

ELMA KABUĞUYLA BESLENEN *TENEBRIO MOLITOR* LARVALARININ FİZİKOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ VE LARVAL FERMANTASYONUN ELMA KABUĞUNUN FENOLİK PROFİLİNE ETKİSİ

Sedanur DEMİRBAŞ YILDIZ, Zehra GÜLSÜNOĞLU KONUŞKAN*

İstanbul Aydın Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye

Geliş/Received: 22.07.2024; Kabul /Accepted: 24.09.2024; Online baskı /Published online: 04.10.2024

Demirbaş Yıldız, S., Gülsünoğlu Konuşkan. Z. (2024). Elma kabuğuyla beslenen *Tenebrio molitor* larvalarının fizikokimyasal özellikleri ve larval fermantasyonun elma kabuğunun fenolik profiline etkisi. GIDA (2024) 49 (5) 981-995 doi: 10.15237/ gida.GD24072

Demirbaş Yıldız, S., Gülsünoğlu Konuşkan. Z. (2024). Physicochemical properties of *Tenebrio molitor* larvae feeding on apple peel and the effect of larval fermentation on the phenolic profile of apple peel. GIDA (2024) 49 (5) 981-995 doi: 10.15237/ gida.GD24072

ÖZ

Bu çalışma, *Tenebrio molitor* larvalarının elma kabuklarını değerlendirme potansiyeli ve larval fermantasyonun elma kabuğunda bulunan fenolik maddeler, larvaların gelişme potansiyelleri ve fizikokimyasal özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmayı amaçlamıştır. Mısır unu ve elma kabuğu farklı oranlarda (1:1, 1:2, 1:4) karıştırılmış ve fermantasyon 12 gün boyunca gerçekleştirilmiştir. 1:1 oranındaki besiyerinde (EMB) önemli değişiklikler gözlenmiş ve larva ağırlığı, kontrol (%58.6) ile karşılaştırıldığında %62.2 oranında artış göstermiştir. 12. gün sonunda larvaların kül, protein ve karbohidrat içeriklerinde artış, ancak yağ içeriğinde azalma görülmüştür. EMB besiyerinin fenolik içeriği ve antioksidan aktiviteleri başlangıç değerlerine kıyasla önemli ölçüde artarak 8. günde maksimum seviyesine ulaşmıştır. EMB besiyerinde dört farklı kuersetin türevi tespit edilmiştir: Kuersetin-3-rutinozit, kuersetin-3-O-glukozit, kuersetin-3-O-galaktozit ve kuersitrin. 8 gün sonra, kuersitrin ve kuersetin-3-O-glukozit miktarları başlangıç değerlerine kıyasla önemli ölçüde artmıştır. Bu bulgular, *T. molitor* larvalarının gıda atıklarını fenolik salınım veya dönüşüm yoluyla değerli fonksiyonel gıda bileşenlerine dönüştürebileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: *Tenebrio molitor*, elma kabuğu, fenolik madde, larval fermantasyon

PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF *TENEBRIO MOLITOR* LARVAE FEEDING ON APPLE PEEL AND THE EFFECT OF LARVAL FERMENTATION ON THE PHENOLIC PROFILE OF APPLE PEEL

ABSTRACT

This study explores the potential of *Tenebrio molitor* larvae to valorize apple peels and assesses larval fermentation's impact on phenolics, growth potential and physicochemical properties of the larvae. Corn flour and apple peel were mixed in different ratios (1:1, 1:2, 1:4), and fermentation was conducted for 12 days. Significant changes occurred in the 1:1 ratio (EMB); larval weight increased by 62.2% compared to 58.6% in the control. After 12 days, the larvae showed increased ash, protein

* Sorumlu yazar/ Corresponding author

✉ zehragulsunoglu@aydin.edu.tr

☎ (+90) 505 823 0395

Zehra Gülsünoğlu Konuşkan; ORCID no: 0000-0001-6497-1912

and carbohydrate contents, but reduced fat content. The phenolic content and antioxidant activities of the EMB medium significantly increased compared to the initial values, reaching their maximum level on day 8. Four quercetin derivatives were detected: quercetin-3-rutinoside, quercetin-3-O-glucoside, quercetin-3-O-galactoside and quercitrin. After 8 days, the amounts of quercitrin and quercetin-3-O-glucoside increased significantly. These findings suggest that *T. molitor* larvae can convert food waste into valuable functional food ingredients through phenolic release or conversion.
Keywords: *Tenebrio molitor*, apple peel, phenolic compounds, larval rearing

GİRİŞ

Entomofaji olarak adlandırılan böceklerin insanlar tarafından tüketilmesi Asya, Afrika, Latin Amerika gibi birçok bölgede görülmektedir. Son yıllarda, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından bazı böceklerin geleneksel hayvancılığa sürdürülebilir bir alternatif olarak güvenle tüketilebileceğinin bildirilmesi ile yenilebilir böceklerin insan gıdası olarak kullanılması konusu araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Böceklerin yüksek kaliteli proteinler, çoklu doymamış yağ asitleri, lifler ve bazı mikro besinler açısından zengin olmasının yanı sıra yemden yararlanma oranlarının yüksek olması, ekolojik ayak izinin düşük olması ve hayvancılık üretimine kıyasla toprağa daha az bağımlı olmaları sebebiyle önemli bir kaynak konumundadırlar (Li vd., 2013; Lawal vd., 2021). Tüm dünyada 1500'den fazla yenilebilir böcek türü, yüksek protein içerikleri sebebiyle, bütün halde veya böcek unu şeklinde gıda ürünlerine dahil edilerek tüketilmektedir (Navarro del Hierro vd., 2020).

Un kurdu olarak da bilinen *Tenebrio molitor*, yüksek protein içeriği, dengeli aminoasit profili, verimli yem dönüşüm oranı, düşük sera gazı emisyonu, düşük su tüketimi ve az arazi kullanımı nedeniyle böcek yetiştiriciliği için uygun bir adaydır (Liu vd., 2020). *T. molitor* larvaları buğday kepeği üzerinde yetişebilir; ancak, hayatta kalma oranları, gelişme süreleri, larva ağırlığı ve kimyasal kompozisyonu uygulanan diyet şekline etkilenir. Muz kabukları, karpuz kabukları, yumurta kabukları, küspeler (örneğin, keten tohumu, chia tohumu, kenevir tohumu ve kolza tohumu), zeytin posası, havuç posası, patates kabukları, bira mayası, ekme ve kurabiye kıntıları gibi çeşitli organik atıklar larvaların besin bileşimini değiştirmek, larva ağırlığını ve hayatta kalma oranını arttırmak, gelişme süresini azaltmak ve üretim maliyetlerini

düşürerek böcekleri daha ekonomik hale getirmek için araştırmacılar tarafından incelenmiştir (Oonincx vd., 2015; Tang vd., 2018; Ruschioni vd., 2020; Lawal vd., 2021; Rovai vd., 2021). Ayrıca, literatürde, *T. molitor* larvalarının antioksidan özelliklerini, fenolik profilini ve uygulanan diyet bileşenlerinde mevcut fenoliklerin *T. molitor* larvaları tarafından ne kadarının depolandığını inceleyen çalışmalar bulunmaktadır (Liu vd., 2020; Navarro del Hierro vd., 2020; Antonopoulou vd., 2022; Gulsunoglu-Konuskan ve Dag, 2024). Ancak, bu çalışmalar dışında, *T. molitor* larvalarının fenolik bileşenlerin biyodönüşümüne olan etkilerinin incelenmesi konusunda literatürde yeterli çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma ile elma kabuklarının *T. molitor* larvaları tarafından besin olarak kullanılması ile larval sindirim enzimlerinin ve larva mikrobiyotasının etkisi ile elma kabuklarının fenolik profilinde meydana gelebilecek değişimler incelenerek literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Elma tüm dünyada yaygın olarak tüketilen meyve türlerinden biridir. FAO 2022 yılı verilerine göre, tüm dünyada yıllık elma üretimi yaklaşık 143.5 milyon ton olup, en iyi beş üretici ülke ise sırasıyla Çin, Türkiye, Amerika, Polonya ve Hindistan'dır (FAOSTAT, 2024). Elma endüstriyel olarak çoğunlukla reçel, meyve suyu ve jöle üretimi için kullanılır. Elmanın kabuğu ve posası da dahil olmak üzere meydana çıkan atıklar, orijinal meyvenin yaklaşık %30'unu oluşturur ve bu atıkların ciddi çevre kirliliğine neden olması, yüksek oranda biyolojik olarak parçalanabilir olması sebebiyle bertaraf edilmesi gereklidir. Bu atıkların hayvan yemi olarak kullanılması veya direk olarak çevreye atılması yerine, yüksek katma değerli ürünlere dönüştürülmesi hem ekonomik hem de ekolojik olarak fayda sağlayacaktır. Elma

atıklarının enzim, protein, organik asitler, etanol, aroma bileşikleri, doğal antioksidanlar ve pektin gibi yüksek değerli bileşiklerin üretiminde kullanılabilmesi yapılan çalışmalarda gösterilmiştir (Gullón vd., 2008; Dhillon vd., 2012; Madrera vd., 2015; Hernández-Carranza vd., 2016). Ayrıca, elma posası ve kabuğu fenolik bileşik kaynağı olarak da kullanılabilir. Elma, et kısmında başlıca 5-O-kafeoilkuinik asit, prosiyanidin B2 ve (-)-epikateşin olmak üzere birçok biyoaktif fenolik bileşik içerirken, kabuğunda ise (-)-epikateşin ve kuersetin glikozitleri baskındır (Marks vd., 2007).

