



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ADANA ALPARSLAN TÜRKER BİLİM VE TEKNOLOJİ
ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

PANCAR KVASS ÜRETİMİNDE FARKLI LAKTİK ASİT
BAKTERİLERİNİN FENOLİK, AROMA-AKTİF BİLEŞİKLER ve
DİĞER KALİTE PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Onur SEVİNDİK
DOKTORA TEZİ



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ADANA ALPARSLAN TÜRKER BİLİM VE TEKNOLOJİ
ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

PANCAR KVASS ÜRETİMİNDE FARKLI LAKTİK ASİT
BAKTERİLERİNİN FENOLİK, AROMA-AKTİF BİLEŞİKLER ve
DİĞER KALİTE PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Onur SEVİNDİK
DOKTORA TEZİ

DANIŞMAN
PROF. DR. HAŞİM KELEBEK

ADANA, 2025

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak, bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın hazırladığım bu tez çalışmada;

Bu tezin özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin akademik kurallara ve etik davranışa uygun olarak elde edilerek sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, tez kapsamında bu kuralların ve davranışların gerektirdiği şekilde bu çalışmaya özgün olmayan tüm veri ve bilgiler için bilimsel etik ve gelenek çerçevesinde kaynak gösterdiğimi; bu kaynakları da kaynakçada belirttiğimi beyan ederim. Çalışmam ile ilgili yaptığım beyana aykırı bir durum saptanması halinde tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.../.../20..

Onur SEVİNDİK

ÖZET

PANCAR KVAŞ ÜRETİMİNDE FARKLI LAKTİK ASİT BAKTERİLERİNİN FENOLİK, AROMA-AKTİF BİLEŞİKLER ve DİĞER KALİTE PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Onur SEVİNDİK

Doktora, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Haşim KELEBEK

Temmuz 2025, 105 sayfa

Bu çalışmada, farklı laktik asit bakterisi (LAB) suşlarının kırmızı pancar (*Beta vulgaris* var. *conditiva*) fermantasyon süresi, elde edilen “pancar kvass” ürününün antioksidan aktivitesi, toplam fenolik içeriği, renk özellikleri, mikrobiyal florası, fenolik bileşik profili, aroma, aroma-aktif bileşenleri, duyu özellikleri ve mineral element içeriği üzerindeki etkileri ilk kez araştırılmıştır. Çalışma kapsamında spontan fermantasyona bırakılan kontrol örneği (K) ve pancar kvass kurulumu aşamasında %1’lik konsantrasyonda suş ekimleri yapılarak *Lactobacillus casei* (ATCC 431), *Lactobacillus delbrueckii* (ATCC 9649) ve *Lactobacillus plantarum* (ATCC 14917) suşlarıyla fermente edilerek üretilen (sırasıyla LC, LD ve LP kodlu) örnekler ile çalışılmıştır. Örneklerde antioksidan kapasite DPPH ve ABTS yöntemleriyle; toplam fenolik madde (TFM) miktarı ise Folin-Ciocalteu yöntemiyle belirlenmiştir. Bulgular, özellikle LP suşunun ilavesinin özellikle antioksidan kapasite üzerinde, LP ve LD suşlarının TFM miktarı üzerinde anlamlı ve pozitif etkiler yarattığını göstermiştir.

Pancar kvass örneklerinde yer alan betasiyaninler, betaksantinler ve diğer betalain grubu bileşikler LC-DAD-ESI-MS/MS cihazı ile tanımlanmış ve konsantrasyonları hesaplanmıştır. Toplam 15 fenolik bileşiğin tespit edildiği çalışmada, TFM bulgularıyla paralel şekilde, LAB ilavesi yapılan örneklerin fenolik profilleri kontrol grubuna kıyasla önemli düzeyde değişmiştir. Özellikle *L. plantarum* ile fermantasyonda toplam betasiyanin içeriği yaklaşık dört kat, betaksantin içeriği ise yaklaşık iki kat artış göstermiştir. Örneklerin aroma profilleri SAFE (Solvent Assisted Flavor Evaporation) yöntemiyle belirlenmiş, aroma-aktif bileşikler

ise AEDA (Aroma Extract Dilution Analysis) tekniği ve GC-MS/Olfaktometri ile analiz edilmiştir. Tıpkı fenolik gruplarda olduğu gibi, aroma ve aroma-aktif bileşen profilleri de LAB destekli fermentasyonlarda anlamlı düzeyde farklılıklar göstermiştir. Toplamda 46 aroma bileşiği tanımlanmış; LP ve LD örneklerinde aroma bileşiklerinin toplam konsantrasyonları, K ve LC örneklerine kıyasla anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur. Tüm örneklerde ketonlar ve karboksilik asitler baskın aroma grupları olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, GC-MS/O analiziyle toplam 20 aroma-aktif bileşik tanımlanmıştır. Duyusal analizler tanımlayıcı test yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Dört farklı ürün arasında LP örneği, panelistler tarafından aroma, tat ve genel beğeni açısından en yüksek puanı almıştır.

Genel değerlendirme sonucunda, kırmızı pancar kvass üretiminde farklı LAB suşlarının kullanılması, fermentasyon süresi, renk, antioksidan kapasite, fenolik, aroma ve aroma-aktif bileşikler, duyusal kalite ve mineral madde içeriği üzerinde belirgin ve olumlu etkiler yaratmış; spontan fermentasyona kıyasla daha üstün kalite özelliklerine sahip ürünlerin elde edilmesini sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: *Kırmızı pancar, Pancar kvass, Laktik Asit Bakterileri, Fenolikler, Aroma aktif*

ABSTRACT

EFFECTS OF DIFFERENT LACTIC ACID BACTERIA ON PHENOLIC COMPOUNDS, AROMA-ACTIVE COMPONENTS, AND OTHER QUALITY PARAMETERS IN BEET KVASS PRODUCTION

Onur SEVİNDİK

PhD, Department of Food Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Haşim KELEBEK

July 2025, 105 pages

ABSTRACT

In this study, the effects of different lactic acid bacteria (LAB) strains on the fermentation duration of red beet (*Beta vulgaris* var. *Conditiva*), and on various quality attributes of the resulting beet kvass product—such as antioxidant activity, total phenolic content, color characteristics, microbial flora, phenolic compound profile, aroma and aroma-active components, sensory properties, and mineral element content—were investigated for the first time. The study included a control sample (K) subjected to spontaneous fermentation, and three inoculated samples produced by adding 1% (v/v) of *Lactobacillus casei* (ATCC 431), *Lactobacillus delbrueckii* (ATCC 9649) and *Lactobacillus plantarum* (ATCC 14917) at the initial stage of kvass production, coded as LC, LD, and LP, respectively. Antioxidant capacity was assessed using the DPPH and ABTS methods, while total phenolic content (TPC) was measured using the Folin-Ciocalteu method. The results revealed that the addition of the LP strain significantly and positively influenced antioxidant capacity, while both LP and LD strains had a pronounced effect on TPC.

