

Maviyemiş (*Vaccinium myrtillus* L.) Yerel Formlarının Karşılaştırmalı FTIR Profillemesi ve Antioksidan Potansiyeli

Burak Bayrak¹

¹ Atatürk Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, Temel Eczacılık Bilimleri Bölümü, Erzurum, Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 08.05.2026

Kabul: 09.08.2026

Yayın: 15.08.2026

Araştırma Makalesi



Öz – *Vaccinium myrtillus* L. (maviyemiş), zengin fitokimyasal bileşimi ve dikkat çekici biyolojik aktiviteleriyle bilinen yabani bir bitkidir. Bu çalışmada, *V. myrtillus*'un iki morfolojik varyantının farklı bitki kısımlarından (yaprak, meyve ve gövde) elde edilen metanol ekstraktlarının antioksidan kapasiteleri ve kimyasal profilleri açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Antioksidan aktiviteler, CUPRAC (Bakır İyonu İndirgeyici Antioksidan Kapasitesi) ve FRAP (Demir İndirgeyici Antioksidan Gücü) testleri kullanılarak belirlenirken, fonksiyonel grup karakterizasyonu FTIR-ATR spektroskopisi ile gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, antioksidan kapasitelerinin bitki kısmına ve varyantına bağlı olarak önemli ölçüde değiştiğini ortaya koymuştur. En yüksek antioksidan aktivite Yer Ligarbası'nın dal kısmında (CUPRAC'ta 268.40 mg troloks eşdeğeri (TE)/g; FRAP'ta 139.29 mg TE/g) gözlemlenirken, en düşük değerler yine yer ligarbasının meyvesinde kaydedilmiştir. CUPRAC ve FRAP testleri arasındaki tutarlı eğilim, iki elektron transferine dayalı yöntem arasında güçlü bir uyum olduğunu göstermiştir. FTIR spektrumları, O–H (~3400 cm⁻¹), C–H (~2925 cm⁻¹), aromatik C=C (~1600 cm⁻¹) ve C–O (~1200–1000 cm⁻¹) titreşimleri de dahil olmak üzere fenolik bileşiklere, flavonoidlere, karbohidratlara ve organik asitlere karşılık gelen karakteristik bantlar göstermiştir. Antioksidan kapasite ile 3400, 1020 ve 1050 cm⁻¹'deki FTIR bantları arasında orta düzeyde pozitif korelasyonlar belirlenmiştir; bu da hidroksil ve C–O içeren fenolik bileşiklerin antioksidan aktivitede önemli bir rol oynadığını düşündürmektedir. Genel olarak, bulgular *V. myrtillus*'un antioksidan potansiyelinin fenolik bileşimiyle güçlü bir şekilde ilişkili olduğunu ve bitki kısmına ve morfolojik varyantına bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. FTIR analizleri, antioksidan aktivite ile ilişkili fenolik ve hidroksil içeren fonksiyonel grupların varlığını ortaya koymuş ve elde edilen CUPRAC ile FRAP sonuçlarını yapısal açıdan desteklemiştir.

Anahtar Kelimeler – *Vaccinium myrtillus* L., CUPRAC, FRAP, FTIR-ATR spektroskopisi

Comparative FTIR Profiling and Antioxidant Potential of Locally Recognized Forms of Bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.)

¹ Department of Basic Pharmaceutical Sciences, Faculty of Pharmacy, Atatürk University, Erzurum, Türkiye

Article History

Received: 08.05.2026

Accepted: 09.08.2026

Published: 15.08.2026

Research Article

Abstract – *Vaccinium myrtillus* L. is a wild plant known for its rich phytochemical composition and remarkable biological activities. In this study, methanol extracts obtained from different plant parts (leaves, fruits, and stems) of two morphological variants of *V. myrtillus* were comparatively evaluated in terms of their antioxidant capacities and chemical profiles. Antioxidant activities were determined using the CUPRAC (Cupric Ion Reducing Antioxidant Capacity) and FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) assays, while functional group characterization was performed by FTIR-ATR spectroscopy. The results revealed that antioxidant capacities varied significantly depending on both the plant part and the morphological variant. The highest antioxidant activity was observed in the stem part of Yer Ligarbası (268.40 mg Trolox equivalent (TE)/g in the CUPRAC assay and 139.29 mg TE/g in the FRAP assay), whereas the lowest values were recorded in the fruit part of the same variant. The consistent trends obtained from the CUPRAC and FRAP assays indicated a strong agreement between these two electron transfer-based methods. FTIR spectra exhibited characteristic bands corresponding to phenolic compounds, flavonoids, carbohydrates, and organic acids, including O–H (~3400 cm⁻¹), C–H (~2925 cm⁻¹), aromatic C=C (~1600 cm⁻¹), and C–O (~1200–1000 cm⁻¹) vibrations. Moderate positive correlations were identified between antioxidant capacity and the FTIR bands at 3400, 1020, and 1050 cm⁻¹, suggesting that phenolic compounds containing hydroxyl and C–O functional groups play a significant role in antioxidant activity. Overall, the findings demonstrated that the antioxidant potential of *V. myrtillus* is strongly associated with its phenolic composition and varies according to plant part and morphological variant. Furthermore, FTIR spectroscopy was confirmed to be a rapid and effective complementary tool for evaluating the chemical profile and antioxidant potential of plant extracts.

Keywords – *Vaccinium myrtillus* L., CUPRAC, FRAP, FTIR-ATR spectroscopy

¹  burak.bayrak@atauni.edu.tr

1. Giriş (Birinci Düzey Başlık)

Vaccinium myrtillus L., Ericaceae familyasına ait, küçük koyu renkli meyveler taşıyan ve yerel olarak mavi-yemiş, yaban mersini, likapa, ligarba, ayı üzümü, lifos gibi çeşitli isimlerle bilinen önemli, geniş yayılım gösteren yabani bir bitkidir. Bu tür, uzun yıllardır hem gıda hem de geleneksel tıpta kullanılmakta olup, özellikle Avrupa’da doğal popülasyonlardan toplanarak değerlendirilmektedir (Luteyn, 2002; Pires vd., 2020). Literatürde, bu bitkinin obezite karşıtı, antikanser, yaşlanma karşıtı, kardiyoprotektif, antiinflamatuvar ve hipoglisemik etkiler başta olmak üzere geniş spektrumlu biyolojik aktivitelere sahip olduğu rapor edilmiştir (Ashour vd., 2011; Ceriello ve Genovese, 2016; Erlund vd., 2008; Granfeldt ve Björck, 2011; Kolehmainen vd., 2012; Luo vd., 2014; Novi ve ark., 2025; Patra ve ark. 2026; Schink vd., 2018; Thibado vd., 2018; Yuca ve ark. 2025; Žiberna vd., 2009).

V. myrtillus, zengin fitokimyasal içeriği ile dikkat çekmekte olup özellikle fenolik bileşikler, flavonoidler ve antosiyaninler bakımından önemli bir doğal kaynak olarak kabul edilmektedir. Antosiyaninler, bitkinin karakteristik mavi-mor renginden sorumlu başlıca pigmentler olup, aynı zamanda biyolojik aktivitenin önemli belirleyicileridir. Literatürde bu türde kersetin, kemferol ve çeşitli fenolik asitlerin baskın bileşenler olduğu bildirilmiştir (Pires vd., 2020; Sezer vd., 2019). Toplam polifenol ve antosiyanin içeriğinin; çeşit, çevresel koşullar ve olgunluk düzeyine bağlı olarak önemli ölçüde değişkenlik gösterdiği ifade edilmektedir (Mazza ve Miniati, 2018; Routray ve Orsat, 2011).

