1.44±0.01 ^B	32.32±0.16 ^{BC}	1.99±0.01 ^F
TM1	0.27±0.01 ^D	0.37±0.01 ^C	26.28±1.00 ^C	1.36±0.02 ^C	32.23±0.19 ^{BC}	2.52±0.05 ^E
TM2	0.26±0.01 ^D	0.38±0.01 ^C	0.74±1.08 ^{AB}	1.44±0.02 ^{AB}	32.24±0.22 ^{BC}	2.84±0.09 ^D
TM3	0.33±0.01 ^C	0.50±0.01 ^B	33.68±0.35 ^A	1.51±0.01 ^A	35.76±0.10 ^A	3.25±0.05 ^C
TM4	0.45±0.01 ^A	0.63±0.01 ^A	28.92±0.35 ^{BC}	1.41±0.01 ^{BC}	30.24±0.36 ^C	3.50±0.02 ^B
TM5	0.42±0.01 ^B	0.60±0.01 ^A	30.52±0.38 ^{AB}	1.44±0.01 ^B	4.29±1.14 ^{AB}	4.25±0.05 ^A

* Aynı sütundaki farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı farkı göstermektedir ($P < 0.05$).

*Different letters in the same column indicate a statistically significant difference ($P < 0.05$).

Suda çözünürlük ve su absorpsiyon özellikleri

Suda çözünürlük indeksi, matcha için önemli bir kalite göstergesidir. Matcha tozunun yüksek çözünürlüğe sahip olması, biyoaktif bileşenlerin daha iyi korunmasını ve dispersiyonlarında daha yoğun bir renk oluşmasını sağlamaktadır (Stępień vd., 2025). Matcha örneklerinin suda çözünürlük indeksleri %30.24 ile %35.76 aralığında değişmektedir (Çizelge 1). Stępień vd. (2025)'de Çin, Japonya ve Brezilya menşeli 4 farklı matcha örneklerinin suda çözünürlük indekslerinin %27.37 ile %37.40 aralığında değiştiğini bulmuşlardır. Matcha örnekleri içerisinde en yüksek çözünürlük indeksi değeri TM3 örneğinde; en düşük çözünürlük indeksi ise TM4 örneğinde belirlenmiştir ($P < 0.05$). TM1 ve TM2 örnekleri ise JM örneğine benzer çözünürlük indeksi sergilemiştir ($P > 0.05$). Matcha tozlarının suda çözünürlük indekslerinin partikül boyutundan etkilendiği bildirilmiştir (Manikharda vd., 2023). Küçük partikül boyutuna sahip örneklerin daha

geniş yüzey alanına sahip olması, daha fazla sayıda polar grup ve su bağlayıcı bölgenin açığa çıkmasına neden olarak suda çözünürlük indeksinin artmasına katkı sağlamaktadır (Sakr vd., 2024). Diğer yandan, matcha örneğinin elde edildiği çay yapraklarına uygulanan gölgeleme işlemi ile tozlara uygulanan eleme yöntemi gibi faktörler partikül boyutunu etkilediğinden, bu durum matchaların suda çözünürlük indeksini de etkilemektedir. Partikül aglomerasyonu da matcha tozunun çözünürlüğünün azalmasına katkıda bulunabilen faktörlerdendir (Dely vd., 2025).

Matcha tozlarının su tutma kabiliyetinin göstergesi olan su absorpsiyon kapasitesi değerleri 1.99 ile 4.25 g/g aralığında belirlenmiş olup sonuçlar Çizelge 1'de sunulmuştur. Najman vd. (2023) Polonya piyasasından temin ettikleri 10 farklı matcha tozunun su absorpsiyon kapasitesi değerlerinin 1.48-3.71 g/g aralığında değiştiğini raporlamıştır. Benzer şekilde, Dely vd. (2025)'de

Tunus piyasasından tedarik ettikleri 3 matcha tozu örneğinde su absorpsiyon kapasitesi değerlerinin 3.17-3.32 g/g aralığında olduğunu bildirmiştir. Matcha örnekleri içerisinde JM en düşük su absorpsiyon kapasitesini sergilemiştir ($P < 0.05$). TM örnekleri JM örneğine kıyasla 1.27 ile 2.14 kat daha yüksek su absorpsiyon kapasitesi göstermiştir ($P < 0.05$). Su absorpsiyon kapasitesinin, matcha tozlarının fiziksel özelliklerine bağlı olduğu bildirilmektedir. Özellikle hücre zarı bütünlüğünün ve hücre duvarı bileşenlerinin bu parametre üzerinde önemli etkileri olduğu belirtilmiştir (Zhao vd., 2023). Bu bağlamda, öğütme işleminin matcha tozlarının su absorpsiyon kapasitesini etkileyebilecek kritik bir proses olduğu vurgulanmıştır (Zhao vd., 2023; Sakr vd., 2024). Öğütme sırasında gözenekli matris yapıları oluşturan ve suyu tutma kapasitesi yüksek olan polisakkarit zincirlerinin parçalanması ve protein denatürasyonu daha düşük su absorpsiyon kapasitesine neden olabilmektedir (Zhao vd., 2023; Sakr vd., 2024).