Betacyanins, betaxanthins, and other betalain group compounds present in the beet kvass samples were identified and quantified using LC-DAD-ESI-MS/MS. A total of 15 phenolic compounds were identified, and in line with TPC results, the phenolic profiles of the LAB-inoculated samples exhibited significant differences compared to the control group. In particular, fermentation with *L. plantarum* led to an approximately fourfold increase in total

betacyanin content and a twofold increase in betaxanthin content. Aroma profiles were determined using the SAFE (Solvent Assisted Flavor Evaporation) method, while aroma-active compounds were analyzed using AEDA (Aroma Extract Dilution Analysis) and GC-MS/Olfactometry. As with the phenolic profiles, the aroma and aroma-active profiles varied significantly across the LAB-fermented samples. A total of 46 aroma compounds were identified, with significantly higher total aroma compound concentrations observed in the LP and LD samples compared to K and LC. Ketones and carboxylic acids were identified as the dominant aroma groups in all samples. Additionally, 20 aroma-active compounds were identified through GC-MS/O analysis.

Descriptive sensory analysis showed that among the four products, the LP sample received the highest scores from panelists in terms of aroma, taste, and overall acceptability.

Overall, the use of different LAB strains in red beet kvass production had significant and favorable impacts on fermentation time, color, antioxidant capacity, phenolic and aroma-active compounds, sensory quality, and mineral composition, resulting in superior product quality compared to spontaneous fermentation.

Keywords: Red beet, Beet kvass, Lactic acid bacteria, Phenolics, Aroma-active compounds

TEŞEKKÜR

Akademik serüvenimde kıymetli fikirleriyle yoluma ışık tutan, destek ve emeklerini hiçbir zaman esirgemeyen, beni motive eden, doktoramın ilk gününden son gününe danışmanlıktan çok öte, her konudaki desteği ve değerli yakınlığıyla öğrencisi olmaktan her zaman gurur duyacağım tez danışmanım değerli hocam Sayın Prof. Dr. Haşim KELEBEK’e,

Akademik kariyerimin ilk gününden bu yana her anlamda bana değerli desteğini hissettiren, yol gösterici fikirlerini veengin tecrübesini aktaran, yüksek lisans danışmanım, doktora tez çalışmamda hem tez izleme komitemde hem de tez jürimde bulunarak yönlendirmeleriyle süreç boyunca çok değerli katkılarda bulunan, kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Serkan SELLİ’ye,

Tez çalışmamın kurgusunda ve ilerlemesinde fikirleriyle ve tecrübesiyle tezime önemli katkısı olan tez jürim Sayın Doç. Dr. Pınar KADİROĞLU KELEBEK’e,

Akademik kariyerime ilk adım attığım günlerde hassas analiz teknikleri konusundaki derin tecrübesini bana sabırla ve sevgiyle aktaran, öğretici ve yol gösterici tavrıyla süreç boyunca desteğini hissettiğim, tez jürim Sayın Doç. Dr. Ahmet Salih SÖNMEZDAĞ’a.

Tez izleme komitemde de bulunan ve tezim boyunca anlayışlı ve cesaretlendirici tavrıyla yanımda olan tez jürim Dr. Öğr. Üyesi Ali Emrah ÇETİN’e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca bir parçası olmaktan daima gurur duyduğum aileme; desteklerini hiçbir zaman benden esirgemeyen, başta yoldaşım, ağabeyim Doç. Dr. Başar SEVİNDİK’e, sevgili annem Samiye SEVİNDİK’e ve kıymetli babam Necati SEVİNDİK’e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Akademik kariyerimin başından bu yana her konuda yanımda olan, yaşadığım her zorlukta desteğini hissettiğim kıymetli dostum Arş. Gör. Dr. Gamze GÜÇLÜ’ye ve değerli hocam Prof.Dr. Ahmet EKİCİBİL’e, doktora sürecime destek veren arkadaşlarım, Arş. Gör. Zeynep Yaren PEHLİVAN’a, Dr. Öğr. Üyesi Türkan UZLAŞIR’a, Yüksek Gıda Müh. Hatice Kübra ŞAŞMAZ’a, Gıda Müh. Esin SELÇUK’a, Dr. Ceren ILGAZ’a, Dr. Özge AKSAY’a, Dyt. Göksenin AKMAN’a ve diğer çalışma arkadaşlarıma, son olarak tez çalışmamın duyusal analizlerine destek olan, akabinde 6 Şubat depremlerinde hayatını kaybeden sevgili arkadaşımız Gıda Müh. Işıl YILMAZ’a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANNAMESİ	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	x
KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI	10
3. MATERYAL VE METOT	24
3.1. Materyal	24
3.1.1. Laktik Asit Bakterileri Kullanılarak Pancar Kvass Üretimi	25
3.2. Metot	27
3.2.1. Fermantasyon takibi pH ve asitlik tayini analizleri	27
3.2.2. Suda çözünür katı madde analizi	27
3.2.3. Kuru madde analizi	27
3.2.4. Renk analizi	28
3.2.5. Toplam protein analizi	28
3.3. Mikrobiyolojik analizler	29
3.3.1. Toplam aerobik mezofilik bakteri (TAMB) sayılarının belirlenmesi	29
3.3.2. Toplam maya küf sayımı	29
3.3.3. Laktik asit bakteri (LAB) sayımı	29
3.4. Toplam fenolik madde analizi	30
3.5. Antioksidan kapasite analizleri	31
3.5.1. ABTS yöntemi	31
3.5.2. DPPH yöntemi	31
3.6. Fenolik bileşiklerin LC-ESI-MS/MS analizi	32
3.7. Uçucu bileşiklerin GC-FID ve GC-MS analizleri	34
3.7.1. Aroma maddeleri ekstraksiyonu	34
3.7.2. GC-MS, GC-FID ve GC-MS-O koşulları	35