Bu zengin kimyasal içerik, *V. myrtillus*’un güçlü antioksidan özellikler sergilemesini sağlamaktadır. Antioksidan bileşikler, reaktif oksijen türlerini (ROS) nötralize ederek oksidatif stresin azaltılmasında önemli rol oynamaktadır. Oksidatif stresin; kardiyovasküler hastalıklar, diyabet, kanser ve nörodejeneratif hastalıklar gibi birçok kronik hastalığın patogeneğinde yer aldığı bilinmektedir (Pacifi ve Davies, 1991; Pizzino vd., 2017; Sies, 2015). Bu nedenle doğal antioksidan kaynaklarının belirlenmesi ve karakterizasyonu günümüzde büyük önem taşımaktadır.

Bitkisel ekstraktların antioksidan kapasitesinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden CUPRAC ve FRAP, elektron transferine dayalı indirgeme gücü prensibine göre çalışmaktadır. Bu yöntemler, farklı redoks sistemleri üzerinden antioksidan kapasitenin güvenilir ve karşılaştırılabilir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır (Irawan vd., 2022; Kubilienė vd., 2020; Sethi vd., 2020).

Bitki ekstraktlarının kimyasal karakterizasyonunda ise Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) hızlı, güvenilir ve non-destrüktif bir analiz yöntemi olarak öne çıkmaktadır. FTIR tekniği, fonksiyonel grupların belirlenmesine olanak tanıyarak kompleks bitkisel matrislerin genel kimyasal profilinin kısa sürede ortaya konmasını sağlar. Bu yönüyle, bitki ekstraktlarının karşılaştırmalı analizlerinde etkili bir araçtır (Bardakçı ve Seçilmiş, 2006; Civaş vd., 2026).

Literatürde *V. myrtillus* üzerine yapılan çalışmaların büyük bir kısmı meyve kısmına odaklanmakta olup, bu kısımdaki fenolik bileşikler ve antioksidan kapasite ayrıntılı şekilde incelenmiştir. Buna karşın, bitkinin yaprak ve dal gibi diğer kısımlarının fitokimyasal özellikleri ve antioksidan potansiyeli üzerine yapılan çalışmalar sınırlı kalmıştır. Ayrıca mevcut çalışmalar genellikle tek bir bitki kısmı veya tek bir analiz yöntemi ile sınırlandırılmıştır.

Bu bağlamda, mevcut çalışmada yabani ortamdan toplanan *V. myrtillus* bitkisine ait iki farklı morfolojik varyantın dal, yaprak ve meyve kısımlarından elde edilen metanollü ekstraktların antioksidan kapasiteleri CUPRAC ve FRAP yöntemleri kullanılarak karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş ve FTIR analizi ile bu ekstraktların fonksiyonel grup profilleri incelenmiştir. Bu yaklaşımın, bitkinin farklı kısımlarının biyokimyasal potansiyeline ilişkin daha kapsamlı bir bakış açısı sunarak literatürdeki boşluğu doldurması hedeflenmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Kullanılan Kimyasallar ve Cihazlar

Bu çalışmada kullanılan tüm kimyasallar ve reaktifler analitik saflıktadır Bakır(II) klorür dihidrat ve Troloks, AFG Scientific’ten temin edilmiştir. TPTZ (2,4,6-tri-2-pyridinyl-1,3,5-triazine) ve Neoküproin, BLDpharm’dan satın alınmıştır. Sodyum asetat trihidrat, hidroklorik asit (%32), amonyum asetat, buzlu asetik

asit (%99), Etanol (%96) ve demir(III) klorür heksahidrat da Isolab'dan temin edilmiştir. Spektrofotometrik ölçümler Thermo Scientific marka Multiskan Go cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. FTIR spektrumları ise Shimadzu marka IRSpirit cihazı ile elde edilmiştir.

Araştırma makalelerinde, kullanılan materyaller, uygulanan yöntemler ve teknikler anlaşılır bir şekilde bu bölümde açıklanmalıdır. Çalışmanın tekrarlana bilirliliği açısından yöntem detaylı ve açık bir şekilde verilmelidir. Kullanılan yöntemler daha önce yayımlanmış referanslarla desteklenmelidir.

2.2. Bitki Materyali ve Ekstraksiyon

Bu çalışmada kullanılan bitki materyalleri, daha önce gerçekleştirilen “*In Vitro* Evaluation of Antidiabetic, Antioxidant, and Anticholinergic Properties of Different Parts of Bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) From the Eastern Black Sea Region” başlıklı çalışmada kullanılan örneklerle aynı populasyondan elde edilmiştir (Yuca vd., 2025). Bitki örnekleri 2023 yılı Eylül ayında Trabzon ili Köprübaşı ilçesinde bulunan Kutlusu Yaylası’ndan toplanmıştır. Kullanılan bitki materyallerinin taksonomik teşhisleri, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Bitki Sistematiği Anabilim Dalı tarafından örneklerin morfolojik karakterleri, ilgili floristik kaynaklar ve herbaryum materyalleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Teşhisi doğrulanan voucher örnekleri AUEF 1413–1416 numaraları ile Atatürk Üniversitesi Biyolojik Çeşitlilik Uygulama ve Araştırma Merkezi Herbaryumu’nda muhafaza edilmektedir.

Araştırmada kullanılan tüm örnekler taksonomik olarak *V. myrtillus* türüne ait olup, çalışmada kullanılan "Dal ligarbası" ve "Yer ligarbası" ifadeleri farklı türleri değil, aynı türün Doğu Karadeniz Bölgesi'nde farklı lokalitelerde halk arasında kullanılan yöresel adlarını ifade etmektedir. Etnobotanik çalışmalarda aynı bitki türünün coğrafi dağılımı, yetiştirme ortamı, morfolojik özellikleri ve geleneksel kullanım biçimlerine bağlı olarak farklı yöresel isimlerle anılması yaygın olarak bildirilmektedir (Pardo-de-Santayana ve ark., 2005; Łuczaj ve ark., 2013; Pieroni ve ark., 2014). Bu nedenle çalışmada taksonomik bir ayırım yapılmamış; halk tarafından farklı isimlerle tanımlanan yerel morfotipler ayrı gruplar halinde değerlendirilerek fitokimyasal ve biyolojik özellikleri karşılaştırılmıştır. Her morfotipe ait dal, yaprak ve meyve kısımları ayrı ayrı incelenmiş, örneklerle özgün kodlar verilmiş ve ayrıntılı bilgiler Tablo 1’de sunulmuştur.