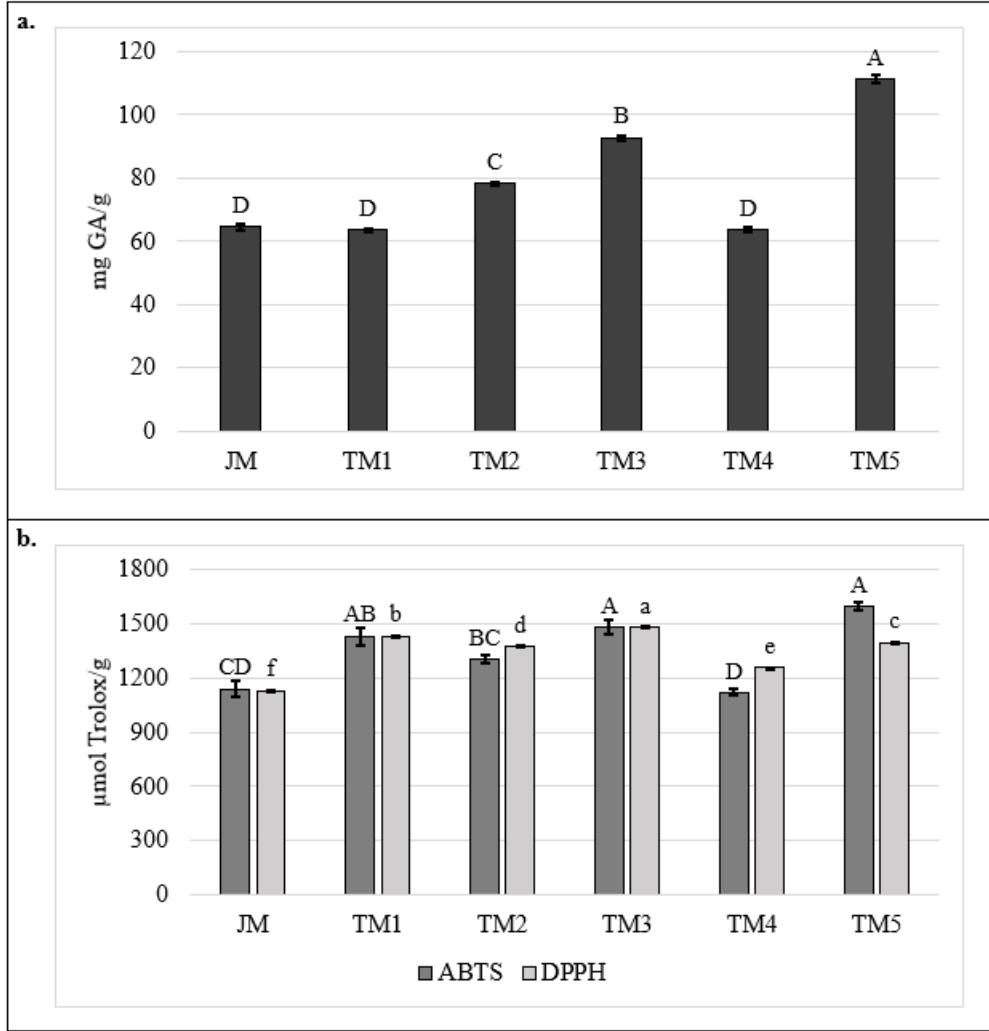
Toplam fenol içerikleri ve antioksidan kapasiteleri

Tencha tipi yeşil çaydan elde edilen matcha, geleneksel gölgeleme yöntemi sayesinde klorofil ve L-teanin başta olmak üzere çeşitli biyoaktif bileşiklerin sentezini teşvik eder; bu nedenle antioksidan bileşikler bakımından zengin bir profile sahiptir (Jakubczyk vd., 2020).

Bu çalışmada incelenen matcha örnekleri arasında toplam fenolik içeriği en yüksek olan TM5 (111.30 ± 1.15 mg GA/g) iken, bunu TM3 (92.73 ± 0.83 mg GA/g) ve TM2 (78.19 ± 0.71 mg GA/g) izlemiştir (Şekil 1a). JM, TM1 ve TM4 örnekleri arasında toplam fenol içeriği açısından istatistiksel anlamda bir fark saptanmamıştır ($P > 0.05$). ABTS yöntemiyle belirlenen antioksidan kapasite açısından en yüksek değer TM5 (1596.40 ± 21.90 μ mol Trolox/g) örneğinde tespit edilmiş, TM1 ve TM3 ile arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($P > 0.05$). DPPH yöntemiyle belirlenen antioksidan kapasitede ise tüm örnekler arasında fark saptanmış ($P < 0.05$) ve en yüksek değer TM3 (1481.60 ± 4.23 μ mol Trolox/g) ardından ise TM1 (1430.30 ± 6.31 μ mol Trolox/g) örneğinde tespit

edilmiştir (Şekil 1b). Benzer şekilde Japonya, Çin, Tunus ve Çekya'da marketten alınan matchalarda yapılan çalışmalarda örneklerin kimyasal bileşimi, antioksidan kapasiteleri, toplam fenol, flavonoid, fenolik asitler, kateşin, kafein gibi bileşenler açısından bölgeler arasında farklılık görülmüştür (Horie vd., 2017; Koláčková vd., 2020; Luo vd., 2023; Dely vd., 2025).