3.7.3. Aroma maddelerinin miktarının hesaplanması	37
3.7.4. Aroma ekstraksiyon dilüsyon analizi (AEDA)	37
3.8. Duyusal analiz	37
3.9. Sonuçların değerlendirilmesi ve istatistiksel analizler	38
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	39
4.1. Fizikokimyasal analizlerin sonuçları	39
4.1.1. Örneklerin pH ve toplam asitlik değerleri	39
4.1.2. Suda çözünür kuru madde	42
4.1.3. Kuru madde miktarı (%)	42
4.1.4. Renk değerleri	43
4.2. Mikrobiyal analiz sonuçları	45
4.2.1. Toplam maya ve küf miktarı	45
4.2.2. Toplam aerobik mezofilik bakteri (TAMB)	46
4.2.3. Laktik asit bakterisi (LAB) sayımları	47
4.3. Biyokimyasal ve biyoaktif analizlerin sonuçları	47
4.3.1. Toplam ham protein (%) analizi sonuçları	47
4.3.2. Antioksidan kapasite analizi sonuçları	50
4.3.3. Toplam fenolik madde miktarı (TFM) analizi sonuçları	52
4.3.4. LC-ESI-MS/MS fenolik bileşiklerin analizi sonuçları	54
4.3.5. Pancar kvass örneklerinin aroma profili	66
4.3.6. Aroma-aktif (AEDA) sonuçları	81
4.3.7. Duyusal analiz sonuçları	85
4.3.8. Mineral Madde Analizleri Sonuçları	88
5. SONUÇLAR	91
KAYNAKÇA	93

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Kırmızı pancarın besin içeriği

2

Şekil 1.2.	Kırmızı pancarın mineral içeriği	2
Şekil 1.3.	Kırmızı pancarın biyokimyasal kompozisyonu	4
Şekil 1.4.	Kırmızı pancar (<i>Beta vulgaris</i> spp.) ve pancar kvass	6
Şekil 2.1.	Betalamik asitin parçalanması	22
Şekil 3.1.	Çalışmada kullanılan kırmızı pancarlar	24
Şekil 3.2.	Pancar Kvass örneklerinin üretim şeması	25
Şekil 3.3.	Pancar kvass örneklerinde büyük ölçekli denemelerinin kurulması	26
Şekil 3.4.	Renk ölçüm cihazı	28
Şekil 3.5.	Fermentasyon süresince yapılan LAB sayım işlemi	30
Şekil 3.6.	Fenolik bileşiklerin tanımlanmasında kullanılan LC-DAD-ESI-MS/MS	32
Şekil 3.7.	SAFE düzeneği ve aroma ekstraksiyonu	35
Şekil 3.8.	Aroma-aktif bileşiklerin belirlendiği GC-MS-Olfaktometri cihazı	36
Şekil 4.1.	Pancar kvass örneklerinin fermentasyon boyunca izlenen pH değişimi	40
Şekil 4.2.	Pancar kvass örneklerinin fermentasyon boyunca izlenen asitlik değişimi	41
Şekil 4.3.	Pancar kvass örneklerinin antioksidan kapasite sonuçları	51
Şekil 4.4.	Pancar kvass örneklerinin LC-ESI-DAD-MS/MS kromatogramları	56
Şekil 4.5.	Pancar kvass örnekleri fenoliklerinin ısı haritası ve kümeleme analizi	60
Şekil 4.6.	Pancar kvass örnekleri aroma ısı haritası ve kümeleme analizi	72
Şekil 4.7.	Pancar kvass örnekleri aroma grupları Sankey diyagramı	73
Şekil 4.8.	Duyusal analizde aroma örümcek ağı diyagramı	86
Şekil 4.9.	Duyusal analizde genel izlenim ve tat örümcek ağı diyagramı	87
Şekil 4.10.	Duyusal analizde panelin genel beğenisi örümcek ağı diyagramı	88

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1. Taksonomik sınıflandırma	24
Tablo 3.2. Pancar kvass örneklerinin içerikleri	26
Tablo 4.1. Pancar kvass üretimi sürecinde pH ve asitlik değişimleri	39
Tablo 4.2. Pancar kvass örneklerinde fermantasyon sürecinde °Briks değerleri	42
Tablo 4.3. Pancar kvass örneklerinde kuru madde analizi	43
Tablo 4.4. Pancar kvass örneklerinin renk değerleri	44
Tablo 4.5. Toplam maya ve küf sayımları	46
Tablo 4.6. Toplam aerobik mezofilik bakteri (TAMB) sayımları	46
Tablo 4.7. Laktik asit bakterisi (LAB) sayımları	47
Tablo 4.8. Pancar kvass örneklerinin toplam protein içeriği	49
Tablo 4.9. Pancar kvass örneklerinin örneklerinin antioksidan kapasiteleri	50
Tablo 4.10. Pancar kvass örneklerinin toplam fenol miktarı	52
Tablo 4.11. Pancar kvass fenolik bileşen profili	57
Tablo 4.12. Pancar kvass örneklerinin aroma profili	69
Tablo 4.13. Pancar kvass örneklerinin aroma-aktif bileşikleri	83
Tablo 4.14. Pancar kvass örneklerinin mineral madde içeriği	89