Bu çalışmada kullanılan metanol ekstreleri, ilgili önceki çalışma kapsamında hazırlanmış olup mevcut araştırmada yeniden antioksidan ve spektroskopik analizlerde değerlendirilmiştir. Ekstraksiyon işlemi daha önce rapor edilen yöntemle göre gerçekleştirilmiştir (Yuca vd., 2025). Kısaca, açık havada gölgede kurutulan bitki materyalleri öğütülmüş, belirli miktarlarda tartılarak yuvarlak tabanlı şişelere aktarılmıştır. Örnekler üzerine 90 mL metanol ilave edilmiş, oda sıcaklığında bir gece bekletildikten sonra 40 °C’de ve 100 rpm’de çalkalamalı su banyosunda 24 saat ekstraksiyona tabi tutulmuştur. Elde edilen karışımlar süzölmüş ve çözücü faz döner buharlaştırıcı kullanılarak uzaklaştırılmıştır. Kurutulan ekstratlar analiz zamanına kadar ışık almayan, hava ile teması en aza indirilecek şekilde kapalı amber cam şişelerde 4 °C’de muhafaza edilmiştir. Düşük sıcaklık, ışığa maruziyetin önlenmesi ve oksijenle temasın sınırlandırılması; özellikle fenolik bileşikler ve diğer biyoaktif metabolitlerin oksidatif bozunmasını yavaşlatarak ekstratların kimyasal stabilitesinin korunmasında yaygın olarak önerilen saklama koşullarıdır (Azmir vd., 2013; Dai ve Mumper, 2010). Bu nedenle, önceki çalışma kapsamında hazırlanan ekstratlar uygun muhafaza koşulları altında saklanmış ve mevcut çalışmada yeniden analiz edilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan bitki materyalleri ve kullanılan kısımlar

Table 1. Plant materials used in the study and the plant parts utilized

Bitki Adı	Kullanılan Bitkiler ve Kısımları	
	Dal Ligarba	Yer Ligarba
<i>V. myrtillus</i>	Dal (DLD)	Dal (YLD)
	Yaprak (DLY)	Yaprak (YLY)
	Meyve (DLM)	Meyve (YLM)

2.3. FTIR Spektrumları

FTIR analizleri, örneklerin fonksiyonel grup bileşimini belirlemek amacıyla Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümler, ATR (Attenuated Total Reflectance) aksesuarı bulunan bir FTIR spektrometresi ile yapılmıştır. Ölçümler için 2 mg macun kıvamındaki ekstre örnekleri alınarak ATR başlığı ile teması sağlanmıştır. Analizler $4000-400\text{ cm}^{-1}$ dalga sayısı aralığında gerçekleştirilmiş ve her örnek için 24 tarama alınarak spektrumlar elde edilmiştir. Spektral çözünürlük analiz sırasında sabit tutulmuş (4 cm^{-1}) ve arka plan spektrumu her ölçümden önce kaydedilerek cihazdan kaynaklanan etkiler minimize edilmiştir. Elde edilen spektrumlar cihaz yazılımı kullanılarak kaydedilmiş ve daha sonra veri işleme ve karşılaştırmalı değerlendirmeler için .txt formatında dışa aktarılmıştır. Görselleştirmeler için RStudio programı kullanılmıştır. FTIR yöntemi, bitki ekstraktlarında bulunan fonksiyonel grupların hızlı ve tahribatsız bir şekilde belirlenmesine olanak sağlamaktadır (Barnes vd., 2023).

2.4. Antioksidan Kapasitesi Testleri

2.4.1. FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) Testi

FRAP testi Benzie ve Strain (1996) yöntemi temel alınarak üzerinde yapılan ufak değişikliklerle gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda 300 mM asetat tamponu (pH 3.6), 10 mM TPTZ çözeltisi 40 mM HCl içinde ve 20 mM FeCl_3 çözeltisi hazırlanmıştır. Çalışma reaktifi, asetat tamponu: TPTZ: FeCl_3 oranı 1:1:1 olacak şekilde taze olarak hazırlanmıştır. Mikroplaka formatında her kuyucuğa 20 μL numune (20–1000 $\mu\text{g/mL}$ aralığında hazırlanmış) ve 180 μL FRAP reaktifi ilave edilmiştir. Plakalar hafifçe çalkalanarak $37\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 30 dakika inkübasyona bırakılmıştır. Absorbans ölçümleri üç tekrarlı olarak yapılmış ve ortalaması alınmıştır, ölçümler 593 nm dalga boyunda gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon eğrisi oluşturmak amacıyla 100–1000 μM konsantrasyon aralığında FeSO_4 standart çözeltileri kullanılmıştır. Sonuçlar FeSO_4 standart eğrisi kullanılarak $\mu\text{mol Fe}^{2+}$ eşdeğeri/g ($\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$) cinsinden ifade edilmiştir.

2.4.2. CUPRAC (Cupric Reducing Antioxidant Capacity) Testi

Numunelerin toplam antioksidan kapasitesi CUPRAC yöntemi temel alınarak üzerinde yapılan ufak değişikliklerle gerçekleştirilmiştir (Apak vd., 2004). 1 mL 10 mM CuCl_2 ve 1 mL 7.5 mM neokuproin ve 1.0 M amonyum asetat tamponu (pH 7.0) çözeltileri hazırlanmıştır. Hazırlanan çözeltiler 30 dakika oda sıcaklığında bekletilerek ölçümler 450 nm'de gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemde, Cu(II)-neokuproin kompleksinin, antioksidan bileşenler tarafından Cu(I)-neokuproin kompleksine indirgenmesi esas alınmıştır. Oluşan renkli kompleksin absorbansı, 450 nm dalga boyunda spektrofotometrik olarak ölçülmüş ve elde edilen absorbans değerleri, standart antioksidan olarak kullanılan Troloks ile oluşturulacak kalibrasyon eğrisi yardımıyla değerlendirilmiştir. Sonuçlar Troloks eşdeğeri antioksidan kapasitesi (mg TE/g) cinsinden ifade edilmiştir.

2.5. Veri Analizi ve Görselleştirme

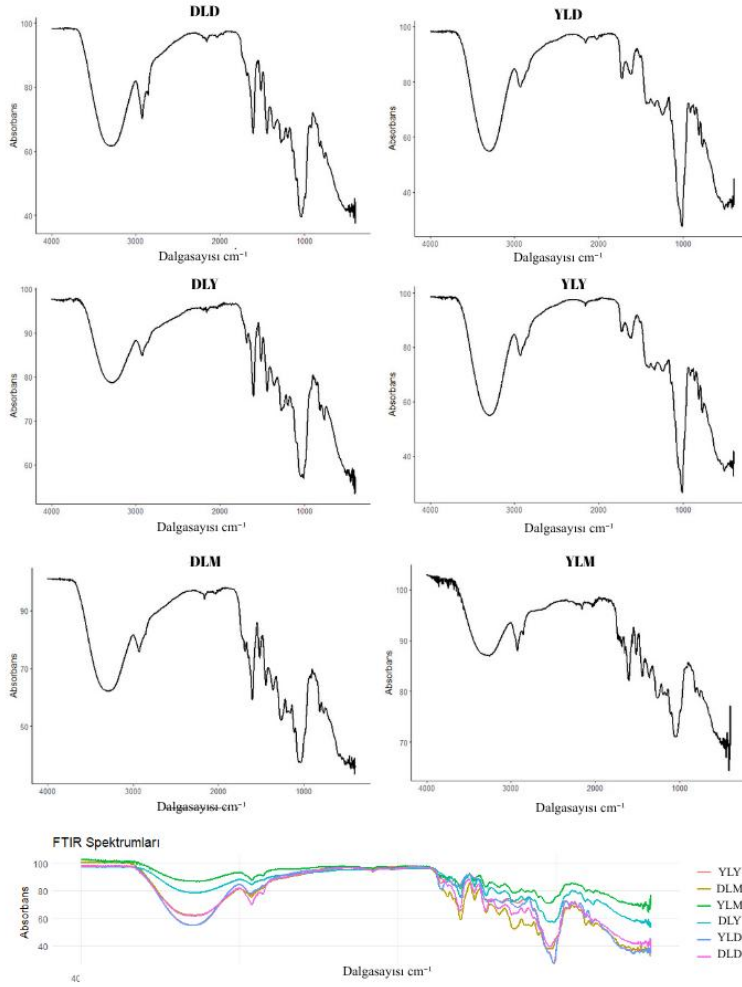
Veri analizi ve görselleştirme işlemleri RStudio kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Antioksidan analiz sonuçları ve FTIR spektrumlarına ait grafikler uygun R paketleri kullanılarak oluşturulmuştur. FTIR verileri işlenmiş, gerekli düzeltmeler uygulanmış ve örnekler arasındaki fonksiyonel grup farklılıklarının karşılaştırılmasına olanak sağlayacak şekilde görselleştirilmiştir.