Bu çalışmada, *T. molitor* larvalarının elma kabuğu ile zenginleştirilmiş besiyerinde beslenmesi ile larval ağırlık, canlılık oranı ve kimyasal kompozisyonunda meydana gelen değişim incelenmiştir; ayrıca, *T. molitor* larvaları ile fermente edilen elma kabuğunun fenolik bileşenlerinde meydana gelen değişimin araştırılması hedeflenmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

T. molitor larvaları (3. evre) Mira Canlı Hayvan ve Böcek Turizm İnşaat Tarım Sanayi Co. (Antalya, Türkiye)'den satın alınmıştır. Elma (Starking çeşidi) ve mısır unu İstanbul'da bulunan yerel bir marketten temin edilmiştir. Kimyasal analizlerde kullanılan kimyasallar analitik saflıkta, HPLC ve UPLC-ESI-QqQ-MS/MS analizleri için kullanılan kimyasallar ise ultra saf olup Merck İlaç Ecza ve Kimya Tic. A.Ş.'den temin edilmiştir.

Atıkların Hazırlanması

Elmalar öncelikle yıkanmış, daha sonra meyve soyacağı kullanılarak soyulmuştur. Soyulan elma kabukları -20 °C'de dondurulmuş ve liyofilizatör kullanılarak kurutulmuştur. Liyofilizatörde (Teknosem, İstanbul, Türkiye) kurutma, 24 saat süre ile 0.001 mBar basınç altında -55°C'de gerçekleştirilmiştir. Kurutulan elma kabukları, daha sonra paslanmaz çelik öğütücü (IKA, Wilmington, North Carolina, ABD) kullanılarak toz haline getirilmiş ve larval fermantasyonda kullanılmak üzere -20 °C'de depolanmıştır.

Besiyerlerinin Hazırlanması

Bu çalışmada referans ve 3 deneme grubu olmak üzere toplam 4 farklı besiyeri modeli oluşturulmuştur. Her bir model için toplam 25 g mısır unu ve elma kabuğu karışımı farklı oranlarda (1:1, 1:2 ve 1:4) karıştırılarak kavanozlara aktarılmış ve kavanozlar hava akımına izin verecek delikli kapaklarla kapatılmıştır. Besiyerinin nem içeriği yaklaşık %40 olacak şekilde ayarlanmış ve yüzey kurummasının engellenmesi için inkübatöre içi su dolu bir beher yerleştirilmiştir. Referans örneği olarak ise 25 g mısır unu kullanılmıştır.

Larval Fermantasyon

Hazırlanan kavanozların her birine 50 adet *T. molitor* larvası ilave edilmiş ve 30 °C'de inkübasyona bırakılmıştır. Her farklı besiyeri için toplamda 12 kavanoz hazırlanmıştır. Larval fermantasyonun 0., 4., 8. ve 12. gününde kavanozlar inkübasyondan alınmış ve larvalar toplanarak olası kalıntılardan arındırmak için yıkanmış ve kâğıt havlu ile kurutulmuştur. İlk olarak, larvaların canlılık sayısı, ağırlık kazanımı ve hacim değerleri belirlenmiş, daha sonra hem larvalar hem de larval fermantasyon sonrası besiyerleri ilerleyen analizlerde kullanılmak üzere -20 °C'de depolanmıştır.

Larvaların Ağırlık Kazanımı, Canlılık Sayısı ve Hacim Değerleri

Larval fermantasyon sonrası kavanozlar inkübasyondan alınmış ve her kavanozdaki larva canlılık sayısı belirlenmiş ve ağırlık kazanımları hassas terazi kullanılarak ölçülmüştür. Başlangıç larva sayısı ve ağırlığına göre, canlılık sayısı (Formül 1) ve ağırlık kazanımı (Formül 2) aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned} \text{Canlılık sayısı (\%)} &= \frac{\text{İnkübasyon sonrası canlı larva sayısı}}{\text{Başlangıç larva sayısı}} \times 100 & 1 \\ \text{Ağırlık kazanımı (mg)} &= \frac{M_1 - M_0}{\text{Canlı larva sayısı}} & 2 \end{aligned}$$

Formül 2'de kullanılan M_1 : inkübasyon sonrası toplam larva ağırlığı, M_0 : inkübasyon öncesi toplam larva ağırlığı ifade etmektedir.

Larva hacimleri, uzunluk (mm), genişlik (mm) ve kalınlığın (mm) çarpılması ile hesaplanmıştır. Larvaların başlangıçta sahip olduğu hacmin ve inkübasyon sonrası kazandığı hacmin hesaplanmasında 10'ar adet larva kullanılmış ve dijital kumpas yardımıyla ölçümler alınmıştır. Hacim sonuçları mm³ cinsinden verilmiştir.

Larvaların Kimyasal Kompozisyon Analizleri

Ağırlık kazanımı belirlendikten sonra larvaların kimyasal kompozisyonunu belirlemek amacıyla nem, kül, toplam protein, toplam yağ ve toplam karbohidrat analizleri yapılmıştır. Larvaların nem ve kül analizi AOAC (2000) metoduna göre gravimetrik olarak belirlenmiştir. Toplam protein miktarını belirlemek amacıyla Kjeldahl yöntemi kullanılmıştır (AOAC, 2000). Protein dönüşüm faktörü, larvaların içerdiği protein olmayan nitrojen içeriği dikkate alındığında 4.76 olarak belirlenmiştir (Janssen vd., 2017). Larvaların yağ içeriği AOAC (2000)'de belirtilen Soxhlet yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Çözgen olarak petrol eteri kullanılmış ve ekstraksiyon sonrası döner buharlaştırıcı ile çözgen uzaklaştırılarak toplam yağ miktarı hesaplanmıştır. Toplam karbohidrat miktarı ise; larva toplam kuru ağırlığından protein, yağ ve kül miktarı çıkarılarak hesaplanmıştır (Gulsunoglu vd., 2019). Sonuçlar kuru madde (km) bazında % cinsinden ifade edilmiştir.

Fenolik Madde Ekstraksiyonu

Larval fermentasyon sonrası besiyerinin antioksidan aktivitesini, fenolik madde miktarını ve profilini belirlemek amacıyla çözgen ekstraksiyonu yöntemi kullanılmıştır (Andreadis vd., 2022). Larval fermentasyon sonrası besiyerinden 1 g örnek tartılarak santrifüj tüplerine konulmuş ve üzerine 2.5 mL %80'lik metanol (%0.1 formik asit ilaveli) ilave edilerek 30 dakika ultrasonik banyoda tutulmuştur. Daha sonra santrifüj tüpleri 10 dakika 4000 rpm'de santrifüj edilmiş ve üstte kalan sıvı kısım yeni bir santrifüj tüpüne aktarılmıştır. Kalan katı kısma tekrar 2.5 mL %80'lik metanol (%0.1 formik asit ilaveli) eklenip aynı işlemler tekrarlanmış ve santrifüj sonrası elde edilen sıvı kısımlar aynı santrifüj tüpünde toplanarak antioksidan aktivite

ve fenolik madde analizleri için -20 °C'de muhafaza edilmiştir.

Toplam Fenolik (TPC) ve Toplam Flavonoit Madde (TFC) Tayini

TPC'nin belirlenmesi için Folin-Ciocalteu yöntemi kullanılmış (Singleton vd., 1999) ve sonuçlar, mg gallik asit eşdeğeri (GAE)/100 g km cinsinden verilmiştir. TFC miktarı ise kolorimetrik yöntemle tespit edilmiştir (Dewanto vd., 2002). Standart olarak kateşin kullanılmış ve sonuçlar mg kateşin eşdeğeri (CE)/100 g km olarak ifade edilmiştir.

Antioksidan Aktivitenin Belirlenmesi

Antioksidan aktivitenin belirlenmesi için DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) ve CUPRAC (bakır indirgeyici antioksidan kapasitesi) analizleri yapılmıştır. DPPH analizi, Rai vd. (2006) yöntemine göre yapılmıştır. CUPRAC analizi ise Apak vd. (2004) belirlediği yöntem kullanılarak yapılmıştır. Her iki antioksidan aktivite için sonuçlar mg trolox eşdeğeri (TE)/100 g km cinsinden ifade edilmiştir.