DPPH ve ABTS analizlerinden elde edilen sonuçların sıralaması örnekler arasında farklılık göstermiştir. Bu durum, her iki yöntemin farklı reaksiyon mekanizmalarına ve çözücü polaritelerine sahip olmasından kaynaklanmaktadır. DPPH yöntemi lipofilik antioksidanların hem hidrojen atomu hem de elektron transfer mekanizmaları yoluyla süpürücü aktivitesini yansıtırken (Gulcin ve Alwasel, 2023), ABTS analizi hem hidrofilik hem de lipofilik bileşiklerin hidrojen veya elektron verici kapasitesini ölçen sulu-organik bir sistemde uygulamaktadır (Cos vd., 2000). Ayrıca, ABTS analizinde kullanılan sulu tampon ortam, kateşinlerin radikallerle etkileşimini kısmen sınırlayabilirken, DPPH yönteminde kullanılan etanol, antioksidan bileşiklerin reaksiyon sistemine daha etkin şekilde dağılmasını sağlamaktadır (Kim vd., 2015). Bunun yanında karotenoidlerin DPPH radikalini süpürme kapasitelerinin olmadığı bildirilmiştir (Müller vd., 2011). Çözücü tipi ve aktif bileşenlerin çözünürlüğü antioksidanların radikal süpürme kapasitelerini etkilemektedir (Kim vd., 2015). Dolayısıyla, matcha örneklerinde DPPH ve ABTS sonuçları arasında gözlenen sıralama farklılıkları beklenen bir durum olup, literatürle uyumludur (Tsai vd., 2008; Kim vd., 2015). Toplam fenolik içeriği en yüksek örnek TM5 olmasına karşın, DPPH yöntemiyle en yüksek antioksidan kapasite TM3 örneğinde belirlenmiştir. Bu bulgu, antioksidan aktivitenin yalnızca fenolik bileşiklerle sınırlı olmadığını göstermektedir. Çözgenin polaritesi, farklı bileşiklerin ekstraksiyon verimini etkileyebilmekte; ayrıca C vitamini, pigmentler ve tokoferoller gibi fenolik olmayan bileşikler de toplam antioksidan kapasiteye katkı sağlayabilmektedir (Lee vd., 2013; Džarić vd., 2025).



Şekil 1. Matcha örneklerinin toplam fenol (a) ve antioksidan (b) içeriği.

Figure 1. Total phenol (a) and antioxidant (b) content of matcha samples.

*Aynı sütunların üzerindeki farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı bir farkı göstermektedir ($P < 0.05$).

*Different letters above the same bars indicate a statistically significant difference ($P < 0.05$).

Matcha tozlarının toplam fenolik bileşik düzeyleri ve antioksidan kapasiteleri arasındaki farklılıklar, çayın yetiştiği çevresel koşullar, hasat zamanı ve yaprakların olgunluk derecesi, uygulanan işleme yöntemleri ile depolama süreci gibi çok sayıda faktöre bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Bununla birlikte, ikinci ve üçüncü hasat dönemlerinde toplanan yaprakların, birinci hasada göre daha yüksek düzeyde biyoaktif bileşik içerebildiği ve bu nedenle sağlık açısından daha fazla potansiyele sahip olabileceği ifade edilmiştir (Jakubczyk vd., 2020). Ayrıca, çalışmalarda kullanılan ekstraksiyon yöntemi, seyreltme

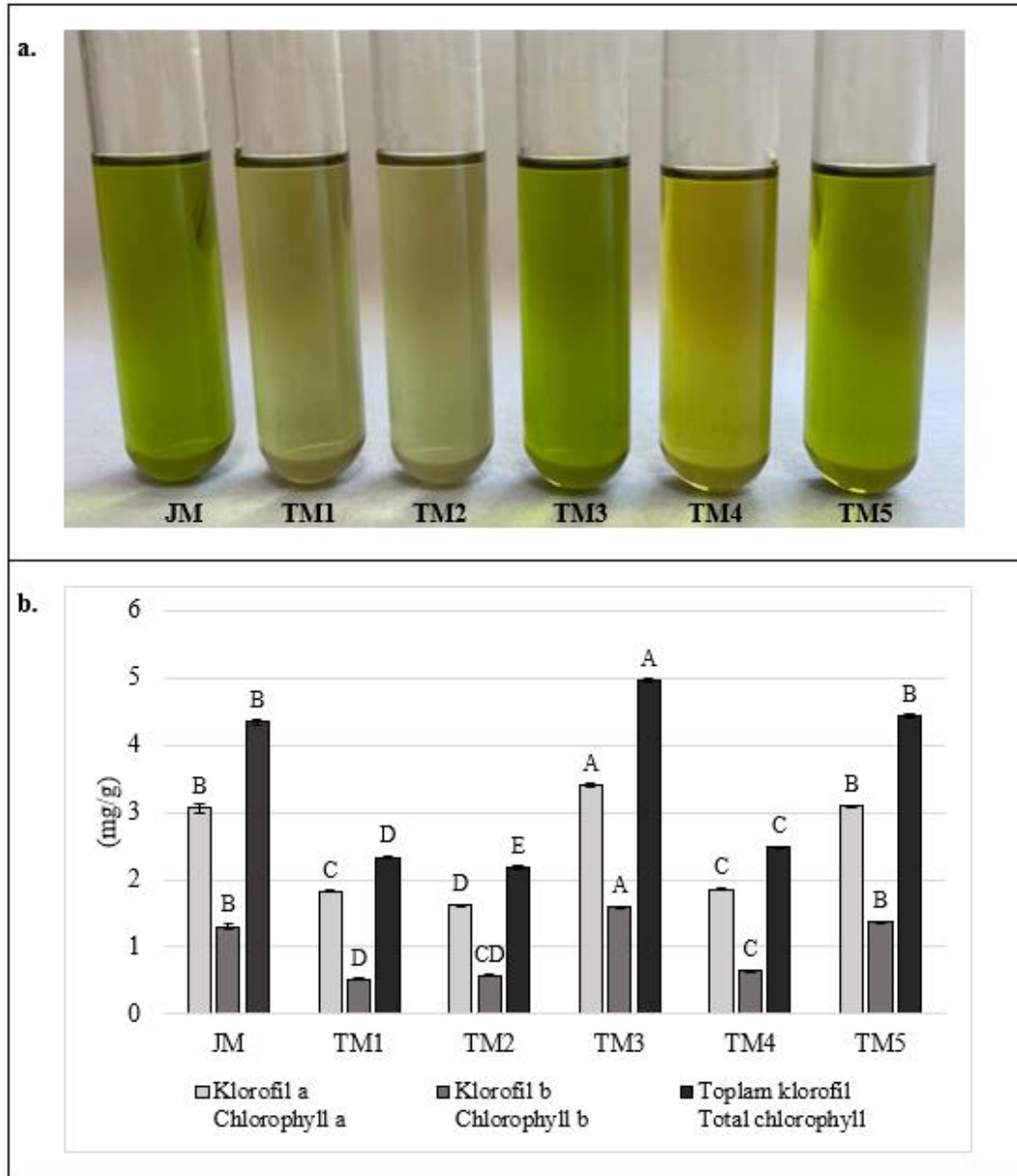
(dilüsyon) faktörü gibi analitik farklılıklar da sonuçlar üzerinde etkili olabilir ve gözlenen varyasyonların bir kısmı bu teknik faktörlerden kaynaklanabilir.