3. Bulgular

3.1. FTIR-ATR Bulguları

Bu çalışmada, *V. myrtillus* bitkisinin iki farklı morfolojik varyantına ait yaprak, meyve ve dal kısımlarından elde edilen metanollü ekstraktların FTIR-ATR spektrumları, literatürde rapor edilen bant atamaları ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir (Şekil 1). Elde edilen spektrumlar genel olarak bitkisel fenolikler, flavonoidler, organik asitler ve karbonhidrat yapılarına ait karakteristik bantları yansıtmış olup, tüm örneklerde yaklaşık 3400 cm^{-1} (O–H gerilmesi), 2925 cm^{-1} (C–H gerilmesi), 1600 cm^{-1} (aromatik C=C) ve $1200-1000$

cm^{-1} (C–O, C–O–C) bölgelerinde ortak bantlar gözlenmiştir. Bununla birlikte, bu bantların şiddetlerinin bitki organlarına ve türlere göre önemli farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 1. Bitki ekstratlarının 400-4000 (cm^{-1}) aralığındaki FTIR-ATR spektrumları

Figure 1. FTIR-ATR spectra of the plant extracts in the range of 400–4000 cm^{-1}

YLY ekstresi en yüksek absorbans değerlerine sahip olup, geniş O–H bandı ($\sim 3400 \text{ cm}^{-1}$), C–H gerilmesi ($\sim 2920 \text{ cm}^{-1}$), ester yapısına ait C=O bandı ($\sim 1735 \text{ cm}^{-1}$), aromatik halka titreşimlerine karşılık gelen $1650\text{--}1600 \text{ cm}^{-1}$ bölgesi ve $1200\text{--}1000 \text{ cm}^{-1}$ aralığında yoğun C–O ve C–O–C bantları sergilemiştir. Bu spektral özellikler, literatürde maviyemiş yaprak ekstratları için bildirilen bantlarla uyumlu olup, flavonol glikozitleri ve fenolik asitlerce zengin bir kimyasal profilin varlığını desteklemektedir (Poja vd., 2025; Sinelli vd., 2008).

DLY ekstresi YLY ile benzer bantlara sahip olmakla birlikte, genel olarak daha düşük absorbans değerleri göstermiştir. Özellikle aromatik bölgedeki ($\sim 1515 \text{ cm}^{-1}$) pik şiddetinin YLY'ye kıyasla daha zayıf olduğu gözlenmiştir. Bu durum, aynı tür içerisinde bile genetik ve çevresel faktörlere bağlı olarak fenolik içerikte değişiklik olabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte DLY, yaprak dokusuna özgü flavonoller ve fenolik asitlerin varlığını yansıtmaktadır.

DLM ekstresi ise YLY ile karşılaştırılabilir düzeyde yüksek absorbans değerleri göstermiştir. Özellikle 1735 cm^{-1} civarındaki C=O bandı, $1650\text{--}1600 \text{ cm}^{-1}$ bölgesindeki aromatik bantlar ve $1200\text{--}1000 \text{ cm}^{-1}$ aralığındaki yoğun sinyaller dikkat çekmiştir. Literatürde meyve ekstratları için rapor edilen $1059\text{--}1062 \text{ cm}^{-1}$ (glikozit bantları), 1718 cm^{-1} (C=O) ve $1637\text{--}1650 \text{ cm}^{-1}$ (aglikon-piranosit ilişkili bantlar) bu spektrumda da belirgin şekilde gözlenmiştir (David vd., 2009). Ayrıca şekerlere ait C–O ve C–C gerilmelerinin bulunduğu $1220\text{--}968 \text{ cm}^{-1}$ aralığındaki bantlar, meyvede bulunan fruktoz, glikoz, sükroz ve pektin yapısındaki polisakkaritlerin varlığını

desteklemektedir. Bu bulgular, DLM'nin antosiyaninler, flavonoller, şekerler ve organik asitler açısından zengin bir profil sergilediğini göstermektedir.

YLM ekstresi ise DLM'ye kıyasla belirgin şekilde daha düşük absorbens değerlerine sahip olup, özellikle 3400 cm^{-1} civarındaki O–H bandı zayıf, 1735 cm^{-1} 'deki C=O bandı ise neredeyse gözlenemeyecek düzeydedir. 1200–1000 cm^{-1} aralığında da düşük absorbens değerleri elde edilmiştir. Bu sonuçlar, Y bitkisinin meyvesinin ekstrakte edilebilir fenolik bileşikler, şekerler ve organik asitler açısından D bitkisine göre daha az olduğunu göstermekte ve tür içi kimyasal farklılıkların önemini ortaya koymaktadır.

YLD ve DLD dal ekstreleri genel olarak düşük absorbens değerleri göstermiştir. YLD'de 3400 cm^{-1} civarında zayıf bir O–H bandı, 2925 cm^{-1} civarında C–H gerilmesi ve 1600 cm^{-1} civarında çok zayıf aromatik bantlar gözlenirken, 1735 cm^{-1} civarında belirgin bir C=O bandı tespit edilmemiştir. Benzer şekilde 1200–1000 cm^{-1} aralığında da düşük absorbens değerleri elde edilmiştir. Bu durum, dal dokusunun metanolde çözünebilen sekonder metabolitler (fenolik bileşikler ve şekerler) açısından görece az olduğunu göstermektedir. DLD ekstresi de benzer şekilde düşük absorbens değerleri sergilemiş, ancak bazı bölgelerde YLD'ye kıyasla hafif daha yüksek sinyaller gözlenmiştir. Bununla birlikte her iki bitkinin dal ekstrelerinin genel spektral profillerinin birbirine benzer olduğu ve kimyasal içerik açısından yakınlık gösterdiği anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak, yaprak ekstrelerinin (YLY ve DLY) fenolik bileşikler açısından zengin, meyve ekstrelerinin (özellikle DLM) antosiyaninler, şekerler ve organik asitler bakımından yüksek içerikli olduğu; buna karşılık dal ekstrelerinin (YLD ve DLD) düşük absorbens değerleri ile karakterize edildiği belirlenmiştir. Bu bulgular, aynı tür içerisinde farklı bitki organları arasında ve farklı türler arasında belirgin kimyasal varyasyonlar bulunduğunu göstermekte olup, dal dokularının metanolde çözünebilen sekonder metabolitler açısından daha az, ancak spesifik bileşikler (örneğin proantosiyanidinler) içerebilecek potansiyelde olduğunu düşündürmektedir.