HPLC ve UPLC-ESI-QqQ-MS/MS ile Fenolik Madde Profilinin Tespiti

Larval fermentasyon sonrası besiyerinin içerdiği fenolik bileşenlerin kantitatif ve kalitatif analizleri HPLC ve UPLC-ESI-QqQ-MS/MS cihazları kullanılarak yapılmıştır. HPLC ile fenolik bileşenlerin kantitatif analizinde Capanoglu vd. (2008) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle göre; ekstraktlar, 0.45 µm'lik filtrelerden geçirildikten sonra HPLC sistemine verilmiştir. HPLC sistemi Waters 600 kontrol birimi, Waters 996 photodiodearray (PDA) dedektör ve 40 °C'deki kolondan oluşmaktadır. Kullanılan kolon, C18 kolondur (25 cm x 4.60 mm, 5µm). Çözgen sistemi olarak A (%0.05 trifloroasetik asit ile asitlendirilmiş su) ve B (%0.05 trifloroasetik asit içeren asetonitril) kullanılmıştır. Akış hızı dakikada 1 mL şeklinde ayarlanmış ve ekstrakttaki bileşenlerin ayrılması, %5'den %30'a kadar çıkan lineer asetonitril gradiyenti kullanılarak 60 dakikalık analiz süresince gerçekleştirilmiştir. Örneklerde tespit edilen kuersetin türevleri 360

nm dalga boyunda tanımlanmıştır. Elde edilen piklerden alan-konsantrasyon çevrimi standartlar ile hazırlanan kalibrasyon eğrileri kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlar µg/g km cinsinden verilmiştir.

Larval fermantasyon sonrası besiyerinde fenolik bileşenlerin kalitatif analizi UPLC-ESI-QqQ-MS/MS cihazı kullanılarak Catalkaya vd. (2022) belirlediği yöntemle yapılmıştır. Bu yöntemin detayları ise; ekstraktlar 0.22 µm'lik filtrelerden geçirildikten sonra 5 µL ekstrakt, 45 °C sıcaklığa ayarlanmış ve Acquity HSS T3 C18 kolonuna (2.1 mm x 100 mm x 1.8 µm) enjekte edilmiştir. Mobil faz, A (ultra saf su:formik asit, 100:0.1) ve B (asetonitril:formik asit, 100:0.1) karışımından oluşmaktadır. Ekstrakttaki bileşenlerin ayrılması doğrusal gradyan program (0 dakika: %95 A; 0–6.48 dakika: %65A; 6.48–6.77 dakika: %25A; 6.77–7.06 dakika: %65 A; 7.06–7.20 dakika: %95 A; 7.20–8.50 dakika: %95 A) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hem pozitif hem de negatif iyonizasyon modları şu parametreler kullanılarak yapılmıştır: Desolvasyon sıcaklığı: 600 °C; iyon kaynağı sıcaklığı: 150 °C; kapiler voltaj: 3.5 kV; desolvasyon gazı akış hızı: 1000 L/saat; koni gazı akış hızı: 50 L/saat. Veri toplama ve analiz, Waters MassLynx 4.1 yazılımı (Waters.Co) kullanılarak yapılmıştır. Larval fermantasyon sonrası besiyerindeki fenolik bileşenler, elde edilen kütle verileri ile mevcut standartların kütle verilerinin karşılaştırılması yoluyla tanımlanmıştır.

İstatistiksel Analiz

Tüm denemeler üç tekrarlı olarak yapılmıştır. İstatistiksel analizler için Minitab 18 (Minitab Inc. Coventry, İngiltere) programı kullanılmış, örnekler arasındaki farklılıklar One-way Anova kullanılarak Tukey farklılık testine göre 0.05 önem düzeyinde belirlenmiştir. Değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya koyan Pearson korelasyon katsayısı Microsoft Excel kullanılarak hesaplanmıştır.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Larvaların Büyüme Performanslarının Belirlenmesi

Bu çalışma, mısır unu ile beslenen bir referans grubu ve 1:1, 1:2, 1:4 oranlarında mısır unu:elma

kabuğu ile beslenen üç farklı çalışma grubundan oluşmaktadır. Referans ve çalışma grupları, fermantasyonun 0., 4., 8. ve 12. günlerinde inkübasyondan alınarak ağırlık kazanımları, canlılık sayısı ve hacim ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda 1:2 ve 1:4 oranında hazırlanan çalışma gruplarına ait larvaların ağırlıklarında başlangıç ağırlıklarına kıyasla istatistiksel olarak anlamlı bir azalış tespit edilmiştir. Buna karşın, 1:1 mısır unu:elma kabuğu ile beslenen larvaların ağırlıklarında başlangıç ağırlığına göre anlamlı bir artış tespit edilmiştir. Yüksek miktarda elma kabuğu içeren besiyerinde beslenen larvaların ağırlıklarında meydana gelen azalma, elma kabuklarının içerdiği tanen miktarı ile ilişkilendirilebilir. Farklı elma çeşitleri ile yapılmış bir çalışmada elma kabuklarının kondanse tanen içeriğinin 14.2–42.9 mg/g km aralığında değiştiği rapor edilmiştir (Lees vd., 1995). Tanenler sindirim enzimleri ve proteinler ile birleşerek sindirim süreçlerini etkileme eğiliminde olmalarından dolayı larval gelişimi baskılayarak ağırlık kazanımını olumsuz etkilemiş olabilirler (Antonopoulou vd., 2022). Ağırlık kazanımında meydana gelen azalma dolayısıyla 1:2 ve 1:4 oranları ilerleyen çalışmalara dahil edilmemiş, ve çalışmanın bu kısmından sonrası için sadece mısır unu içeren besiyeri kontrol grubu olarak ve 1:1 mısır unu:elma kabuğu ile hazırlanan besiyeri ise EMB olarak ifade edilmiştir.

Çizelge 1'de, kontrol ve EMB besiyerinde beslenen larvaların 0., 4., 8. ve 12. günlerdeki ağırlık kazanımları, hacim değerleri ve canlılık oranları verilmiştir. Fermantasyon süresinin artışı ile her iki besiyerinde de ağırlık kazanımı istatistiksel olarak anlamlı bir artış göstermiştir ($P < 0.05$). Kontrol besiyerinde beslenen larvalar 12. gün sonunda başlangıca göre %58.65 oranında ağırlık artışı gösterirken, EMB besiyerinde beslenen larvalarda ise %62.21 oranında ağırlık artışı gözlenmiştir. Ancak, istatistiksel olarak incelendiğinde elma kabuğu ilavesinin larvaların ağırlık artışında kontrol grubuna kıyasla anlamlı bir değişime sebep olmadığı görülmüştür ($P > 0.05$). Antonopoulou vd. (2022) %100 keçiyoynuzu ile beslenen *T. molitor* larvalarının

ağırlık kazanımlarının istatistiksel olarak kontrol grubuna kıyasla daha düşük olduğunu, ayrıca %0, %25, %50 ve %75 oranında keçiyoynuzu içeren buğday kepeği besiyerlerinde ise anlamlı bir farklılığın olmadığını rapor etmişlerdir. Kontrol ve EMB besiyerinde beslenen larvaların hacimleri 12. gün sonunda başlangıca göre istatistiksel olarak anlamlı bir artış göstermiştir ($P < 0.05$). Kontrol besiyerinde beslenen larvaların hacimleri %47.48 oranında artarken, EMB besiyerinde beslenen larvaların hacimleri ise %74.10 oranında artmıştır. Elma kabuğu ilave edilen besiyerinde beslenen larvaların kontrol grubuna kıyasla hacimleri istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde daha yüksek bulunmuştur ($P < 0.05$). Literatürdeki

başka bir çalışmada da nar kabuğu ile zenginleştirilmiş besiyerinde beslenen *T. molitor* larvalarının hacim değerlerinde %61.6'lık bir artış görülmüştür. (Gulsunoglu-Konuskan ve Dag, 2024). Başlangıçta her bir besiyerine ilave edilen 50 adet larvanın, 12 gün farklı besiyerlerinde beslenmeleri sonrası canlılık oranı kontrol besiyerinde beslenen larvalarda %96.7 iken, EMB besiyerinde beslenen larvalarda %99.3 olarak bulunmuştur. Bu durumda elma kabuğu ile zenginleştirilmiş besiyerinde larvaların canlı kalma oranlarının daha yüksek olduğu görülmektedir, ancak istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık görülmediği sonucuna ulaşılmıştır ($P > 0.05$).