Klorofil içeriği

Matcha tozlarının karakteristik yeşil rengi temel olarak içerdiği klorofil pigmentlerinden (klorofil a ve klorofil b) kaynaklanmaktadır (Jiang vd., 2023). Bu çalışmada analiz edilen matcha örneklerine ait klorofil içerikleri Şekil 2'de sunulmuştur. Örnekler arasında en yüksek klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil içerikleri TM3 örneğinde belirlenmiş olup

bu örneği TM5 ve JM örnekleri takip etmektedir ($P < 0.05$). Bununla birlikte, TM5 örneğinin klorofil düzeyleri, istatistiksel olarak JM örneğiyle benzer bulunmuştur ($P > 0.05$). Şekil 2a'da yer alan ekstrakt görsellerinden de açıkça görüldüğü üzere, JM, TM3 ve TM5 örnekleri, diğer örneklerle

kıyasla daha yüksek klorofil içeriklerine sahip olup, bu örneklerin toplam klorofil düzeyleri 4 mg/g'nin üzerinde tespit edilmiştir. Diğer yandan, TM1 ve TM2 örneklerinin toplam klorofil içerikleri diğer matcha örneklerine göre anlamlı derecede daha düşük bulunmuştur ($P < 0.05$).



Şekil 2. Matcha örneklerinin ekstrakt görselleri (a) ve klorofil değerleri (b).

Figure 2. Images of extracts (a) and chlorophyll values (b) of matcha samples.

*Aynı sütunların üzerindeki farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı bir farkı göstermektedir ($P < 0.05$).

*Different letters above the same bars indicate a statistically significant difference ($P < 0.05$).

Genel olarak, gölgeleme süresi, yaprak olgunluğu, öğütme şekli ve sıcaklık gibi işleme parametreleri klorofil stabilitesini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Özellikle yüksek sıcaklığa maruz kalınması durumlarında klorofil pigmentlerinde degradasyon meydana gelebilmekte, bu da matcha tozunun yeşil renginin solmasına neden olabilmektedir (Donlao ve Ogawa, 2019; Koláčková vd., 2020; Sakr vd., 2024).

Renk özellikleri

Renk, matcha dahil pek çok gıda ürünüde tüketici tercihini etkileyen temel özelliklerden biri olmasının yanı sıra, ürün kalitesinin de önemli bir göstergesidir (Dely vd., 2025). Bu nedenle hem matcha tozlarının hem de matcha dispersiyonlarının renk özellikleri (L^* , a^* ve b^*) belirlenerek örnek görselleriyle beraber Çizelge 2'de sunulmuştur. Matcha tozları arasında en yüksek L^* değeri TM1 örneğinde, en düşük L^* değeri ise TM4 örneğinde belirlenmiştir ($P < 0.05$). Diğer yandan, TM3 ve TM5 örnekleri L^* değeri yönünden JM örneğiyle istatistiksel olarak benzer bulunmuştur ($P > 0.05$). Matcha dispersiyonlarının L^* değerleri ise 25.75-28.65 aralığında değişmektedir. Hem matcha tozlarında hem de matcha dispersiyonlarında en düşük $-a^*$ değeri, dolayısıyla en yoğun yeşil renk tonu, JM örneğinde belirlenmiş; bu örneği sırasıyla TM3 ve TM5 takip etmiştir ($P < 0.05$). Yeşil renk yoğunluğu en düşük olan matcha tozu TM4 olarak tespit edilmiştir. Diğer yandan, TM4 örneğine ait matcha dispersiyonunda ise kırmızı renk tonunun ($+a^*$) baskın olduğu gözlemlenmiştir. Tüm matcha örneklerinde $+b^*$ değerinin, diğer bir ifadeyle sarı renk tonunun, baskın olduğu görülmüştür. Diğer renk özelliklerine benzer şekilde hem matcha tozlarında hem de matcha dispersiyonlarında, en yüksek $+b^*$ değeri JM örneğinde tespit edilirken; en düşük sarı renk yoğunluğu ise TM4 örneğinde belirlenmiştir ($P < 0.05$). Matcha örneklerinin renk özellikleri arasındaki farklılıkların yaprakların hasat tarihi, gölgeleme uygulaması ve çay bitkisinin klonu gibi özelliklerinden etkilenebileceği belirtilmiştir. Genel olarak, yoğun gölgeleme uygulaması, yeşil çay tozlarında L^* , a^* ve b^* değerlerinin daha düşük olmasına neden olmakta ve bu durum, yüksek kaliteli matcha