3.2. Antioksidan Deneylerinin Bulguları

Dal, yaprak ve meyvelerin antioksidan aktiviteleri CUPRAC ve FRAP testleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Hem CUPRAC hem de FRAP testlerinde 0,99'dan yüksek korelasyon katsayılarıyla mükemmel bir doğrusallık gözlemlenmiştir. *V. myrtillus* ekstrelerinin antioksidan kapasiteleri hem CUPRAC hem de FRAP testleri kullanılarak değerlendirildi (Tablo 2). Her iki testte de tutarlı bir eğilim gözlemlendi ve bu da örnekler arasında karşılaştırılabilir antioksidan davranış olduğunu gösterdi.

V. myrtillus ekstrelerinde CUPRAC ve FRAP testleri tutarlı bir eğilim göstermiştir. CUPRAC'a göre en yüksek aktivite Yer ligarbasının dal kısmında, en düşük ise Yer ligarbasının meyve kısmında gözlemlenmiştir. FRAP'ta ise en yüksek aktivite Yer ligarbasının yaprak kısmında, en düşük yine Yer ligarbasının meyve kısmında gözlemlenmiştir. DLM ve YLM her iki testte de düşük değerler sergilemiştir. Genel olarak CUPRAC ve FRAP sonuçları birbirleriyle uyumlu bir trend göstermiştir. Her iki elektron transferine dayalı antioksidan testte de benzer sıralamanın elde edilmesi, örneklerin indirgeme kapasitesi açısından tutarlı bir davranış sergilediğini ve CUPRAC ile FRAP yöntemleri arasında pozitif korelasyon bulunduğunu düşündürmektedir. Sonuçlar, antioksidan aktivitenin örnekler arasında belirgin şekilde değiştiğini ve özellikle YLD'nin en güçlü, YLM'nin ise en zayıf antioksidan kapasiteye sahip örnekler olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 2. CUPRAC ve FRAP yöntemleriyle elde edilen numunelerin antioksidan aktivite sonuçları
Table 2. Antioxidant activity results of the samples obtained using the CUPRAC and FRAP methods

Örnekler	CUPRAC İndirgeyici Aktivite (mg TE/g kuru ekstrakt)	FRAP İndirgeyici Aktivite ($\mu\text{mol Fe}^{2+}$ /g kuru ekstrakt)
DLD	180.84	134.51
YLD	268.40	139.29
DLM	28.16	43.22
YLM	5.88	31.25
DLY	183.08	123.33
YLY	236.20	145.26

4. Sonuçlar ve Tartışma

V. myrtillus ekstrelerinin antioksidan kapasiteleri CUPRAC ve FRAP yöntemleri kullanılarak değerlendirildi. Elde edilen sonuçlar, literatürde bildirilen *Vaccinium* türleri ve farklı meyve/bitki ekstreleriyle genel olarak uyumlu olmakla birlikte, bazı farklılıklar göstermektedir. Örneğin, Bulgaristan’da *V. myrtillus* meyveleri üzerinde yapılan bir çalışmada FRAP aktivitesi 35.9–197.4 $\mu\text{M TE/g fw}$, CUPRAC aktivitesi ise 17.6–25.3 $\mu\text{M TE/g fw}$ aralığında rapor edilmiştir ve en yüksek değerlerin aseton ekstraktlarında elde edildiği bildirilmiştir (Karcheva-Bahchevanska vd., 2023). Benzer şekilde Polonya’da yapılan bir çalışmada çeşitli çözücüler kullanılan ekstrelerinin CUPRAC aktivitesi 17.6 – 25.3 $\mu\text{M TE/g}$ aralığında bildirilmiştir (Drózd vd., 2017). Türkiye’de yürütülen bir başka çalışmada ise FRAP ve CUPRAC değerleri sırasıyla $346.115 \pm 6.039 \mu\text{mol Fe/g}$ ve $0.304 \pm 0.008 \text{ mmol TE/g KA}$ olarak raporlanmıştır (Saral vd., 2015). Sırbistan’da kurutulmuş yapraklar üzerinde yapılan bir çalışmada ise CUPRAC ve FRAP değerleri $45.7 \pm 0.5 \mu\text{mol TE/g}$ ve $15.3 \pm 0.2 \mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$ seviyelerinde bulunmuş ve ekstraksiyon yöntemine bağlı olarak anlamlı bir farklılık gözlenmediği belirtilmiştir (Batinić vd., 2023). Sırbistan çalışmasında ekstraksiyon yönteminin etkisi anlamlı bulunmazken, bizim çalışmamızda bitki organı farklılıkları antioksidan kapasitede belirgin değişikliklere yol açmıştır. Ayrıca Çolak ve arkadaşları tarafından 2016 yılında yapılan çalışmada benzer coğrafi bölgelerden toplanan *V. uliginosum* meyvelerinde DPPH ve FRAP değerleri sırasıyla 175 $\mu\text{mol TE/g FW}$ ve 117 $\mu\text{mol TE/g FW}$ olarak bildirilmiştir. Ancak, birimlerdeki (μmol , mmol , mg), referans standartlarındaki (Trolaks ve Fe^{2+}) ve numune esasındaki (taze ve kuru ağırlık) farklılıklar nedeniyle çalışmalar arasında doğrudan karşılaştırma sınırlıdır.