Çizelge 1. Kontrol ve EMB besiyerinde beslenen *T. molitor* larvalarının büyüme performansları

Table 1. Growth performance of *T. molitor* larvae fed on control and EMB diet

Süre Days	Ağırlık kazanımı (mg) <i>Larval weight (mg)</i>		Hacim (mm ³) <i>Volume (mm³)</i>		Canlılık oranı (%) <i>Survival rate (%)</i>	
	Kontrol* <i>Control</i>	EMB <i>EMB</i>	Kontrol* <i>Control</i>	EMB <i>EMB</i>	Kontrol* <i>Control</i>	EMB <i>EMB</i>
0. gün <i>Day 0</i>	5.6±0.3 ^{B,a}	5.6±0.3 ^{B,a}	27.7±9.8 ^{B,a}	27.7±9.8 ^{C,a}	100.0±0.0 ^{A,a}	100.0±0.0 ^{A,a}
4. gün <i>Day 4</i>	6.4±1.0 ^{B,a}	6.5±1.0 ^{B,a}	30.6±11.6 ^{B,b}	40.5±12.8 ^{B,a}	98.0±2.0 ^{A,a}	100.0±0.0 ^{A,a}
8. gün <i>Day 8</i>	7.8±0.6 ^{AB,a}	7.0±0.9 ^{AB,a}	32.3±11.2 ^{B,b}	39.3±9.6 ^{B,a}	98.0±3.5 ^{A,a}	98.7±0.6 ^{A,a}
12. gün <i>Day 12</i>	8.9±1.5 ^{A,a}	9.1±1.0 ^{A,a}	38.4±11.8 ^{A,b}	48.3±11.5 ^{A,a}	96.7±3.1 ^{A,a}	99.3±0.6 ^{A,a}

* Veriler daha önceki makalemizde yayınlanmıştır (Gulsunoglu-Konuskan ve Dag, 2024) (karşılaştırma yapabilmek için Çizelge 1'de tekrar verilmiştir). †Ortalama değer±standart sapma. Aynı sütunda farklı büyük harfle (A> B> C) gösterilen ortalamalar fermantasyon süresince görülen anlamlı farklılığı ifade etmektedir ($P < 0.05$). Aynı satırda farklı küçük harfle (a> b> c) gösterilen ortalamalar ise farklı gruplar arasında aynı gün içerisinde görülen anlamlı farklılığı ifade etmektedir ($P < 0.05$).

* Data were published in our previous study (Gulsunoglu-Konuskan ve Dag, 2024) (only stated in Table 1 for the comparison).

† Means±standard deviation. Means marked with different uppercase letters (A> B> C) within the same column indicate significant differences between days ($P < 0.05$). Means marked with different lowercase letters (a> b> c) within the rows indicate significant differences between different diets ($P < 0.05$).

Literatürde yapılan çalışmalar, çeşitli diyet modellerinin uygulanmasının böceklerde ağırlık kazanımını etkilediğini göstermektedir. Yapılan bir çalışmada prina ve buğday ile beslenen *T. molitor* larvalarının büyüme performansında artış sağlandığı görülmüştür (Ruschioni vd., 2020). Tan vd. (2018) yaptığı bir çalışmada ise, *T. molitor* larvalarının canlılık oranı muz kabukları (%97.5)

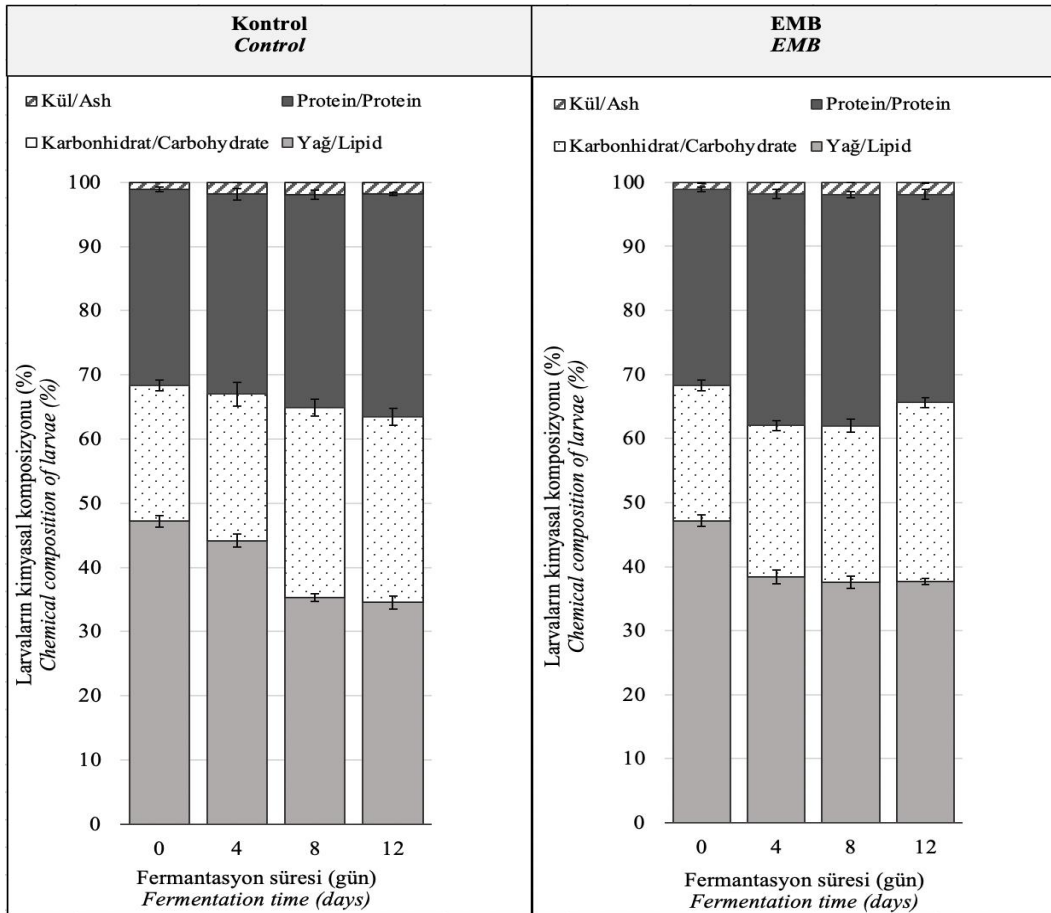
ile beslenen larvalarda en yüksek oranda bulunurken, bunu sırasıyla karpuz kabuğu (%95.0), karpuz kabuğu+muz kabuğu+yumurta kabuğu karışımı (%94.6), beyaz ekmek (kontrol grubu, %90.4) ve yumurta kabuğunun (%86.4) izlediğini rapor etmişlerdir. *T. molitor* larvaları yüksek diyet lif içeriğine sahip besiyerlerinde beslendiklerinde büyüme performansları daha iyi

olmaktadır (Tan vd., 2018). Başka bir çalışmada ise zeytin posası ile zenginleştirilmiş besiyerinde beslenen larvaların büyüme performanslarının, canlılık oranlarının ve ağırlık kazanımlarının arttığı belirtilmiştir (Ruschioni vd., 2020). Oonincx vd. (2015) ise besiyerine eklenen havuçların larvaların gelişme sürelerini ve ölüm oranlarını azalttığını rapor etmişlerdir.

Larvaların Kimyasal Kompozisyonu

Şekil 1’de kontrol ve EMB besiyerinde beslenen larvaların fermantasyon süresince kimyasal kompozisyonunda meydana gelen değişim verilmiştir. Larvaların başlangıçtaki nem miktarı %69.5 iken, EMB besiyerinde beslenen larvalarda 12. gün sonunda nem miktarı %47.4’e düşmüş, kontrol besiyerinde beslenen larvalarda ise

%50.5’e düşmüştür. *T. molitor* larvalarının düşük nem içeriğine sahip organik atıklarda bile gelişim gösterebildiği bilinmektedir (Van Huis, 2013). Larvaların başlangıç kimyasal kompozisyonu kuru madde cinsinden %47.17 yağ, %30.59 protein, %1.09 kül ve %21.15 karbohidrat olarak bulunmuş ve kontrol besiyerinde beslenen larvaların kimyasal kompozisyonu 12. gün sonunda kuru madde cinsinden %34.54 yağ, %34.78 protein, %1.81 kül ve %28.87 karbohidrat olarak değişim göstermiştir (Gulsunoglu-Konuskan ve Dag, 2024). EMB besiyerinde beslenen larvaların kimyasal kompozisyonu ise 12. gün sonunda kuru madde cinsinden %37.67 yağ, %32.51 protein, %1.87 kül ve %27.95 karbohidrat olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Kontrol (sol) ve EMB (sağ) besiyerinde beslenen larvaların kimyasal kompozisyonları.