tozlarının ayırt edici özelliği olan karakteristik yeşil renk ile ilişkilendirilmiştir (Stępień vd., 2025). Diğer yandan matcha örneklerinin renk özellikleri üzerinde klorofil içeriğinin ve öğütme özelliklerinin de belirleyici etkiye sahip olduğu bildirilmektedir (Dely vd., 2025).

Duyusal özellikleri

Matchanın lezzet kalitesi, başta tat ve aroma olmak üzere duysal özelliklerle yakından ilişkilidir. Serbest amino asitler, çay polifenoller ve L-teanin gibi bileşenler tat profiline önemli katkı sağlarken; çay çeşidi, tarımsal uygulamalar, ürün kalitesi ve yetiştirildiği bölge gibi faktörler bu profili doğrudan etkilemektedir (Luo vd., 2023). Burukluk, matchanın lezzet algısında belirleyici bir özelliktir. Kueretin-3-O-glukozit, kaempferol-3-O-rutinoz, EGCG ve kaempferol-3-O-glukozit gibi bileşiklerin matchadaki burukluk hissinden sorumlu olduğu belirlenmiştir (Xue vd., 2025). Çalışmamızda yapılan duysal analizlerde 'buruk' ve 'otumsuz' özelliklerin tüm örneklerde ortak ve baskın tanımlayıcılar olduğu görülmektedir (Şekil 3). En yüksek burukluk TM2 örneğinde, en düşük burukluk ise JM örneğinde gözlemlenmiştir. Panelistler, JM örneğinin tat ve aroma açısından genel olarak düşük yoğunluklu bir karaktere sahip olduğunu belirtmiştir. Manikharda vd. (2023), burukluk algısının tüketici kabulünü olumsuz etkileyebileceğini, matcha üretiminde uygulanan gölgelendirme işlemlerinin ise buruklukla ilişkili bileşiklerin yoğunluğunu azalttığını bildirmiştir.




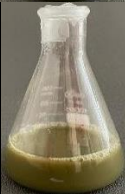

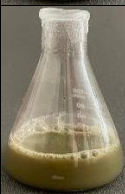

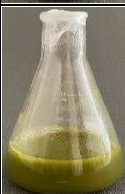




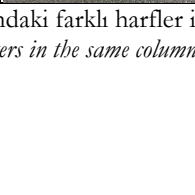
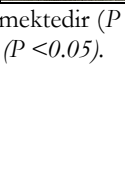
Türkiye menşeli TM1 örneği; 'otumsuz', 'kınamı' ve 'odunumsu' özelliklerin yüksekliğiyle, en belirgin bitkisel tat profiline sahip örnek olarak öne çıkmaktadır. TM3 ve JM örneklerinde ise 'yosunsu-balığımsı' tat diğerlerine kıyasla daha yoğun algılanmıştır. Matcha, deniz yosununa benzer karakteristik aromasıyla bilinmesine rağmen (Luo vd., 2023), bu profil panelistler tarafından tüketici kabulü açısından olumsuz değerlendirilebilecek bir özellik olarak yorumlanmıştır. Zhang vd. (2025), matchadaki yosunsu tat algısına katkıda bulunan başlıca bileşiklerin dimetil sülfür, α -iyonon, heksanal, benzaldehit ve (E)- β -iyonon olduğunu bildirmiştir. Panelistlerce olumsuz algılanan bir diğer tat olan 'kınamı' özellik ise tüm örneklerde

Türkiye ve Japonya menşeli matcha tozlarının karşılaştırması

saptanmış; bu özellik TM1 örneğinde en yoğun, JM örneğinde ise en düşük düzeyde hissedilmiştir. 'Kınamsı' tanımı kültürel olarak belirli bir coğrafyada yaygın olarak bilinen bir kokuya dayandığından, bu duyuşal özellik uluslararası