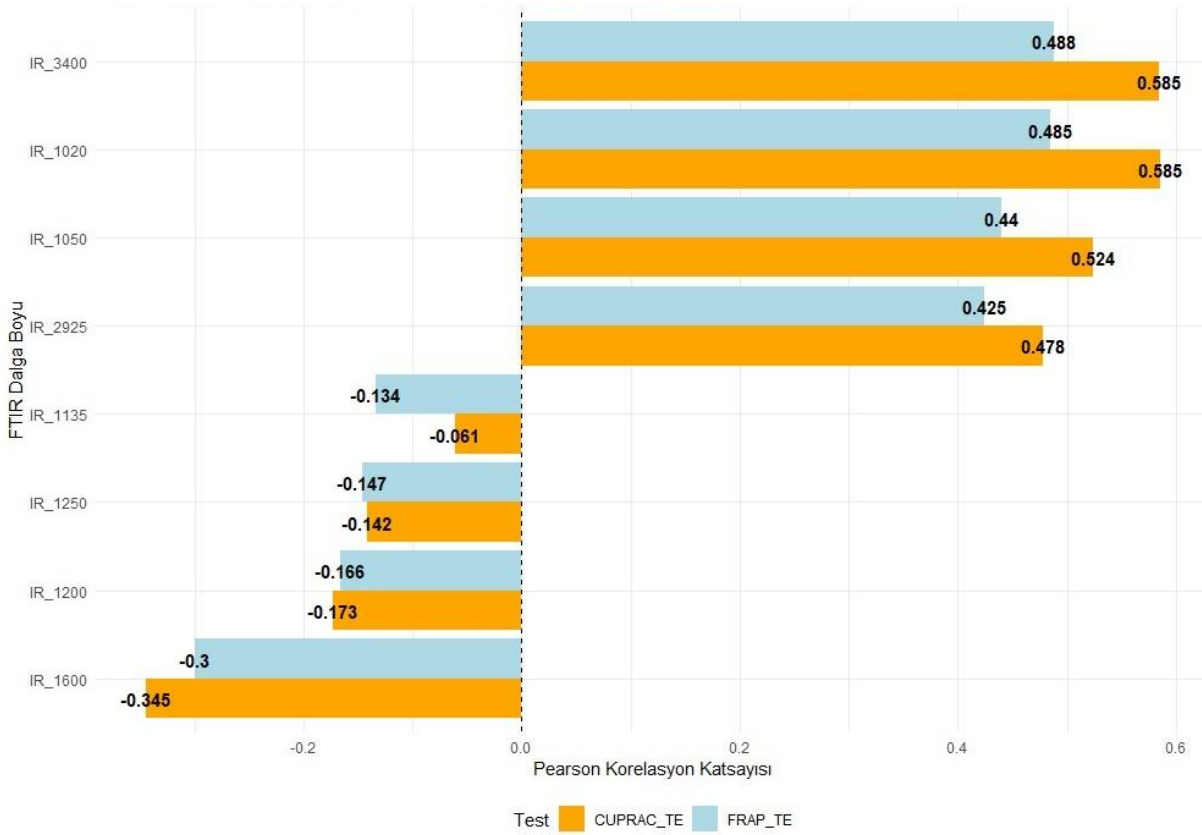
Bu çalışmada *V. myrtillus* bitkisinin farklı organlarına (yaprak, meyve ve dal) ait metanollü ekstrelerin FTIR-ATR spektral profilleri ile CUPRAC ve FRAP yöntemleriyle belirlenen antioksidan aktiviteleri birlikte değerlendirilmiştir. FTIR analizleri, tüm örneklerde fenolik bileşikler, flavonoidler, organik asitler ve karbonhidratlara ait karakteristik bantların (yaklaşık 3400 cm^{-1} O–H, 2925 cm^{-1} C–H, 1600 cm^{-1} aromatik C=C ve $1200\text{--}1000 \text{ cm}^{-1}$ C–O/C–O–C) varlığını doğrulamış, ancak bant şiddetlerinin bitki organları ve türler arasında belirgin farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Özellikle yaprak ve meyve ekstrelerinde daha yoğun O–H, C=O ve aromatik bölge sinyalleri gözlenmesi, bu dokuların fenolik bileşikler ve sekonder metabolitler açısından daha zengin olduğunu göstermiştir.

Antioksidan aktivite sonuçları incelendiğinde, CUPRAC ve FRAP değerlerinin özellikle fenolik içerik bakımından zengin olduğu FTIR ile desteklenen örneklerde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Örneğin YLB, YLL, DLL ve DLB gibi örnekler hem CUPRAC (268.40–180.84 mg TE/g) hem de FRAP (145.26–123.33 mg TE/g) açısından yüksek indirgeme kapasitesi sergilerken, bu örneklerin FTIR spektrumlarında 3400 cm^{-1} (O–H gerilmesi), 1600 cm^{-1} (aromatik C=C) ve $1200\text{--}1000 \text{ cm}^{-1}$ (C–O grubu) bölgelerinde daha yoğun absorpsiyon değerleri gözlenmiştir. Bu durum, fenolik hidroksil gruplarının ve konjuge aromatik yapıların elektron transferine dayalı antioksidan mekanizmalarda aktif rol oynadığını desteklemektedir.

Buna karşılık, FTIR spektrumlarında daha düşük absorpsiyon şiddeti sergileyen DLF ve YLF gibi örneklerin CUPRAC (28.16–5.88 mg TE/g) ve FRAP (43.22–31.25 mg TE/g) değerlerinin de belirgin şekilde düşük olması, spektral ve antioksidan verileri arasında güçlü bir korelasyon bulunduğunu göstermektedir. Özellikle 1735 cm^{-1} civarındaki C=O bandının zayıf veya belirgin olmaması ile düşük antioksidan aktivite arasında paralel bir ilişki gözlenmiştir. Bu durum, antioksidan aktiviteye katkıda bulunan bileşiklerle ilişkili olabilir. Ayrıca CUPRAC ve FRAP sonuçları arasında genel olarak paralel bir sıralama eğilimi gözlenmiş olup, her iki yöntemin de elektron transfer mekanizmasına dayanması nedeniyle benzer antioksidan trendleri yansıttığı belirlenmiştir. FTIR spektral verileri ile antioksidan test sonuçlarının uyumlu olması, örneklerin kimyasal bileşimi ile fonksiyonel aktivitesi arasında doğrudan bir ilişki bulunduğunu göstermektedir. Özellikle fenolik grup yoğunluğu yüksek olan örneklerde hem CUPRAC hem de FRAP değerlerinin artması, antioksidan kapasitenin temel olarak fenolik içerikle ilişkili olduğunu doğrulamaktadır.

FTIR bantları ile antioksidan aktivite arasındaki ilişkiyi değerlendirmek amacıyla yapılan korelasyon analizi yapıldı (Şekil 2). Bütün ekstrelerin antioksidan kapasitesi (CUPRAC için turuncu renk ve FRAP için yeşil renk) ile 3400 , 1020 ve 1050 cm^{-1} deki FTIR bantları arasında orta düzeyde pozitif korelasyonlar gözlemlenmiştir; bu da hidroksil ve C–O içeren fenolik bileşiklerin antioksidan aktivitede önemli bir rol oynadığını göstermektedir. 2925 cm^{-1} deki bant orta düzeyde bir katkı göstermiş olup, muhtemelen alifatik yapılarla ilişkilidir.

Buna karşılık, 1600 cm^{-1} civarında gözlemlenen zayıf ila orta düzeyde negatif korelasyonlar, aromatik yapıların antioksidan aktiviteye katkısının beklenenin aksine daha düşük olabileceğini düşündürmektedir. Literatürde, 1600 cm^{-1} civarındaki absorpsiyon bandının yalnızca fenolik halkaların C=C gerilmesine değil, aynı zamanda oksitlenmiş kinon benzeri yapılar veya fenoksonyum katyonları gibi ara ürünlere de atfedilebileceği belirtilmiştir (Chen vd., 2010; Fuente, vd., 2003). Bu tür oksitlenmiş yapılar, serbest radikalleri süpürme kapasitesi düşük olan veya elektron transfer mekanizmasında daha az etkin rol oynayan bileşiklerdir. Bu nedenle, 1600 cm^{-1} bant şiddetinin yüksek olduğu durumlarda, örnekteki aromatik yapıların bir kısmının oksidasyona uğramış olabileceği ve bu durumun ölçülen toplam antioksidan kapasiteyi düşürdüğü söylenebilir. Bununla birlikte, bu korelasyonlar kimyasal bir nedensellik değil, bir ilişkiyi göstermektedir. FTIR bant şiddetleri, birden fazla kimyasal grubun katkısını yansıttığından, negatif korelasyonun kesin kimyasal kaynağını belirlemek için ek analitik yöntemlere (örneğin, HPLC ile bireysel bileşiklerin kantifikasyonu) ihtiyaç vardır.



Şekil 2. FTIR bantları ile antioksidan aktivite arasındaki korelasyon analizi

Figure 2. Correlation analysis between FTIR bands and antioxidant activity.