KISALTMALAR

ABTS	: 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic asit
AEDA	: Aroma Ekstrakt Seyreltme Analizi
Al	: Alüminyum
cfu	: Koloni oluşturan birim
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Dk	: Dakika
DPPH	: 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil
Fe	: Demir
GC-FID	: Alev iyonizasyon dedektörlü gaz kromatografisi
GC-MS	: Gaz kromatografisi-kütle spektrometresi
GC-MS/O	: Gaz kromatografisi-kütle spektrometresi/olfaktometri
ICP-MS	: İndüktif Eşleşmiş Plazma – Kütle Spektrometresi
K	: Potasyum
LAB	: Laktik asit bakterileri
LC-DAD-MS/MS	: Diyot array dedektörlü sıvı kromatografisi-kütle spektroskopisi
LRI	: Lineer Tutulma indeksi (Linear Retention Index)
MRS	: de Man, Rogosa and Sharpe besiyeri (MRS agar/broth)
Mg	: Magnezyum
Mn	: Mangan
Na	: Sodyum
ppm	: Milyonda bir birim (Parts per million)
SAFE	: Çözgen Yardımıyla Aroma Evaporasyonu
RT	: Alıkonma zamanı (Retention time)
TFM	: Toplam fenolik madde
UV	: Ultraviole
Zn	: Çinko
µg	: Mikrogram
µL	: Mikrolitre



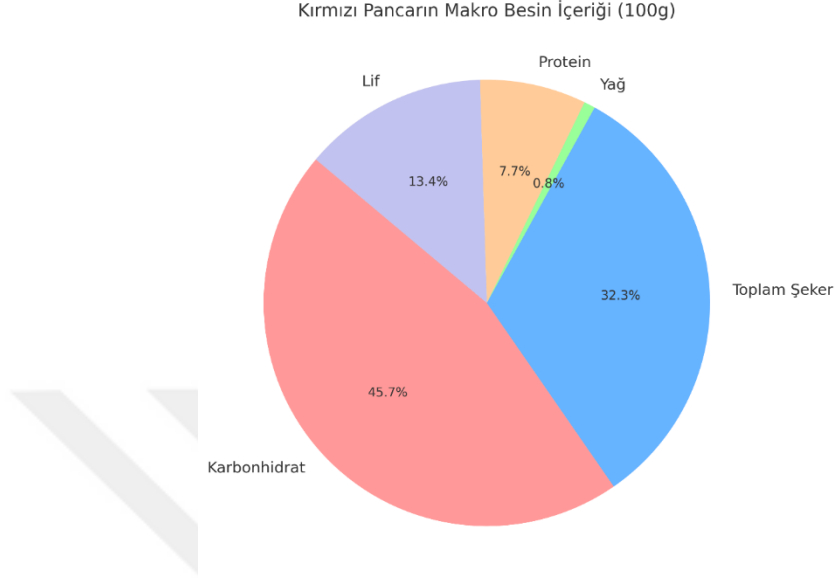
1. GİRİŞ

Kırmızı pancar (*Beta vulgaris* L.), Asya ve Avrupa kökenli olup Chenopodiaceae familyasında yer alan otsu, ince köklere ve yumru gövdeye sahip bir bitkidir. Avrupa ülkeleri, dünyadaki pancar üretiminin yaklaşık %70'ini gerçekleştiren en büyük üretici konumundadır. Küresel kırmızı pancar pazarı özellikle doğal renk maddesi ticareti üzerinden şekillenmektedir. Yayınlanan ticari pazar raporu verilerine göre (Data Insights Market, 2023), 2023 yılında kırmızı pancar pazarı küresel ölçekte yaklaşık 46 milyon USD'ye ulaşmıştır. Son yıllarda kırmızı pancarın sağlık açısından sahip olduğu değerli bileşenler nedeniyle tüketimi artmakta ve kırmızı pancar fonksiyonel gıda üretiminde kullanım için büyük bir potansiyel taşımaktadır (Amjad, Akhtar, Shahzadi, Shahzadi, Raza, ve Rehman, 2025; Stoica, Râpeanu, Rațu, Stănciuc, Croitoru, Țopa ve Jităreanu, 2025).

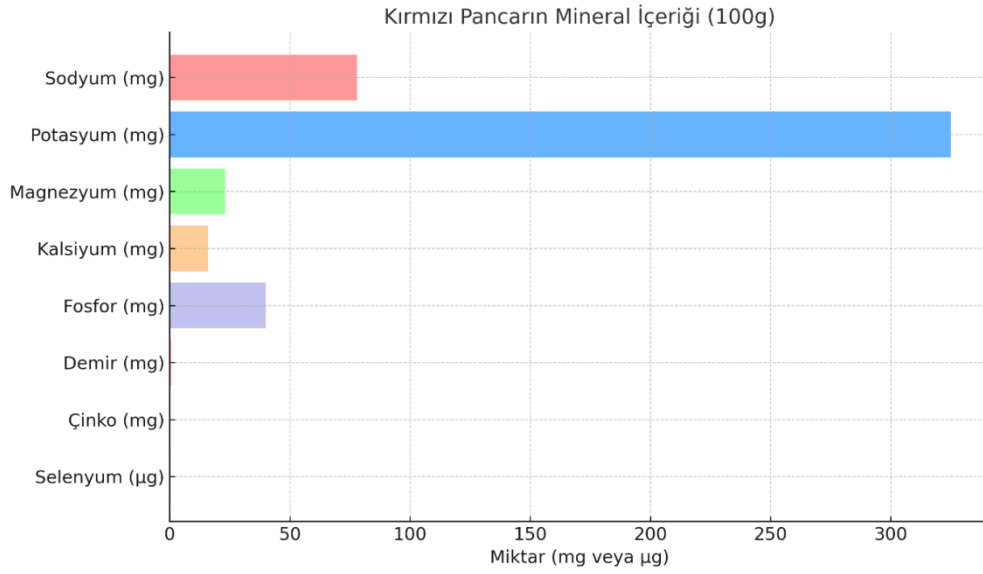
Kırmızı pancar, polifenoller, karotenoidler, flavonoidler, saponinler, vitaminler, betalainler mineraller ve askorbik asit gibi pek çok besleyici bileşen bakımından zengin bir doğal kaynaktır. Güçlü bir antioksidan etkiye sahip olan bu bitki, antiviral ve antienflamatuar etkileri ile de insan sağlığı açısından oldukça önemli bir yere sahiptir (Neelwarne, 2012). Kırmızı pancar, doğal bir gıda boyası olarak kullanılmasının yanı sıra, kozmetik endüstrisinde de önemli bir yer tutmaktadır. Ayrıca, kırmızı pancar yağ asitleri, nitrat, diyet lifi ve betalainler, az miktarda glukoz ve fruktoz içerirken, daha çok sakkaroz barındırmaktadır (Şekil 1.1). Sebze suyu üretimi konusunda önemli bir rol oynayan kırmızı pancar, sahip olduğu doğal kırmızı pigmentler, polifenoller, lif ve nitratlar sayesinde giderek daha fazla ilgi görmektedir. Öte yandan, sebze suyu üretimi sırasında elde edilen pancar atıkları, betalainler ve polifenoller açısından değerli bir kaynak olarak kullanılabilir. Pancar işleme sonrası geriye kalan kabuk ve posa gibi kısımlarının yanı sıra, toprak üzerinde kalan yapraklar ve saplar gibi atıklar da değerlendirilmektedir. Bu atıkların değerlendirilmesi, atık miktarını azaltarak sıfır atık hedefine ulaşılmasına yardımcı olmaktadır (Ninfali ve Angelino, 2013; Chhikara, Kushwaha, Sharma, Gat ve Panghal, 2019; Özcan ve Uslu, 2023).