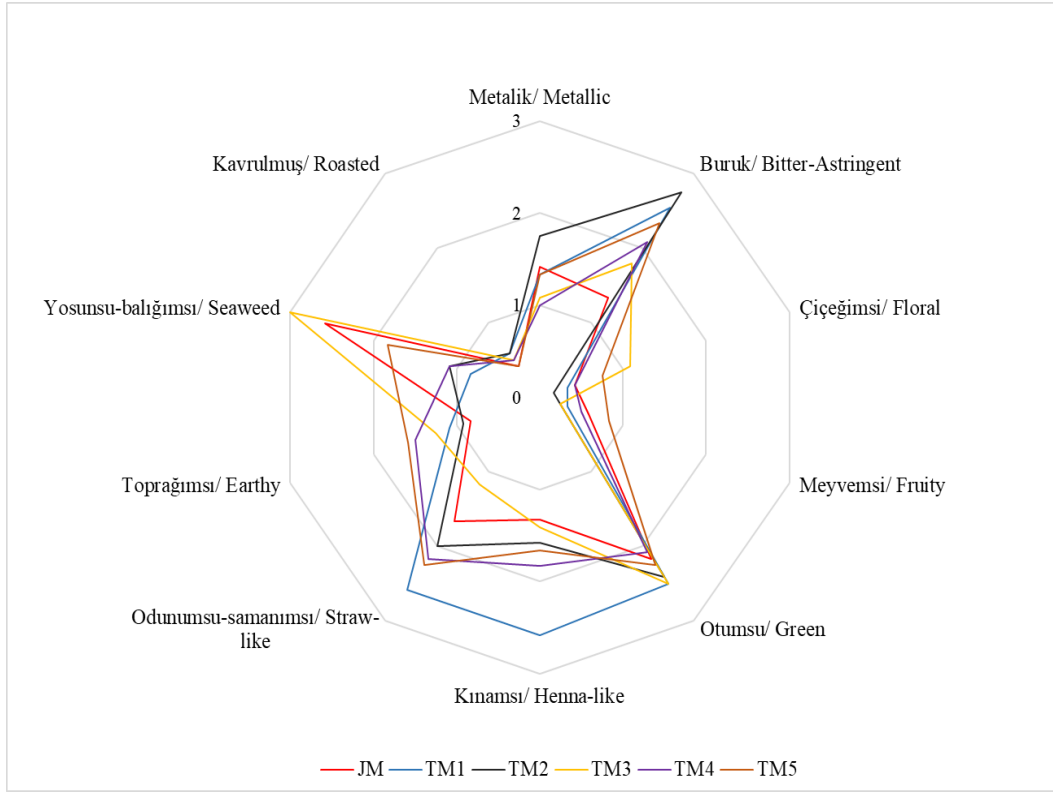
literatürde farklı duyuşal terimlerle ifade edilmiş olabilir. Bu durum, duyuşal analizlerde kullanılan tanımlayıcıların kültürel koku hafızasından bağımsız olamayacağını göstermektedir.

Çizelge 2. Matcha örneklerinin renk özellikleri
Table 2. Color properties of matcha samples

Matcha örneği <i>Matcha sample</i>	Matcha tozu <i>Matcha powder</i>			Matcha dispersiyonu <i>Matcha dispersion</i>				
		L^*	a^*	b^*		L^*	a^*	b^*
JM		53.99 ± 0.54^B	-12.96 ± 0.05^F	37.56 ± 0.08^A		28.65 ± 0.26^A	-6.15 ± 0.10^D	18.59 ± 0.54^A
TM1		62.09 ± 0.13^A	-4.99 ± 0.01^C	25.60 ± 0.08^D		26.90 ± 0.13^{AB}	-2.06 ± 0.03^B	10.70 ± 0.25^C
TM2		60.36 ± 0.58^A	-4.07 ± 0.05^B	24.47 ± 0.10^E		27.82 ± 0.54^A	-1.91 ± 0.07^B	10.34 ± 0.16^C
TM3		51.69 ± 1.05^B	-11.36 ± 0.12^E	35.85 ± 0.37^B		28.48 ± 0.24^A	-3.70 ± 0.04^C	13.27 ± 0.08^B
TM4		45.16 ± 0.83^C	-2.20 ± 0.04^A	25.92 ± 0.13^D		25.92 ± 0.05^B	1.57 ± 0.04^A	9.84 ± 0.04^C
TM5		54.49 ± 0.38^B	-9.81 ± 0.09^D	34.42 ± 0.13^C		25.75 ± 0.64^B	-2.15 ± 0.07^B	13.35 ± 0.34^B

* Aynı sütundaki farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı farkı göstermektedir ($P < 0.05$).

*Different letters in the same column indicate a statistically significant difference ($P < 0.05$).



Şekil 3. Matcha örneklerinin duyuşsal özellikleri.

Figure 3. Sensory properties of matcha samples.

Matcha çayının tat, aroma ve genel duyuşsal özellikleri; kullanılan çay yapraklarının gölgelenme süresi, yetiştirildiği coğrafi konum, iklim koşulları, hasat zamanı ve uygulanan işleme teknikleri gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak önemli ölçüde değişkenlik gösterebilir. Türkiye’de yetiştirilen çay klonlarından elde edilen yeşil çay tozları üzerine yapılan bir çalışmada (Tontul vd., 2023), farklı gölgelenme seviyeleri ve ardışık hasat dönemlerinde yetiştirilen çaylardan elde edilen yeşil çay tozlarının uçucu bileşik profilleri belirlenmiş ve uygulamalara göre ayırt edici bileşikler tespit edilmiştir. Cui vd. (2025), Çin’in farklı bölgelerinden aynı çay çeşidi ile işlenen matcha çaylarının duyuşsal kalite özellikleri ve uçucu olmayan maddelerinin farklı olduğunu bildirmişlerdir. Dolayısıyla, matchanın tat ve aroma kalitesini artırmak için gölgelendirme süresi, hasat zamanı ve işleme yöntemleri ve yetiştirme bölgesi gibi değişkenlerin optimize edilmesi büyük önem taşımaktadır.