Sonuç olarak, FTIR-ATR analizleri ile belirlenen fonksiyonel grup dağılımı ve bant yoğunlukları, CUPRAC ve FRAP ile elde edilen antioksidan aktivite sonuçlarıyla genel olarak tutarlı bir eğilim göstermiştir. Bu bulgular, *V. myrtillus* örneklerinde antioksidan kapasitenin büyük ölçüde fenolik bileşikler, flavonoidler ve konjuge aromatik sistemlerin varlığı ile ilişkili olduğunu ve FTIR spektral analizinin antioksidan potansiyelin hızlı ve tamamlayıcı bir göstergesi olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, FTIR-ATR analizlerinin tek başına bu tür antioksidan aktivite farklılıklarını tam olarak nicel düzeyde açıklaması mümkün değildir. FTIR spektral verileri, yalnızca fonksiyonel gruplar ve genel kimyasal yapı hakkında bilgi sağlamakta olup, bireysel bileşiklerin kesin konsantrasyonlarını ve antioksidan aktiviteye katkı oranlarını doğrudan ortaya koymamaktadır. Nicel doğrulama için kullanılamaz, ancak ön tarama veya destekleyici kanıt olarak değerlidir.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan bitki ekstraktlarını sağlayan Yuca ve arkadaşlarına, ayrıca Prof. Dr. Mehmet Bona'ya a değerli katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Kaynaklar

- Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M., & Karademir, S. E. (2004). Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC method. *Journal of agricultural and food chemistry*, 52(26), 7970-7981. <https://doi.org/10.1021/jf048741x>
- Ashour, O. M., Elberry, A. A., Alahdal, A. M., Al Mohamadi, A. M., Nagy, A. A., Abdel-Naim, A. B., Mohamadin, A. M. (2011). Protective effect of bilberry (*Vaccinium myrtillus*) against doxorubicin-induced oxidative cardiotoxicity in rats. *Medical science monitor: international medical journal of experimental and clinical research*, 17(4), BR110. <https://doi.org/10.12659/MSM.881711>
- Azmir, J., Zaidul, I. S. M., Rahman, M. M., Sharif, K. M., Mohamed, A., Sahena, F., ... & Omar, A. K. (2013). Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *Journal of food engineering*, 117(4), 426-436.
- Bardakçı, B., & Seçilmiş, H. (2006). Isparta bölgesindeki gül yağının kimyasal içeriğinin GC-MS ve FTIR spektroskopisi tekniği ile incelenmesi. *Süleyman Demirel University Faculty of Arts and Science Journal of Science*, 1(1), 64-69. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014>
- Barnes, M., Sulé-Suso, J., Millett, J., & Roach, P. (2023). Fourier transform infrared spectroscopy as a non-destructive method for analysing herbarium specimens. *Biology Letters*, 19(3). <https://doi.org/10.1098/rsbl.2022.0546>
- Batinić, P., Jovanović, A. A., Rajab Elferjane, M., Čutović, N., Milošević, M., Marinković, A., & Bugarski, B. (2023). *Comparison of maceration and ultrasound-assisted extraction of antioxidant compounds from Vaccinium myrtillus L.* Paper presented at the Proceedings-VIII International Congress" Engineering, Environment and Materials in Process Industry", EEM 2023, March 20-23 2023, Jahorina.
- Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical biochemistry*, 239(1), 70-76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
- Ceriello, A., & Genovese, S. (2016). Atherogenicity of postprandial hyperglycemia and lipotoxicity. *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders*, 17(1), 111-116. <https://doi.org/10.1007/s11154-016-9341-8>
- Chen, S., Peng, H. M., & Webster, R. D. (2010). Infrared and UV-vis spectra of phenoxonium cations produced during the oxidation of phenols with structures similar to vitamin E. *Electrochimica acta*, 55(28), 8863-8869. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2010.07.096>
- Civaş, A., Karakaş, Ş., Bayrak, B., Akyüz, B., Keçeci, E. B., Özer, E. B., . . . Yuca, H. (2026). Comprehensive characterization of 26 Turkish asteraceae species: Insights from FTIR, phytochemical composition, and elemental analysis via ICP-MS. *South African Journal of Botany*, 189, 387-402. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2025.12.010>
- Colak, N., Torun, H., Gruz, J., Strnad, M., Hermosín-Gutiérrez, I., Hayirlioglu-Ayaz, S., & Ayaz, F. A. (2016). Bog bilberry phenolics, antioxidant capacity and nutrient profile. *Food chemistry*, 201, 339-349. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.062>
- Dai, J., Mumper, R. J. (2010). Plant phenolics: extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules*, 15(10), 7313-7352. <https://doi.org/10.3390/molecules15107313>
- David, I., Stefanut, M., Cata, A., Ienascu, I., Pop, R., Tanasie, C., & Balcu, I. (2009). Study of anthocyanins from *Vaccinium myrtillus* L. frozen fruits. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 15(3), 348-352.
- Drózdź, P., Šežienė, V., & Pyrzyńska, K. (2017). Phytochemical properties and antioxidant activities of extracts from wild blueberries and lingonberries. *Plant Foods for Human Nutrition*, 72(4), 360-364. <https://doi.org/10.1007/s11130-017-0640-3>