Kök sebzeler arasında pancar, yüksek karbonhidrat (9,56 g/100 g) ve lif (2,8 g/100 g) içeriğiyle öne çıkmaktadır. Pancarın en bol bulunan minerali potasyumdur (K). Organik pancarlarda bu miktar yaklaşık 356 mg/100g'dır (Şekil 1.2). Ayrıca, organik pancarların konvansiyonel olanlara kıyasla potasyum (K), fosfor (P), magnezyum (Mg) ve kalsiyum (Ca)

gibi mineral bileşikler açısından daha yüksek değerlere sahip olduğu bildirilmiştir (Knez, Kadac-Czapska, Dmochowska-Ślęzak ve Grembecka, 2022).



Şekil 1.1. Kırmızı pancarın besin içeriği (100g için) (USDA, 2022)



Şekil 1.2. Kırmızı pancarın mineral içeriği (100g için) (USDA, 2022)

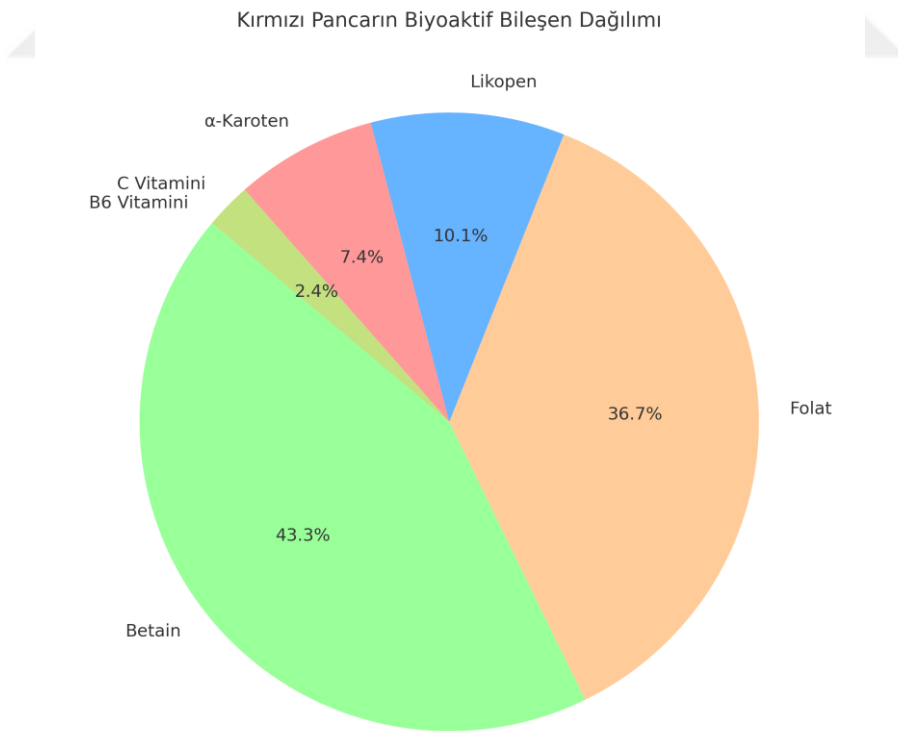
Dünya genelinde geniş bir kullanım alanına sahip olan kırmızı pancar, en önemli tarım ürünlerinden bir tanesidir. Hem taze tüketim hem de işlenmiş ürünler için üretilen kırmızı pancar, özellikle ılıman iklimlerde yetiştirilir. Rusya, ABD, Almanya, Fransa ve Polonya gibi ülkeler, bu ürünün başlıca üreticileri arasında yer alır. Hindistan ve Çin gibi ülkelerde ise daha çok işlenmeden, taze sebze olarak tüketilmektedir. Kırmızı pancar, yalnızca gıda olarak tüketimi açısından değil, aynı zamanda doğal gıda boyası üretiminde kullanılması ve sağlık sektöründe ise antioksidan özellikleri nedeniyle değerlidir (Clifford, Howatson, West, Stevenson, 2015).

Türkiye’de ise kırmızı pancar üretimi genellikle İç Anadolu, Ege ve Marmara bölgelerinde yoğunlaşmıştır. Konya, Eskişehir, İzmir ve Bursa gibi şehirler bu ürünün başlıca üretim merkezlerindendir. Geleneksel olarak turşu, salata ve meze yapımında kullanılan kırmızı pancar, son yıllarda gıda sanayisinde doğal renk verici ve aroma maddesi olarak daha fazla talep görmektedir. Ayrıca, sağlıklı beslenme eğilimlerinin etkisiyle detoks içecekleri ve doğal ilaç sektörü için kırmızı pancarın popülaritesi artmıştır. Organik üretimin giderek yaygınlaştığı ülkemizde yıllık kırmızı pancar üretimi yaklaşık 25 bin tona ulaşmış durumdadır. Türkiye İstatistik Kurumu’nun (TÜİK) verilerine göre, son on yılda ülkemizde kırmızı pancar üretimi dalgalı bir seyir izlemiştir. 2014 yılında 7161 ton olan üretim miktarı, 2018 yılında 8119 tona, 2023 yılında 21188 tona ulaşmıştır. Bu artış, kırmızı pancara olan talebin ve kırmızı pancarın üretim kapasitesinin giderek arttığını göstermektedir. Türkiye’de kırmızı pancar üretimi, özellikle Ege ve Marmara bölgelerinde yoğunlaşmıştır (Özcan ve Bilek, 2018; Ersoyak, 2024).