Figure 1. Chemical composition of larvae fed on control (left) and EMB (right) diets

Kontrol ve EMB besiyerinde beslenen larvaların yağ içeriği başlangıçta 47.17 ± 0.93 iken 12 gün fermantasyon sonunda sırasıyla 34.54 ± 0.61 ve 37.67 ± 0.47 'ye düşmüştür. Larvalardaki yağ miktarı diyetten gelmekte veya onlar tarafından sentezlenmekte olup vücutta depolanır, parçalanır, işlenir ve daha sonra kullanım yerine taşınır. Yüksek enerji ihtiyacı olduğu dönemlerde ise enerji deposu görevi görmektedir (Jantzen da Silva Lucas vd., 2020). Larvalardaki yağ miktarındaki bu azalmanın enerji dönüşümü için kullanıldığı düşünülmektedir. Literatürde, larvaların yağ içeriğinin kullanılan besiyeri bileşiminden etkilendiği rapor edilmiştir. Yapılan bir çalışmada bitki atıkları ile beslenen *T. molitor* larvalarının, kontrol grubuna oranla daha düşük yağ içeriğine sahip olduğu belirtilmiştir (Li vd., 2013). Oonincx vd. (2015) yaptığı bir çalışmada referans besiyeri ile beslenen *T. molitor* larvalarının toplam yağ içeriği farklı oranlarda yağ ve proteinlerle zenginleştirilmiş besiyerinde beslenen larvalara kıyasla daha yüksek bulunmuş ve zenginleştirilmiş besiyerinde beslenen larvaların yağ içeriklerinin geniş bir aralıkta değiştiğini rapor etmişlerdir.

Protein miktarlarındaki değişim incelendiğinde, kontrol besiyerinde beslenen larvaların protein içerikleri 30.59 ± 0.33 'den 12. gün sonunda 34.78 ± 0.24 'e yükselmiştir. EMB besiyerinde beslenen larvaların protein içeriği ise 30.59 ± 0.33 'den 12. gün sonunda 32.51 ± 0.75 'e yükselmiştir. Kontrol besiyerinde beslenen larvaların protein içerikleri 12 gün sonunda, EMB besiyerinde beslenen larvalara kıyasla istatistiksel olarak daha yüksek bulunmuştur ($P < 0.05$). Literatürde bulunan çalışmalarda da *T. molitor* larvalarının protein içeriğinde kullanılan besiyerine göre farklı sonuçlar elde edilmiştir. Rovai vd. (2021) havuç posası ile zenginleştirilmiş buğday kepeği ile beslenen *T. molitor* larvalarının protein içeriğinde azalma gözlemlenmiştir. Başka bir çalışmada ise keçiyoynuzu unu ile beslenen *T. molitor* larvalarının protein içeriğinde artış görülmüştür (Antonopoulou vd., 2022). Kröncke ve Benning (2023)'de bezelye ve pirinç proteini takviyesiyle

beslenen *T. molitor* larvalarında daha yüksek protein verimi rapor ederken, larvaların patates gevreği, tatlı lupin unu ve manyok unu ile beslendiğinde ise daha düşük protein içeriği rapor edilmiştir. Bu durumda, besiyerinin içerdiği protein miktarı ile larvaların vücutlarında depoladığı protein miktarı arasında bir ilişkili olduğu sonucuna ulaşılabilmektedir.

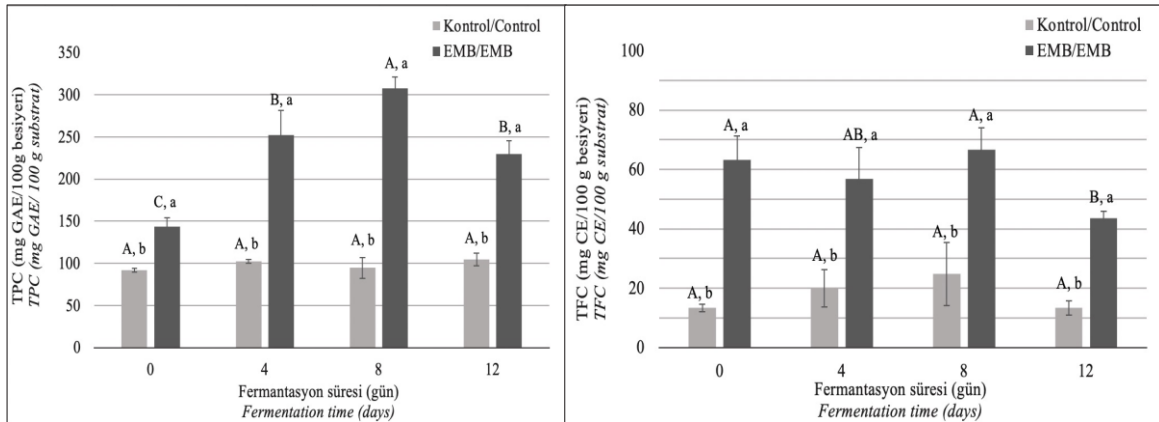
Larvaların kül miktarları 1.09 ± 0.03 'den kontrol ve EMB besiyerinde beslenen larvalar için 12 gün sonunda sırasıyla 1.81 ± 0.09 'a ve 1.87 ± 0.1 'e artış göstermiş ve görülen bu artışlar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P < 0.05$). Ancak, kontrol ve EMB besiyerlerinde beslenen larvalar kıyaslandığında elma kabuğu ilavesinin larvaların kül içeriğinde anlamlı bir farklılığa sebep olmadığı görülmüştür. Harsanyi vd. (2020) yapmış olduğu bir çalışmada, sebze atıkları ve bahçe atıkları ile beslenen *T. molitor* larvalarının kül içeriği kontrol grubuna (tavuk yemi) oranla daha yüksek bulunmuştur. Mancini vd. (2019) *T. molitor* larvalarını ekmek, kurabiye ve her ikisinin 1:1 kombinasyonu ile beslemişler ve larvaların kül miktarlarını sırasıyla 1.88 , 0.70 ve 1.29 bulmuşlardır. Bu durum larvaların gelişimi için kullanılan besiyerinin yüksek kül içeriğine sahip olmaları ile açıklanabilir.

Karbohidrat miktarına bakıldığında, larvaların başlangıç içeriği 21.15 ± 0.82 iken kontrol ve EMB besiyerinde beslenen larvalarda 12. gün sonunda sırasıyla 28.88 ± 1.32 ve 27.95 ± 0.80 'e yükselmiş ve bu artış her iki grup için de istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P < 0.05$). Ancak, kontrol ve EMB besiyerleri kıyaslandığında elma kabuğu ilavesinin larvaların karbohidrat içeriğinde anlamlı bir değişime sebep olmadığı görülmüştür. Larvaların fermantasyon sonuna doğru karbohidrat miktarında görülen artış, büyüme ile birlikte kitin tabakasında meydana gelen artış ile açıklanabilir (Zhang vd., 2019).

Larval Fermantasyon Sonrası Besiyerinin TPC ve TFC Miktarı

Larval fermantasyon sonrası kontrol ve EMB besiyerinin TPC miktarındaki değişim incelenmiş ve sonuçlar Şekil 2'de verilmiştir. Kontrol besiyerinin TPC miktarı başlangıçta 91.97 mg GAE/100 g iken 12. gün sonunda bu değer 104.79 mg GAE/100 g'a yükselmiştir (Gulsunoglu-Konuskan ve Dag, 2024). Ancak, kontrol besiyerinin TPC miktarı larval fermantasyon süresince istatistiksel olarak anlamlı bir değişiklik göstermemiştir ($P > 0.05$). EMB besiyerinin TPC miktarı başlangıçta 143.94 mg GAE/100 g'dan 8. gün sonunda maksimum değerine (307.56 mg GAE/100 g) yükselmiş, 12. günde ise bir miktar düşmüştür ($P < 0.05$). Kontrol besiyerinin EMB besiyerine kıyasla daha yüksek TPC miktarına sahip olması fenolik

maddeler açısından zengin olan elma kabuğu ile zenginleştirilmesinden kaynaklanmaktadır. Literatürde elma kabuğunda bulunan fenolik madde miktarının %88'inin hücre duvarı bileşenlerine (pektin, selüloz, lignin, hemiselüloz) bağlı formda bulunduğu rapor edilmiştir (Gulsunoglu vd., 2019). Bağlı formda bulunan fenolik bileşikler alkali, asit veya fermantasyon uygulamaları ile serbest hale geçebilmektedir. Bu çalışmada da larval fermantasyon sonrası EMB besiyerinde TPC miktarının artması larvaların sahip olduğu ekstraselüler enzim sistemleri ve bağırsak mikrobiyotası sebebiyle elma kabuklarının selülozik yapısının parçalanması ve bağlı fenoliklerin salınması şeklinde açıklanabilir (Willis vd., 2010).