SONUÇ

Bu çalışmada, Türkiye ve Japonya menşeli matcha tozlarının fizikokimyasal ve duyuşsal özellikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular, Türkiye menşeli matcha tozlarının toz özellikleri bakımından Japon menşeli ürünlere genel olarak benzerlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, çözünürlük, klorofil, fenolik bileşenler ve antioksidan kapasite açısından Türkiye menşeli ürünler belirgin üstünlükler sergilemiştir. Özellikle TM3 örneği yüksek çözünürlük indeksi, klorofil içeriği ve DPPH yöntemiyle belirlenen antioksidan kapasitesi ile ön plana çıkarken, TM5 örneği toplam fenolik madde içeriği ve ABTS yöntemiyle belirlenen antioksidan kapasite açısından en yüksek değerlere sahip bulunmuştur. Duyusal analizlerde tüm örneklerde buruk, otumsu, kınamsı, odunumsu-samanımsı ve yosunsu-balığımsı tat profilleri baskın bulunmuş; JM örneği ise tat ve aroma açısından genel olarak daha düşük yoğunluklu bir profil sergilemiştir. Bu sonuçlar,

Türkiye’de üretilen matcha tozlarının kalite potansiyelini ortaya koymakta olup, üretim süreçlerinin optimize edilmesi ile yerli ürünlerin uluslararası pazarda rekabet gücünün artırılabilceğini göstermektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlarının bu çalışma ile ilgili olarak herhangi bir kişi veya kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Bu çalışmada kapsamında yapılan analizlerde ve makalenin yazılmasında yazarlar eşit olarak katkı sağlamıştır.

KAYNAKLAR

AOAC (2010). *Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists* (18th edition). AOAC International.

Caliskan, G., Dirim, S. N. (2016). The effect of different drying processes and the amounts of maltodextrin addition on the powder properties of sumac extract powders. *Powder Technology*, 287, 308-314. doi:10.1016/j.powtec.2015.10.019

Cos, P., Calomme, M., Pieters, L., Vlietinck, A. J., Vanden Berghe, D. (2000). Structure-activity relationship of flavonoids as antioxidant and pro-oxidant compounds. *Studies in Natural Products Chemistry*, 22, 307-341. doi:10.1016/S1572-5995(00)80029-0

Cui, H., Zhao, Y., Li, H., Ye, M., Yu, J., Zhang, J. (2025). Effect of geographic regions on the flavor quality and non-volatile compounds of chinese Matcha. *Foods*, 14(1), 97. doi:10.3390/foods14010097

Dely, M., Mnasser, H., Mankai, M. (2025). Analysis of variations in matcha components across different brands on the Tunisian market. *Acta Scientifi Nutritional Health*, 9, 39-50. doi:10.31080/ASNH.2025.09.1531

Donlao, N., Ogawa, Y. (2019). The influence of processing conditions on catechin, caffeine and chlorophyll contents of green tea (*Camelia sinensis*) leaves and infusions. *LWT-Food Science and Technology*, 116, 108567. doi:10.1016/j.lwt.2019.108567

Džarić, T., Petrović, D., Božović, M. (2025). Antioxidant activity and total phenolic content of different extracts from *Rosa canina* L Fruits. *Natural Product Communications*, 20(8), 1934578X251369590. doi:10.1177/1934578X251369590

Gulcin, İ., Alwasel, S. H. (2023). DPPH radical scavenging assay. *Processes*, 11(8), 2248. doi:10.3390/pr11082248

Horie, H., Ema, K., Sumikawa, O. (2017). Chemical components of Matcha and powdered green tea. *日本調理科学会誌*, 50(5): 182-188.

Jakubczyk, K., Kochman, J., Kwiatkowska, A., Kalduniska, J., Dec, K., Kawczuga, D., Janda, K. (2020). Antioxidant properties and nutritional composition of matcha green tea. *Foods*, 9(4): 483. doi:10.3390/foods9040483

Jiang, D., Deng, L., Dai, T., Liang, R., Liu, W., Liu, C., Li, C., Zhong, J., Zhong, H., Chen, J. (2023). Stirred media mill: A novel efficient technology for improving the physicochemical properties and aroma of matcha. *Powder Technology*, 427, 118783. doi:10.1016/j.powtec.2023.118783

Kika, J., Jakubczyk, K., Ligenza, A., Maciejewska-Markiewicz, D., Szymczykowska, K., Janda-Milczarek, K. (2024). Matcha green tea: Chemical composition, phenolic acids, caffeine and fatty acid profile. *Foods*, 13(8): 1167. doi:10.3390/foods13081167

Kim, M. J., Kim, J. H., Kim, J. H., Kim, Y. J. (2015). Comparative studies on the antioxidant capacities and catechin profiles of conventional and organic green tea. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 58(4), 475-480. doi:10.1007/s13765-015-0045-7

Kochman, J., Jakubczyk, K., Antoniewicz, J., Mruk, H., Janda, K. (2020). Health benefits and chemical composition of matcha green tea: A review. *Molecules*, 26(1): 85. doi:10.3390/molecules26010085

Koláčková, T., Kolofiková, K., Sytařová, I., Snopek, L., Sumczynski, D., Orsavová, J. (2020). Matcha tea: analysis of nutritional composition, phenolics and antioxidant activity. *Plant Foods for*