FAO verilerine göre, pancar işleme sırasında ortaya çıkan kabuklar, tohumlar, sap, posa gibi atıklar ve yan ürünler yılda 1,3 milyar tona kadar ulaşmakta olup, gıda endüstrisi çıktısının dörtte birini oluşturmaktadır (FAO, 2022). Üretilen pancarın %85’i işleme amacıyla kullanılmakta, ancak bu süreçte yaklaşık %30’u kötü kök kalitesi nedeniyle israf edilmektedir. Bu durum, kırmızı pancar atıklarının yeniden değerlendirilmesi ve tedarik zincirine entegre edilmesiyle ilgili yeni yaklaşımlar geliştirilmesini teşvik etmektedir. İşleme sırasında oluşan atıkların yeniden kullanımı, hem çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlayacak hem de ekonomik değer yaratacaktır (Fissore, Ponce, Matkovic, Stortz, Rojas & Gerschenson, 2011; Stoica ve diğerleri 2025).

Türkiye’de kırmızı pancar üretimi, büyük ölçüde iç tüketimi karşılamak için yapılmaktadır. Ancak işlenmiş ürünlerin, özellikle pancar suyu, pancar kvass ve doğal gıda boyası gibi katma değeri yüksek ürünlerin ihracatında gelişim potansiyeli bulunmaktadır (Guldiken, Toydemir, Memis, Okur, Boyacioglu ve Capanoglu, 2016). Üretim için uygun koşullar arasında hafif asidik, iyi drenajlı topraklar ve 15-25°C arasında değişen sıcaklıklar yer alır. Su yönetimi de oldukça kritik bir unsurdur; fazla su, kök çürümesine yol açabileceği için dengeli sulama büyük önem taşır.

Kırmızı pancarın toplam antioksidan kapasitesi temel olarak iki biyoaktif bileşik ile açıklanmaktadır: betalainler ve polifenoller (Şekil 1.3). Betalainler, iki alt bileşik grubu içeren suda çözünür pigmentlerdir: mor-kırmızı betasiyaninler (özellikle betanin) ve sarı-turuncu betaksantinler (özellikle vulgaksantin) olarak ikiye ayrılmaktadır. Betalainlerin antioksidan özelliklerine ek olarak, immünoşüpresif, antienflamatuar, hepatoprotektif ve antitümör biyolojik aktiviteye sahip olduğu da yapılan çalışmalarda belirtilmiştir. Kırmızı pancara çekici rengini veren özellikle ısı işleme duyarlı olan betalain pigmentidir (Azeredo, 2009; Georgiev, Weber, Kneschke, Denev, Bley ve Pavlov, 2010).



Şekil 1.3. Kırmızı pancarın biyokimyasal kompozisyonu (USDA, 2022)

Fermente gıdalar, ülkemizde her bölgede yaygın olarak tüketilen ve oldukça çeşitli olan bir besin grubudur. Son yıllarda, bu gıdaların çeşitliliğindeki artış ve fonksiyonel özelliklerinin daha ayrıntılı belirlenmesi ile birlikte tüketimleri giderek artmıştır. Fermente ürünlerin en dikkat çekici özelliklerinden biri, özellikle probiyotik etkilerinin yanı sıra, içerdikleri fenolik bileşikler ve flavonoidler gibi sağlığa faydalı bileşenleri barındırmalarıdır. Ayrıca, bu ürünlerin mevsim koşullarından bağımsız olarak tüketilebilmesi ve uzun raf ömrü gibi avantajları olması da, bu zengin ürünlerin nihai tüketiciler tarafından tercih edilmesini sağlamaktadır. Bu gıda grubu, piyasada fermente gıdalara dayalı yeni bir sektörün doğmasına yol açmıştır. Bu sektörde faaliyet gösteren işletmeler, maliyet açısından ekonomik avantajlar sağlarken, aynı zamanda ürün çeşitliliği sunmakta ve sağlık yararları ile rekabet avantajı elde etmektedir. Ülkemizde yaygın olarak tüketilen fermente gıdaların besin değeri dışında, fonksiyonel özelliklerinin ortaya konulması konusunda yapılan çalışmalar henüz yeterli değildir. Mevcut bazı çalışmalar fermente gıdaların belirli kanser türlerine karşı dahi potansiyel faydalar sağlayabileceğini göstermekte olmasına rağmen, fermente gıdaların sağlığa olan yararları henüz tam olarak detaylarıyla araştırılmamıştır. Fermantasyon sürecinde, maya, bakteri ve mantarlar gibi mikroorganizmalar şekerleri ve diğer organik maddeleri metabolize ederek çeşitli biyoaktif bileşenlerin üretimini sağlar. Fermantasyonun temelinde laktik asit bakterileri, bifidobakteriler ve *Saccharomyces* cinsi mayalar gibi mikroorganizmalar önemli bir rol oynar (Gülbandılar, Okur ve Dönmez, 2017).

Fermente gıdaların düzenli tüketimi, insan sağlığına pek çok olumlu katkı sağladığı bilimsel çalışmalarla desteklenmektedir. Bu gıdaların kilo korunmasına katkı sağlamak, Tip 2 diyabet ve kardiyovasküler hastalıklara karşı pozitif etki göstermek gibi önemli etkileri literatürde sıkça belirtilmiştir (Eussen, van Dongen, Wijckmans, den Biggelaar, Oude Elferink, Singh-Povel ve Dagnelie, 2016; Mozaffarian, Hao, Rimm, Willett ve Hu, 2011; Baruah, Ray ve Halami, 2022). Ayrıca literatürde probiyotiklerle zenginleştirilmiş fermente gıdaların, beyindeki içsel bağlantıyı ve duygusal dikkat mekanizmalarına olan tepkileri değiştirdiği ve bağırsak mikroflorasını olumlu olumlu olarak etkilediği de bildirilmiştir (Tillisch, Labus, Kilpatrick, Jiang, Stains, Ebrat, Guyonnet, Legrain-Raspaud, Trotin, Naliboff ve Mayer, 2013). Öte yandan, bazı fermente gıdalarda yüksek oranda bulunan probiyotiklerin bağırsak mikrobiyotasını modüle ederek metabolik bozuklukları iyileştirebileceği bildirilmiştir (Pessione, 2012). Bazı fermente gıdalarda bulunan probiyotik suşların ve bunların hücre

içermeyen süpernatantlarının, kolorektal kanser hücreleri üzerinde anti-proliferatif ve apoptozu tetikleyici etkiler gösterdiği de ortaya konmuştur (Pahumunto ve Teanpaisan, 2023)