- Erlund, I., Koli, R., Alfthan, G., Marniemi, J., Puukka, P., Mustonen, P., . . . Jula, A. (2008). Favorable effects of berry consumption on platelet function, blood pressure, and HDL cholesterol. *The American journal of clinical nutrition*, 87(2), 323-331. <https://doi.org/10.1093/ajcn/87.2.323>
- Fuente, E., Menéndez, J., Díez, M., Suárez, D., & Montes-Morán, M. (2003). Infrared spectroscopy of carbon materials: a quantum chemical study of model compounds. *The Journal of physical chemistry B*, 107(26), 6350-6359. <https://doi.org/10.1021/jp027482g>
- Granfeldt, Y. E., & Björck, I. M. (2011). A bilberry drink with fermented oatmeal decreases postprandial insulin demand in young healthy adults. *Nutrition Journal*, 10(1), 57. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-10-57>
- Irawan, C., Dwi Putri, I., & Sukiman, M. (2022). Antioxidant activity of DPPH, CUPRAC, and FRAP methods, as well as activity of alpha-glucosidase inhibiting enzymes from *Tinospora crispa* (L.) stem ultrasonic extract.
- Karcheva-Bahchevanska, D., Nikolova, M., & Iliev, I. (2023). Inhibitory Potential of Different Bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) Extracts on Human Salivary α -Amylase. *Molecules*, 28(15), 5820. <https://doi.org/10.3390/molecules28155820>
- Kolehmainen, M., Mykkänen, O., Kirjavainen, P. V., Leppänen, T., Moilanen, E., Adriaens, M., . . . Pulkkinen, L. (2012). Bilberries reduce low-grade inflammation in individuals with features of metabolic syndrome. *Molecular nutrition & food research*, 56(10), 1501-1510. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201200195>
- Kubilienė, A., Marksa, M., Baranauskaitė, J., Ragažinskienė, O., & Ivanauskas, L. (2020). Comparative evaluation of antioxidant activity of *Cannabis sativa* L. using FRAP and CUPRAC assays. *Chemija*, 31(3). <https://doi.org/10.6001/chemija.v31i3.4289>
- Luczaj, L., Pieroni, A., Tardío, J., Pardo-de-Santayana, M., Sõukand, R., Svanberg, I., & Kalle, R. (2012). Wild food plant use in 21st century Europe: the disappearance of old traditions and the search for new cuisines involving wild edibles. *Acta societatis botanicorum poloniae*, 81(4), 359-370. <https://dx.doi.org/10.5586/asbp.2012.031>
- Luo, H., Lv, X.-D., Wang, G.-E., Li, Y.-F., Kurihara, H., & He, R.-R. (2014). Anti-inflammatory effects of anthocyanins-rich extract from bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) on croton oil-induced ear edema and *Propionibacterium acnes* plus LPS-induced liver damage in mice. *International journal of food sciences and nutrition*, 65(5), 594-601. <https://doi.org/10.3109/09637486.2014.886184>
- Luteyn, J. L. (2002). Diversity, adaptation, and endemism in neotropical Ericaceae: biogeographical patterns in the Vaccinieae. *The Botanical Review*, 68(1), 55-87. [https://doi.org/10.1663/0006-8101\(2002\)068\[0055:DAAEIN\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0006-8101(2002)068[0055:DAAEIN]2.0.CO;2)
- Mazza, G., & Miniati, E. (2018). *Anthocyanins in fruits, vegetables, and grains*: CRC press. <https://doi.org/10.1201/9781351069700>
- Nguyen, V., Tang, J., Oroudjev, E., Lee, C. J., Marasigan, C., Wilson, L., & Ayoub, G. (2010). Cytotoxic effects of bilberry extract on MCF7-GFP-tubulin breast cancer cells. *Journal of Medicinal food*, 13(2), 278-285. <https://doi.org/10.1089/jmf.2009.0053>
- Novi, S., Caponigro, V., Miranda, M. R., Aquino, G., Carri, M. D., Salviati, E., ... & Manfra, M. (2025). Metabolomics insights into the protective molecular mechanism of *Vaccinium myrtillus* against oxidative stress in intestinal cells. *Scientific Reports*, 15(1), 8643. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-93722-x>
- Pacifici, R. E., & Davies, K. J. (1991). Protein, lipid and DNA repair systems in oxidative stress: the free-radical theory of aging revisited. *Gerontology*, 37(1-3), 166-180. <https://doi.org/10.1159/000213257>
- Patra, J. K., Shin, H. S., & Das, G. (2026). A Review of Major Compounds in Bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) Fruits and Leaves: Isolation, Purification, and Their Antiaging Effects. *Nutrients*, 18(2), 350. <https://doi.org/10.3390/nu18020350>
- Pardo-de-Santayana, M., Tardío, J., Blanco, E., Carvalho, A. M., Lastra, J. J., San Miguel, E., & Morales, R. (2007). Traditional knowledge of wild edible plants used in the northwest of the Iberian Peninsula (Spain and Portugal): a comparative study. *Journal of ethnobiology and ethnomedicine*, 3(1), 27. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-3-27>
- Pieroni, A., Cianfaglione, K., Nedelcheva, A., Hajdari, A., Mustafa, B., & Quave, C. L. (2014). Resilience at the border: traditional botanical knowledge among Macedonians and Albanians living in Gollobordo,

- Eastern Albania. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 10(1), 31. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-10-31>
- Pires, T. C., Caleja, C., Santos-Buelga, C., Barros, L., & Ferreira, I. C. (2020). *Vaccinium myrtillus* L. fruits as a novel source of phenolic compounds with health benefits and industrial applications-a review. *Current pharmaceutical design*, 26(16), 1917-1928. <https://doi.org/10.2174/1381612826666200317132507>
- Pizzino, G., Irrera, N., Cucinotta, M., Pallio, G., Mannino, F., Arcoraci, V., . . . Bitto, A. (2017). Oxidative stress: harms and benefits for human health. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2017(1), 8416763. <https://doi.org/10.1155/2017/8416763>
- Poja, R., Ștefan, I.-D., Oprinescu, C.-I., Hădăruță, D.-I., & Hădăruță, N.-G. (2025). Autochthonous *Vaccinium Myrtillus* L.–Antioxidant Activity, Kinetics And Cyclodextrin Nanoencapsulation Of The Hydrophilic Extracts. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 6(1), 3-10. <https://doi.org/10.5593/sgem2025/6.1/s23.01>
- Routray, W., & Orsat, V. (2011). Blueberries and their anthocyanins: factors affecting biosynthesis and properties. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 10(6), 303-320. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2011.00164.x>
- Saral, Ö., Ölmez, Z., & Şahin, H. (2015). Comparison of antioxidant properties of wild blueberries (*Vaccinium arctostaphylos* L. and *Vaccinium myrtillus* L.) with cultivated blueberry varieties (*Vaccinium corymbosum* L.) in Artvin region of Turkey. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 3(1), 40-44.
- Schink, A., Neumann, J., Leifke, A. L., Ziegler, K., Fröhlich-Nowoisky, J., Cremer, C., . . . Schuppan, D. (2018). Screening of herbal extracts for TLR2-and TLR4-dependent anti-inflammatory effects. *PloS one*, 13(10), e0203907. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203907>
- Sethi, S., Joshi, A., Arora, B., Bhowmik, A., Sharma, R., & Kumar, P. (2020). Significance of FRAP, DPPH, and CUPRAC assays for antioxidant activity determination in apple fruit extracts. *European Food Research and Technology*, 246(3), 591-598. <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03432-z>
- Sezer, E. D., Oktay, L. M., Karadaş, E., Memmedov, H., Selvi Gunel, N., & Sözmen, E. (2019). Assessing anticancer potential of blueberry flavonoids, quercetin, kaempferol, and gentisic acid, through oxidative stress and apoptosis parameters on HCT-116 cells. *Journal of medicinal food*, 22(11), 1118-1126. <https://doi.org/10.1089/jmf.2019.0098>
- Sies, H. (2015). Oxidative stress: a concept in redox biology and medicine. *Redox biology*, 4, 180-183. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2015.01.002>
- Sinelli, N., Spinardi, A., Di Egidio, V., Mignani, I., & Casiraghi, E. (2008). Evaluation of quality and nutraceutical content of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) by near and mid-infrared spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, 50(1), 31-36. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.03.013>
- Thibado, S. P., Thornthwaite, J. T., Ballard, T. K., & Goodman, B. T. (2018). Anticancer effects of Bilberry anthocyanins compared with NutraNanoSphere encapsulated Bilberry anthocyanins. *Molecular and clinical oncology*, 8(2), 330-335. <https://doi.org/10.3892/mco.2017.1520>
- Yuca, H., Ayar, B., Aydın, B., Çoban, F., & Karakaya, S. (2025). In vitro evaluation of antidiabetic, antioxidant, and anticholinergic properties of different parts of Bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) from the Eastern black sea Region, with LC/MS–MS analysis of their chemical composition in food applications. *Food Science & Nutrition*, 13(5), e70249. <https://doi.org/10.1002/fsn3.70249>
- Žiberna, L., Lunder, M., Može, Š., Vanzo, A., & Drevenšek, G. (2009). Cardioprotective effects of bilberry extract on ischemia-reperfusion-induced injury in isolated rat heart. *BMC Pharmacology*, 9(Suppl 2), A55. <https://doi.org/10.1186/1471-2210-9-S2-A55>