Şekil 2. Larval fermantasyon sonrası kontrol (gri) ve EMB (siyah) besiyerlerinin TPC (sol) ve TFC (sağ) miktarlarındaki değişim. Aynı grupta farklı büyük harflerle (A > B > C) gösterilen ortalamalar fermantasyon süresince görülen anlamlı farklılığı ifade ederken, aynı günde farklı küçük harflerle (a > b > c) gösterilen ortalamalar ise farklı gruplar arasında aynı gün içerisinde görülen anlamlı farklılığı ifade etmektedir ($P < 0.05$).

Figure 2. The difference in TPC (left) and TFC (right) of control (gray) and EMB (black) spent feed after larval fermentation. While the means shown with different uppercase letters (A > B > C) within the same groups indicate the significant difference during larval fermentation, the means shown with different lowercase letters (a > b > c) on the same day indicate the significant difference between different groups on the same day ($P < 0.05$).

Flavonoidler fenolik bileşiklerin bir alt grubudur ve bitkilerde en çok bulunan ikincil metabolit ürünleridir (Mutha vd., 2021). Elma kabuğunda yüksek miktarda flavonoid grubu fenoliklerden kuersetin ve türevleri bulunur (Gulsunoglu vd.,

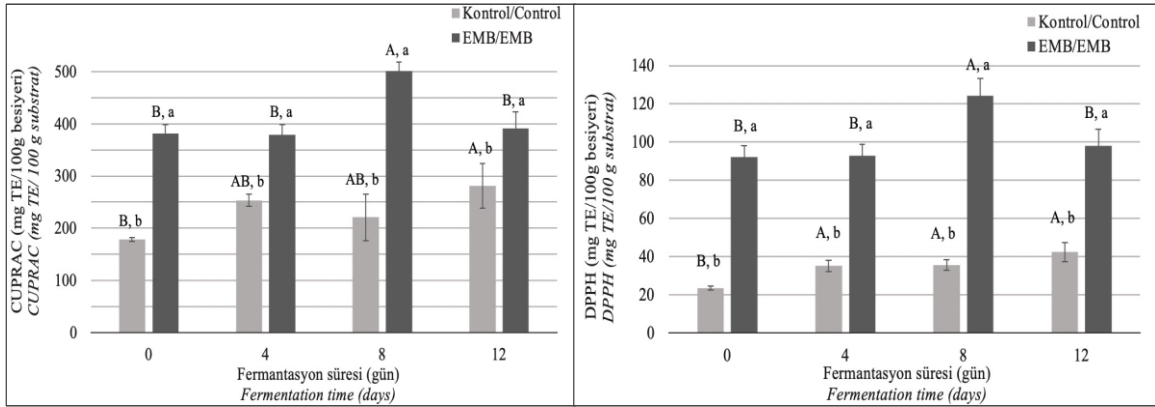
2019). Bu sebeple flavonoid madde miktarının belirlenmesi önemlidir. EMB besiyerinin TFC miktarı başlangıç (63.25 mg CE/100 g) değeri ile 4. ve 8. günde anlamlı bir değişim görülmezken ($P > 0.05$), 12. gün sonunda 43.61 mg CE/100 g'a

düşmüştür ($P < 0.05$). Kontrol besiyerinin başlangıç TFC miktarı 13.35 mg CE/100 g iken larval fermantasyon sonrası TFC miktarı gün bazında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık göstermemiştir ($P > 0.05$) (Gulsunoglu-Konuskan ve Dag, 2024).

Larval Fermantasyon Sonrası Besiyerinin Antioksidan Aktivite Analizi

Kontrol ve EMB besiyerinin larval fermantasyon sonrası antioksidan aktivite sonuçları Şekil 3'de verilmiştir. Larval fermantasyon sonucu kontrol besiyerinin DPPH radikal süpürme aktivitesi başlangıçta 23.37 mg TE/100 g iken 12. gün sonunda 42.26 mg TE/100 g'a istatistiksel olarak anlamlı bir artış göstermiştir ($P < 0.05$). EMB besiyerinin başlangıç DPPH aktivitesi 92.19 mg TE/100 g iken 8. gün sonunda 124.16 mg TE/100 g'a istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde artarak maksimum seviyesine ulaşmıştır ($P < 0.05$). CUPRAC antioksidan aktivite sonuçlarına göre, kontrol besiyerinin başlangıç CUPRAC antioksidan aktivitesi 178.14 mg TE/100 g iken 12. gün sonunda anlamlı bir şekilde artarak

maksimum seviyesine (281.50 mg TE/100 g) ulaşmıştır. Larval fermantasyon sonrası EMB besiyerinde maksimum CUPRAC antioksidan aktivitesi 8. günde (501.45 mg TE/100 g) görülürken diğer günler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunamamıştır ($P > 0.05$). Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, DPPH ve CUPRAC antioksidan aktiviteleri arasında pozitif yönlü güçlü bir ilişki bulunmakta iken kontrol besiyerinde ($R^2=0.9424$) elde edilen Pearson korelasyon katsayısı EMB besiyerinde ($R^2=0.9959$) elde edilene kıyasla daha düşük bulunmuştur. EMB besiyerinin her iki antioksidan aktivite değeri en yüksek 8. günde görülmüştür. Görülen bu artışın, besiyerinin TPC miktarındaki artış ile pozitif yönlü anlamlı bir ilişki içinde olduğu yapılan Pearson korelasyon testi ile tespit edilmiştir. Buna göre, larval fermantasyon sonrası EMB besiyerinin TPC değerleri ile CUPRAC ve DPPH antioksidan aktivite sonuçları arasında da Pearson korelasyon katsayıları sırasıyla 0.7322 ve 0.7638 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3. Larval fermantasyon sonrası kontrol (gri) ve EMB (siyah) besiyerlerinin CUPRAC (sol) ve DPPH (sağ) antioksidan aktivite miktarlarındaki değişim. Aynı grupta farklı büyük harflerle (A > B > C) gösterilen ortalamalar fermantasyon süresince görülen anlamlı farklılığı ifade ederken, aynı günde farklı küçük harflerle (a > b > c) gösterilen ortalamalar ise farklı gruplar arasında aynı gün içerisinde görülen anlamlı farklılığı ifade etmektedir ($P < 0.05$).

Figure 3. The difference in CUPRAC (left) and DPPH (right) antioxidant activity of control (gray) and EMB (black) spent feed after larval fermentation. While the means shown with different uppercase letters (A > B > C) within the same groups indicate the significant difference during larval fermentation, the means shown with different lowercase letters (a > b > c) on the same day indicate the significant difference between different groups on the same day ($P < 0.05$).

T. molitor larvalarının meyve-sebze atıkları ile beslenmesi sonrası hem insan gıdası hem de hayvan yemi olarak kullanım potansiyeli bulunmaktadır. Ayrıca, *T. molitor* larvaları besiyeri ortamına etki ederek besiyerinin fenolik bileşenleri gibi biyoaktif madde içeriğini de değiştirebilmektedir. Bu çalışmada da elma kabuklarının larval fermantasyon sonrası fenolik madde ve antioksidan aktivite değerlerinde başlangıca kıyasla istatistiksel olarak anlamlı bir artış gözlenmiştir. Bu durum, hem atıklarla beslenen larvaların gelişimlerinde maliyetin düşürülmesini hem de atıkların larval fermantasyon sonrası biyoaktif madde kaynağı olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Larval Fermantasyon Sonrası EMB Besiyerinin Fenolik Profil Analizi

EMB besiyerinin fenolik profili ve fenolik madde konsantrasyonları UPLC-ESI-QqQ-MS/MS ve HPLC cihazlarında incelenmiş ve toplam 4 adet kuersetin türevi (kuersetin türevi 1, 2, 3 ve 4) tespit edilmiştir. Fenolik maddelerin tanımlamaları UPLC-ESI-QqQ-MS/MS cihazından elde edilen m/z değerleri ve HPLC

cihazından elde edilen UV-VIS spektrumunda standartlardan elde edilen maksimum absorbands değerleri ile karşılaştırılarak yapılmıştır (Çizelge 2). Kuersetin türevi 1 (KT1) 255.7 ve 348.6 nm’de UV-VIS spektrum vermiş ve m/z değerleri kuersetin-3-rutinozit standardı ile eşleşmiştir. Kuersetin türevi 2 (KT2) ve kuersetin türevi 3 (KT3) HPLC’de aynı maksimum absorbandsları (255.7 ve 355.8 nm) verirken farklı alıkonma zamanlarında pikler oluşturmuş ve m/z değerleri ise sırasıyla kuersetin-3-O-glukozit ve kuersetin-3-O-galaktozit standardı ile eşleşmiştir. Kuersetin türevi 4 (KT4) ise UV-VIS spektrumunda 254.5 ve 348.6 nm’de maksimum absorbands göstermiş ve m/z değerleri kuersitrin standardı ile uyumlu bulunmuştur. Kuersetin türevlerinin elma kabuğundaki varlığı yapılan çalışmalarda da gösterilmiştir. Gulsunoglu vd. (2020) yapmış oldukları bir çalışmada elma kabuğunda kuersetin-3-O-galaktozit, kuersetin-3-O-glukozit, kuersetin-3-O-rhamnozit varlığını rapor etmişlerdir. Ayrıca Xia vd. (2024) yaptığı bir çalışmada da elma kabuğu ekstraktlarında kuersitrin tespit etmiştir.