Dünyada popüler olarak tüketilen ve sağlık faydalarıyla öne çıkan en önemli fermente ürünlerden bir tanesi de kvasstır. Dünyada yaygın olarak tüketilen iki temel kvass türü bulunmaktadır: Ekmek kvass (çavdar kvass) ve pancar kvass. Ekmek kvass, genellikle çavdar ekmeğinin fermente edilmesiyle elde edilen hafif alkollü ve probiyotik özellikler taşıyan geleneksel bir içecektir. Pancar kvass ise fermente pancar suyu ile yapılan ve özellikle bağırsak sağlığını destekleyici etkileriyle bilinen bir içecektir. Her iki kvass türü de fermente ürünlerin sağlık üzerindeki olumlu etkilerine katkı sağlayan doğal probiyotik kaynaklarıdır (Ekin ve Orhan, 2019).

Kvass, kökeni antik çağlara dayanan geleneksel bir fermente içecektir (Şekil 1.4.). İlk yazılı



Şekil 1.4. Kırmızı pancar (*Beta vulgaris* spp.) ve pancar kvass

kayıtlarına 10. yüzyılda rastlanan kvass, özellikle Rusya ve Doğu Avrupa’da yaygın olarak tüketilmiştir. Slav kültüründe önemli bir yere sahip olan bu içecek, besleyici özellikleri ve fermente yapısıyla hem günlük yaşamda hem de ritüellerde kullanılmıştır. Eski Mısır ve Babil’de de benzer fermente içeceklerin üretildiği bilinmektedir. Geleneksel olarak çavdar ekmeği veya pancarın fermente

edilmesiyle elde edilen kvass, probiyotik içeriği sayesinde sindirim sağlığını destekler ve fermente gıdaların sağlık üzerindeki olumlu etkilerine katkıda bulunur (Bazhenova, Chernova, Bazhenova ve Bychenkova, 2021). Pancar kvass ise bazı Slav ülkelerde ve ülkemizde son zamanlarda popüler olmaya başlamış, özellikle organik ve fonksiyonel gıda tüketen kitlenin hedef alındığı özel bir tüketici kitlesine sahip sağlık potansiyeli olan fermente içecekler grubunda yerini almıştır.

Pancar suyunun fermantasyonuyla yapılan kvasın sindirimi düzenleyen, kanı alkalileştiren ve karaciğeri temizleme gibi sağlığa yararlarının bulunduğu belirtilmiştir (Hing, 2020). Pancar kvass üretiminde temel olarak laktik asit bakterileri (*Lactobacillus* spp.) rol oynamaktadır. Bu bakteriler, pancarın doğal şekerlerini laktik aside dönüştürerek içeceğin ekşi ve fermente karakterini oluşturmaktadır. Aynı zamanda, bağırsak sağlığını destekleyen probiyotik özellikler kazandırır ve zararlı mikroorganizmaların çoğalmasını engelleyerek ürünün güvenliğini artırır. Pancar kvass, doğal antioksidanlar, vitaminler ve mineraller açısından zengin olup bağırsaklık sistemini destekleyici ve sindirim sağlığını iyileştirici etkilere sahiptir. Fermantasyon sürecinde oluşan biyoaktif bileşenler, pancar kvassın detoksifikasyon ve antiinflamatuvar özelliklerini güçlendirmektedir (Jakubczyk, Melkis, Janda-Milczareki, Skonieczna-Żydecka, 2023)

Fermantasyon sürecinde meydana gelen biyokimyasal değişimler, pancar kvassın besin değerini artıran önemli bir faktördür. Laktik asit bakterileri ve diğer mikroorganizmalar, pancarın içerdiği polifenoller, vitaminler gibi biyoaktif bileşenlerin korunmasına ve hatta artmasına katkı sağlar. Fermantasyon süreci sırasında pancarın doğal bileşenleri daha biyoyararlı hale gelir. Böylece antioksidan kapasitesi ve sindirilebilirliği artar. Ayrıca, fermantasyon sürecinde üretilen organik asitler ve enzimler, bağırsak mikrobiyotasını destekleyerek genel sağlık ve özellikle bağırsaklık sistemi üzerinde olumlu etkiler sağlar (Georgiev ve diğerleri, 2010).

Pancar kvassının kalite parametreleri, hem tüketici kabulü hem de sağlık açısından büyük önem taşımaktadır. Fermantasyon sürecinde pH değerı, probiyotik mikroorganizmaların canlılığını koruması ve istenilen tat profiline ulaşılmaması için kritik bir faktördür. Düşük pH, zararlı mikroorganizmaların çoğalmasını engellerken, laktik asit bakterilerinin aktivitesini destekler. Probiyotik canlılık, pancar kvassının bağırsak sağlığı üzerindeki olumlu etkilerinin sürdürülebilir olması açısından değerlendirilmelidir. Ayrıca, içeceğin antioksidan kapasitesi, fenolik bileşikler pancarın doğal polifenoller ve vitamin içeriği ile doğrudan ilişkilidir. Bu

özelliklerin fermentasyon süreciyle korunması önemlidir. Tat ve aroma profili ise fermente ürünlerin tüketici tarafından benimsenmesini sağlayan temel unsurlardan biridir. Dengeli bir ekşilik, hafif tatlılık ve fermente aromaların uyumu, pancar kvassının hem besleyici hem de keyifli bir içecek olmasını sağlar (Kumari, Huligere, Ramu, Naik, Bajpe, Sreenivasa, Silina, Stupin ve Achar, 2022).