- Human Nutrition*, 75(1): 48-53. doi: s11130-019-00777-z
- Lee, J., Chambers, D. H. (2007). A lexicon for flavor descriptive analysis of green tea. *Journal of Sensory Studies*, 22(3): 256-272. doi:10.1111/j.1745-459X.2007.00105.x
- Lee, L. S., Lee, N., Kim, Y. H., Lee, C. H., Hong, S. P., Jeon, Y. W., Kim, Y. E. (2013). Optimization of ultrasonic extraction of phenolic antioxidants from green tea using response surface methodology. *Molecules*, 18(11), 13530-13545. doi:10.3390/molecules181113530
- Luo, Y., Zhang, Y., Qu, F., Qian, W., Wang, P., Zhang, X., Zhang, X., Hu, J. (2023). Variations of main quality components of matcha from different regions in the Chinese market. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1153983. doi:10.3389/fnut.2023.1153983
- Manikharda, Shofi, V. E., Betari, B. K., Supriyadi. (2023). Effect shading intensity on color, chemical composition, and sensory evaluation of green tea (*Camelia sinensis* var *Assamica*). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 22(7), 407-412. doi:10.1016/j.jssas.2023.03.006
- Müller, L., Fröhlich, K., Böhm, V. (2011). Comparative antioxidant activities of carotenoids measured by ferric reducing antioxidant power (FRAP), ABTS bleaching assay (α TEAC), DPPH assay and peroxy radical scavenging assay. *Food chemistry*, 129(1), 139-148. doi:10.1016/j.foodchem.2011.04.045
- Najman, K., Sadowska, A., Wolińska, M., Starczewska, K., Buczak, K. (2023). The content of bioactive compounds and technological properties of Matcha green tea and its application in the design of functional beverages. *Molecules*, 28(20):7018. doi:10.3390/molecules28207018
- Pérez-Burillo, S., Giménez, R., Rufián-Henares, J. A., Pastoriza, S. (2018). Effect of brewing time and temperature on antioxidant capacity and phenols of white tea: Relationship with sensory properties. *Food Chemistry*, 248, 111-118. doi:10.1016/j.foodchem.2017.12.056
- Phuah, Y. Q., Chang, S. K., Ng, W. J., Lam, M. Q., Ee, K. Y. (2023). A review on matcha: Chemical composition, health benefits, with insights on its quality control by applying chemometrics and multi-omics. *Food Research International*, 170, 113007. doi:10.1016/j.foodres.2023.113007
- Sakr, H., Ammar, A., Zaki, H., Salama, M. A., Ali, M. (2024). Impact of ball milling on physicochemical, structural, and functional properties of *Moringa oleifera* L. leaf powders. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 18(1): 320-330. doi:10.1007/s11694-023-02167-1
- Shishikura, Y., Khokhar, S. (2005). Factors affecting the levels of catechins and caffeine in tea beverage: estimated daily intakes and antioxidant activity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(12): 2125-2133. doi:10.1002/jsfa.2206
- Sokary, S., Al-Asmakh, M., Zakaria, Z., Bawadi, H. (2023). The therapeutic potential of matcha tea: A critical review on human and animal studies. *Current Research in Food Science*, 6, 100396. doi:10.1016/j.crfs.2022.11.015
- Stępień, A., Liszka-Skoczylas, M., Gwóźdź, G. (2025). Comparison of technological and physical properties of matcha powders of different geographical origins. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 105(4): 2569-2577. doi:10.1002/jsfa.14030
- Tontul, I., Torun, M., Dincer, C., Sahin-Nadeem, H., Topuz, A., Turna, T., Ozdemir, F. (2013). Comparative study on volatile compounds in Turkish green tea powder: Impact of tea clone, shading level and shooting period. *Food Research International*, 53(2): 744-750. doi:10.1016/j.foodres.2012.12.026
- Tsai, T. H., Tsai, T. H., Chien, Y. C., Lee, C. W., Tsai, P. J. (2008). *In vitro* antimicrobial activities against cariogenic streptococci and their antioxidant capacities: A comparative study of green tea versus different herbs. *Food Chemistry*, 110(4), 859-864. doi:10.1016/j.foodchem.2008.02.085
- Xue, J., Liu, P., Xu, Y., Gui, A., Wang, X., Ye, F., Feng, L., Wang, S., Teng, J., Gao, S., Zheng, P. (2025). Effect of cultivar and process on the astringency of matcha based on flavonoids-

targeted metabolomic analysis. *Food Research International*, 204, 115954. doi:10.1016/j.foodres.2025.115954

Ye, J. H., Fang, Q. T., Zeng, L., Liu, R. Y., Lu, L., Dong, J. J., Yin, J. F., Liang, Y. R., Xu, Y. Q., Liu, Z. H. (2024a). A comprehensive review of matcha: production, food application, potential health benefits, and gastrointestinal fate of main phenolics. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(22): 7959-7980. doi:10.1080/10408398.2023.2194419

Ye, Y., Ai, Z., Li, R., Tian, Y., Yang, Y. (2024b). Quality analysis and antioxidant activity of different types of tea powder. *Food Production, Processing and Nutrition*, 6(1): 36. doi:10.1186/s43014-023-00198-1

Zhang, Y., Wu, X., Shi, Y., Qu, F., Qi, D., Qian, W., Zhang, X., Hu, J. (2025). Identification of key

odorants responsible for the seaweed-like aroma quality of Shandong matcha. *Food Research International*, 204, 115945. doi:10.1016/j.foodres.2025.115945

Zhao, Z., Dai, Z., Jiang, X., Yu, L., Hu, M., Peng, J., Zhou, F. (2023). Influence and optimization of long-time superfine grinding on the physicochemical features of green tea powder. *Journal of Food Composition and Analysis*, 117, 105124. doi:10.1016/j.jfca.2022.105124

Zhu, H., Chu, F., Liu, J., Chen, L., Ye, Y. 2022. Investigating particle-size-induced changes in composition, physical, rheological, and bioactive properties of black tea powder. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(10):4131-4139. doi:10.1002/jsfa.11762