Çizelge 2. Larval fermantasyon sonrası EMB besiyerinde tespit edilen fenolik bileşikler

Table 2. Phenolic compounds identified in EMB spent feed after larval fermentation

	R _t (dk) R _t (min)	λ _{max} (nm) λ _{max} (nm)	Ana ion Mother ion	Fragmentler Fragments	Tanımlanan Fenolikler Identified Phenolics
KT 1	4.33	255.7; 348.6	611.3	303.1	Kuersetin-3-rutinozit* <i>Quercetin-3-O-rutinoside</i>
KT 2	4.64	255.7; 355.8	463.2	300.1	Kuersetin-3-O-glukozit* <i>Quercetin-3-O-glucoside</i>
KT 3	4.68	255.7; 355.8	463.3	300.2	Kuersetin-3-O-galaktozit* <i>Quercetin-3-O-galactoside</i>
KT 4	5.26	254.5; 348.6	447.2	301.1	Kuersitrin* <i>Quercitrin</i>

*Standart kullanılarak tanımlanmıştır.

*Confirmed with standards.

Çizelge 3’de larval fermantasyon sonrası EMB besiyerinin fenolik profilinde meydana gelen değişimin sonuçları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda kuersetin-3-rutinozit diğer kuersetin türevleri içinde en yüksek konsantrasyona sahip olandır. Kuersetin-3-

rutinozit, 4. ve 8. günlerde başlangıca göre bir düşüş gösterirken 12. günde tekrar başlangıç seviyesine yükselmiştir. Kuersetin-3-O-glukozit ise larval fermantasyonun 8. gününde en yüksek seviyesine ulaşırken 12. günde tekrar bir düşüş göstermiştir. Kuersitrin fermantasyonun 4. ve 8.

günlerinde en yüksek seviyesine ulaşırken 12. günde tekrar başlangıç seviyesine geri dönmüştür. Kuersetin-3-O-galaktozid ise fermantasyon süresince istatistiksel olarak anlamlı bir değişim göstermemiştir ($P > 0.05$). Fenolik bileşiklerin larval fermantasyon sonrası konsantrasyonlarında meydana gelen değişim kuersetin türevlerinin biyodönüşüme uğraması ile açıklanabilir. Fenolik bileşiklerin biyodönüşüm yolu ile farklılaşmaları

Faz I ve Faz II reaksiyonları vasıtasıyla gerçekleşir ve bu reaksiyonlarda özellikle enzimler büyük rol oynar (Gulsunoglu-Konuskan vd., 2022). *T. molitor* larvaları ihtiyaç duydukları besini elde etmek için sahip oldukları enzim sistemlerini ve mikrobiyotalarını kullanarak besiyerinin fenolik içeriğinde değişime sebep olmuş olabilir.

Çizelge 3. Larval fermantasyon sonrası EMB besiyerinin fenolik profilindeki değişim

Table 3. The difference in phenolic profile of EMB spent feed after larval fermentation

Fenolik bileşik <i>Phenolic compound</i>	Konsantrasyon ($\mu\text{g/g km}$)* <i>Concentration ($\mu\text{g/g dm}$)</i>			
	0. gün <i>Day 0</i>	4. gün <i>Day 4</i>	8. gün <i>Day 8</i>	12. gün <i>Day 12</i>
Kuersetin-3-rutinozid <i>Quercetin-3-O-rutinoside</i>	81.1 \pm 1.4 ^A	38.7 \pm 10.7 ^B	43.6 \pm 0.6 ^B	70.1 \pm 3.4 ^A
Kuersetin-3-O-glukozit <i>Quercetin-3-O-glucoside</i>	29.7 \pm 0.6 ^B	32.0 \pm 3.0 ^B	40.0 \pm 0.8 ^A	27.2 \pm 1.3 ^B
Kuersetin-3-O-galaktozid <i>Quercetin-3-O-galactoside</i>	38.3 \pm 1.6 ^A	33.8 \pm 9.5 ^A	32.9 \pm 14.1 ^A	35.8 \pm 2.7 ^A
Kuersitrin <i>Quercitrin</i>	46.4 \pm 1.5 ^B	57.8 \pm 3.3 ^A	56.4 \pm 2.3 ^A	47.2 \pm 0.3 ^B

*Ortalama değer \pm standart sapma. Her satırda verilen farklı büyük harfler (A> B> C), günler arasındaki anlamlı farklılığı ifade etmektedir ($P < 0.05$).

*Means \pm standard deviation. Means marked with different uppercase letters (A> B> C) within the same rows indicate significant differences between days ($P < 0.05$).

SONUÇ

Sonuç olarak, elma kabuğu ile zenginleştirilmiş besiyerinde *T. molitor* larvalarının yaşamsal faaliyetleri kontrol grubuyla kıyaslandığında hacim değerleri EMB besiyerinde daha yüksek bulunurken, ağırlık kazanımı ve canlılık oranlarında anlamlı bir değişim gözlenmemiştir. EMB besiyeri ile beslenen larvaların 8. günde kontrol grubuna kıyasla daha yüksek protein ve daha düşük karbohidrat değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Larval fermantasyon sonrası 8. günde EMB besiyerinin antioksidan aktivitesinde ve TPC miktarında anlamlı bir artış görülmüştür. Bu durum larval fermantasyon ile besiyerinin fenolik madde içeriğinin değiştirilebileceği sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca, bu bulgular ile hem larva gelişiminin desteklenmesi hem de fenolik madde miktarının arttırılması

yoluyla gıda atıklarının katma değerinin yükseltilmesi, çeşitli alanlardaki potansiyel uygulamalar için fayda sağlayacaktır. Ancak, hem larvaların hem de larval fermantasyon sonrası besiyerinin gıda ve yem olarak kullanılabilmesi için öncelikle toksikolojik ve mikrobiyolojik değerlendirmelerinin yapılması, insan ve hayvan sağlığı için herhangi bir sorun teşkil etmeyeceğinin kanıtlanması gerekmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar makale ile ilgili herhangi bir kişi veya kurum ile çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

YAZAR KATKISI

Sedanur Demirbaş Yıldız: Analizlerin yapılması, makale taslağının oluşturulması, Zehra Gülsünoğlu-Konuşkan: Analizlerin yapılması,

makale yazımı, sonuçların değerlendirilmesi, süreç yönetimi.

KAYNAKLAR

Andreadis, S. S., Panteli, N., Mastoraki, M., Rizou, E., Stefanou, V., Tzentilasvili, S., Sarrou, E., Chatzifotis, S., Krigas, N., Antonopoulou, E. (2022). Towards functional insect feeds: Agri-food by-products enriched with post-distillation residues of medicinal aromatic plants in *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) breeding. *Antioxidants*, 11(1). doi: 10.3390/antiox11010068

Antonopoulou, E., Panteli, N., Feidantsis, K., Mastoraki, M., Koutsogeorgiou, E. I., Grivaki, E., Papagrigoiriou, T., Christias, S. P., Chatzifotis, S., Lazari, D., Andreadis, S. S., Krigas, N. (2022). Carob (*Ceratonia siliqua*) as functional feed is beneficial in yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) rearing: evidence from growth, antioxidant status and cellular responses. *Antioxidants*, 11(9). doi: 10.3390/antiox11091840

AOAC. (2000). *Official methods of analysis of the association of analytical chemists*. Arlington, Virginia, USA.

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. doi: <https://doi.org/10.1021/jf048741x>

Capanoglu E, Beekwilder J, Boyacioglu D, Hall R, de Vos R. (2008). Changes in antioxidant and metabolite profiles during production of tomato paste. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 964–973.

Catalkaya, G., Guldiken, B., Capanoglu, E. (2022). Encapsulation of anthocyanin-rich extract from black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) pomace by spray drying using different coating materials. *Food & Function*, 13(22), 11579–11591. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2022/fo/d2fo02569h>

Dewanto, V., Wu, X., Adom, K. K., Liu, R. H. (2002). Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(10), 3010–3014. doi: <https://doi.org/10.1021/jf0115589>

Dhillon, G. S., Kaur, S., Brar, S. K., Verma, M. (2012). Potential of apple pomace as a solid substrate for fungal cellulase and hemicellulase bioproduction through solid-state fermentation. *Industrial Crops and Products*. 38, 6–13. doi: 10.1016/j.indcrop.2011.12.036

FAOSTAT. (2024). *Crops and Livestock Products*. Retrieved from <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (Erişim tarihi: 16 Temmuz 2024).

Gullón, B., Yáñez, R., Alonso, J. L., Parajó, J. C. (2008). L-Lactic acid production from apple pomace by sequential hydrolysis and fermentation. *Bioresource Technology*. 99(2), 308-319. doi: 10.1016/j.biortech.2006.12.018

Gulsunoglu, Z., Aravind, S., Bai, Y., Wang, L., Kutcher, H. R., Tanaka, T. (2019). Deoxynivalenol (DON) accumulation and nutrient recovery in black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) fed wheat infected with fusarium spp. *Fermentation*, 5(3). doi: 10.3390/fermentation5030083

Gulsunoglu, Z., Purves, R., Karbancioglu-Guler, F., Kilic-Akyilmaz, M. (2020). Enhancement of phenolic antioxidants in industrial apple waste by fermentation with *Aspergillus* spp. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 25. doi: 10.1016/j.bcab.2020.101562

Gulsunoglu, Zehra, Karbancioglu-Guler, F., Raes, K., Kilic-Akyilmaz, M. (2019). Soluble and insoluble-bound phenolics and antioxidant activity of various industrial plant wastes. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 1501–1510. doi: 10.1080/10942912.2019.1656233

Gulsunoglu-Konuskan, Z., Dag, S. (2024). Physicochemical properties and ellagic acid accumulation in *Tenebrio molitor* larvae fed with pomegranate peel-enriched media. *European Food*

- Research and Technology*, 250(5), 1473–1483. doi: 10.1007/s00217-024-04480-5
- Gulsunoglu-Konuskan, Z., Kilic-Akyilmaz, M. (2022). Microbial bioconversion of phenolic compounds in agro-industrial wastes: a review of mechanisms and effective factors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(23), 6901–6910. doi: 10.1021/acs.jafc.1c06888
- Harsányi, E., Juhász, C., Kovács, E., Huzsvai, L., Pintér, R., Fekete, G., Varga, Z. I., Aleksza, L., Gyuricza, C. (2020). Evaluation of organic wastes as substrates for rearing *Zophobas morio*, *Tenebrio molitor*, and *Acheta domestica* larvae as alternative feed supplements. *Insects*, 11(9), 604. doi: 10.3390/insects11090604
- Hernández-Carranza, P., Ávila-Sosa, R., Guerrero-Beltrán, J. A., Navarro-Cruz, A. R., Corona-Jiménez, E., Ochoa-Velasco, C. E. (2016). Optimization of antioxidant compounds extraction from fruit by-products: apple pomace, orange and banana peel. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(1), 103–115. doi: 10.1111/jfpp.12588
- Janssen, R. H., Vincken, J. P., Van Den Broek, L. A. M., Fogliano, V., Lakemond, C. M. M. (2017). Nitrogen-to-protein conversion factors for three edible insects: *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, and *Hermetia illucens*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(11), 2275–2278. doi: 10.1021/acs.jafc.7b00471
- Jantzen da Silva Lucas, A., Menegon de Oliveira, L., da Rocha, M., Prentice, C. (2020). Edible insects: An alternative of nutritional, functional and bioactive compounds. *Food Chemistry*, 311(December 2019), 126022. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.126022
- Kröncke, N., Benning, R. (2023). Influence of dietary protein content on the nutritional composition of mealworm larvae (*Tenebrio molitor* L.). *Insects*, 14(3), 1–19. doi: 10.3390/insects14030261
- Lawal, K. G., Kavle, R. R., Akanbi, T. O., Miroso, M., Agyei, D. (2021). Enrichment in specific fatty acids profile of *Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens* larvae through feeding. *Future Foods*, 3(October 2020). doi: 10.1016/j.fufo.2021.100016
- Lees, G. L., Suttill, N. H., Wall, K. M., & Beveridge, T. H. (1995). Localization of condensed tannins in apple fruit peel, pulp, and seeds. *Canadian Journal of Botany*, 73(12), 1897–1904. Doi: https://doi.org/10.1139/b95-202
- Li, L., Zhao, Z., Liu, H. (2013). Feasibility of feeding yellow mealworm (*Tenebrio molitor* L.) in bioregenerative life support systems as a source of animal protein for humans. *Acta Astronautica*, 92(1), 103–109. doi: 10.1016/j.actaastro.2012.03.012
- Liu, C., Masri, J., Perez, V., Maya, C., Foods, J. Z. (2020). Growth performance and nutrient composition of mealworms (*Tenebrio molitor*) fed on fresh plant materials-supplemented diets. *Foods*, 9(151), 1–10. doi: 10.3390/foods9020151
- Madrera, R. R., Bedriñana, R. P., Valles, B. S. (2015). Production and characterization of aroma compounds from apple pomace by solid-state fermentation with selected yeasts. *LWT-Food Science and Technology*. doi: 10.1016/j.lwt.2015.07.056
- Mancini, S., Fratini, F., Turchi, B., Mattioli, S., Dal Bosco, A., Tuccinardi, T., Nozic, S., Paci, G. (2019). Former foodstuff products in *Tenebrio molitor* rearing: Effects on growth, chemical composition, microbiological load, and antioxidant status. *Animals*, 9(8), 1–13. doi: 10.3390/ani9080484
- Marks, S. C., Mullen, W., Crozier, A. (2007). Flavonoid and chlorogenic acid profiles of English cider apples. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. doi: 10.1002/jsfa.2778
- Mutha, R. E., Tatiya, A. U., Surana, S. J. (2021). Flavonoids as natural phenolic compounds and their role in therapeutics: an overview. *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*, 7, 25. doi: 10.1186/s43094-020-00161-8
- Navarro del Hierro, J., Gutiérrez-Docio, A., Otero, P., Reglero, G., Martín, D. (2020). Characterization, antioxidant activity, and

- inhibitory effect on pancreatic lipase of extracts from the edible insects *Acheta domesticus* and *Tenebrio molitor*. *Food Chemistry*, 309. doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2019.125742
- Oonincx, D. G. A. B., Van Broekhoven, S., Van Huis, A., Van Loon, J. J. A. (2015). Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. *PLOS ONE*, 10(12), e0144601. doi: 10.1371/JOURNAL.PONE.0144601
- Rai, S., Wahile, A., Mukherjee, K., Saha, B. P., Mukherjee, P. K. (2006). Antioxidant activity of *Nelumbo nucifera* (sacred lotus) seeds. *Journal of Ethnopharmacology*, 104(3), 322–327. doi: 10.1016/J.JEP.2005.09.025
- Rovai, D., Ortgies, M., Amin, S., Kuwahara, S., Schwartz, G., Lesniauskas, R., Garza, J., Lammert, A. (2021). Utilization of carrot pomace to grow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*). *Sustainability (Switzerland)*, 13(16). doi: 10.3390/su13169341
- Ruschioni, S., Loreto, N., Foligni, R., Mannozi, C., Raffaelli, N., Zamporlini, F., Pasquini, M., Roncolini, A., Cardinali, F., Osimani, A., Aquilanti, L., Isidoro, N., Riolo, P., Mozzon, M. (2020). Addition of olive pomace to feeding substrate affects growth performance and nutritional value of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) larvae. *Foods*, 9(3). doi: 10.3390/foods9030317
- Singleton, V. L., Orthofer, R., Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152–178. doi: 10.1016/S0076-6879(99)99017-1
- Tan, S. W., Lai, K. S., Loh, J. Y. (2018). Effects of food wastes on yellow mealworm *Tenebrio molitor* larval nutritional profiles and growth performances. *Examines in Marine Biology & Oceanography*, 2(1), 173–178. doi: 10.31031/eimbo.2018.02.000530
- Tang, Y., Debnath, T., Choi, E. J., Kim, Y. W., Ryu, J. P., Jang, S., Chung, S. U., Choi, Y. J., Kim, E. K. (2018). Changes in the amino acid profiles and free radical scavenging activities of *Tenebrio molitor* larvae following enzymatic hydrolysis. *PLoS ONE*, 13(5), 1–14. doi: 10.1371/journal.pone.0196218
- Van Huis, A. (2013). Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology*, 58, 563–583. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>.
- Willis, J. D., Oppert, C., Jurat-Fuentes, J. L. (2010). Methods for discovery and characterization of cellulolytic enzymes from insects. *Insect Science*, 17(3), 184–198. doi: 10.1111/j.1744-7917.2010.01322.x
- Xia, W., Song, B., Li, T., Liu, R. H. (2024). Phytochemical profiles, antioxidant activities, and synergistic antiproliferative effects of blueberry and apple peel extracts. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 104(2), 737–745. doi: 10.1002/jsfa.12964
- Zhang, X., Tang, H., Chen, G., Qiao, L., Li, J., Liu, B., Liu, Z., Li, M., Liu, X. (2019). Growth performance and nutritional profile of mealworms reared on corn stover, soybean meal, and distillers' grains. *European Food Research and Technology*. 245, 2631–2640. doi: 10.1007/s00217-019-03336-7