Ülkemizde de son yıllarda sağlık potansiyeli yüksek fermente gıdalara olan yönelimle beraber alkolsüz olan ve tamamen doğal olan pancar kvass içeceğine ilgi her geçen gün artmaktadır. Artan ilgiyle beraber bazı butik üreticileri herhangi bir standardizasyon olmadan tamamen butik düzeyde ve duyuşal tecrübelerine dayanarak bu ürünü piyasaya birkaç çeşitli marka ile sürmüştür. Ancak üründe bugüne kadar herhangi bir standardizasyon, bilimsel detaylı bir çalışma, tez veya proje yapılmamıştır. Ülkemizde bulunan az sayıdaki pancar kvass ürünleri arasında içerik, tat ve renk farklılıkları bulunmaktadır. Fermente pancar kvass suyu ülkemiz için çok yeni bir ürün olarak değerlendirilmektedir. Fermente pancar suyu kvasstan ve kvass üretiminden arta kalan artık niteliğindeki fermente olmuş pancar tanelerinden elde edilebilecek biyoaktif bileşenlerce, besin öğelerince zengin ürünler ülkemizde bulunmamaktadır. Kırmızı pancar gıda sektöründe yaygın olarak doğal gıda boyası olarak kullanılmakta ve fonksiyonel özellikleri yeterince değerlendirilmemektedir. Biyoaktif bileşenlerce zengin kırmızı pancardan üretilen pancar kvass ile ilgili detaylı herhangi bir bilimsel çalışma olmamasından dolayı, zaten butik düzeyde olan üretim tamamen duyuşal tecrübelerine dayalı kontrolsüz bir biçimde devam etmektedir.

Literatürdeki bu açığı doldurabilmek için bu bilgiler ışığında, mevcut çalışmada pancar kvass üretiminin farklı laktik asit suşlarıyla *Lactobacillus casei* (ATCC 431), *Lactobacillus delbrueckii* (ATCC 9649) ve *Lactobacillus plantarum* (ATCC 14917) çeşitli kalite parametrelerinin değişiminin incelenmesi hedeflenmiştir. Bu anlamda ele alınan parametreler; üretim sürecinde pH-asitlik dengesi, farklı suşlarla üretilen kvassın renk özellikleri, toplam fenol miktarı, antioksidan kapasitesi, fenolik bileşenler profili, aroma ve aroma-aktif bileşikler, duyuşal özellikleri ve mineral element içeriğidir. Çalışmanın bir diğer amacı, pancar kvassın besin değerini ortaya çıkarırken bir yandan da duyuşal kalitenin en iyi seviyeye çıkarılmasıdır. Pancar kvass üretiminde fermentasyonu gerçekleştiren mikroorganizmaların son ürünün kalitesine ve sağlık potansiyeli bakımından önemli biyoaktif bileşenler üzerine etkisi bilimsel temellerle hassas teknikler kullanılarak ilk kez araştırılmıştır.

Bu sayede, fonksiyonel gıda olarak pancar kvassın daha geniş kitlelere ulaştırılması hedeflenmiştir.



2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Fermente sebzeler ve bu sebzelerden elde edilen fonksiyonel içecekler, doğal biyoaktif bileşenlerce zengin olmaları ve probiyotik potansiyelleri sayesinde sektörde öne çıkan ürünler arasında yer almaktadır. Özellikle kırmızı pancar gibi pigmentlerce zengin sebzelerin fermentasyonu, ürünün hem besin değeri hem de sağlık üzerine etkileri açısından literatürde birçok araştırmaya konu olmuştur. Pancarın doğal yapısında bulunan fenolik bileşikler, betalain pigmentleri, nitratlar ve vitaminler, fermentasyon süreciyle çeşitli biyotransformasyonlara uğrayarak farklı fonksiyonel özellikler kazanabilmektedir. Bu anlamda, fermente kırmızı pancar üzerine yapılan çalışmalar, fenolik profili, antioksidan aktivite, renk stabilitesi ve duyu nitelikler açısından anlamlı bulgular ortaya koymaktadır. Bu bölümde, literatürde bu konu ile ilgili kendine yer bulan temel araştırmalar ışığında pancar kvass ve benzeri fermente içeceklerin bileşen değişimleri ve fonksiyonel özellikleri ele alınmıştır.

Rahelić, Kovačević Ganić, Sarić ve Brnčić (2021), yaptıkları çalışmada kırmızı pancar suyunun fermentasyonu sırasında toplam fenolik madde içeriğinde artış gözlemişlerdir. Fermentasyon sonunda toplam fenolik madde içeriğinin yüksek bulunmasının, mikroorganizmaların hücre duvarlarını parçalayıcı etkileri sonucu fenollerin serbest hale geçmeleriyle ilişkili olduğu belirtilmiştir. Ayrıca aynı çalışmada, fermente örneklerin antioksidan kapasitelerinin kontrol örneklerine göre anlamlı düzeyde yükseldiği tespit edilmiştir.

Czyzowska, Siemianowska, Sniadowska ve Nowak (2020), yaptıkları çalışmada, fermente kırmızı pancar ve fermente kırmızı pancar suyunun soğukta uzun süreli depolanması sırasında koşulların biyolojik aktivite gösteren bileşikler ve mikroorganizma içerikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Toplam fenolik bileşikler ile kırmızı ve sarı betalainler LC-MS yöntemiyle analiz edilmiştir. Soğukta 7 ay depolama sonunda fermente rendelenmiş pancarda toplam fenolik madde içeriği 920 mg/kg, pancar suyunda ise 810 mg/L olarak tespit edilmiştir. Deneyin sonunda, yani 10 aylık depolamanın ardından bu değerler sırasıyla 570 mg/kg ve 540 mg/L'ye düşmüştür. 7 ay sonunda kırmızı betalain miktarı rendelenmiş pancarda 116 mg/kg, pancar suyunda ise 69 mg/L olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda sarı betalain miktarı rendelenmiş pancarda 14 mg/kg, pancar suyunda ise 19 mg/L bulunmuştur. Hem pancarda hem de pancar suyunda depolama boyunca kırmızı pigmentlerde yaklaşık üç

kat azalma gözlenmiştir. Araştırmanın başında rendelenmiş pancarda en baskın pigment betanidin olarak belirlenirken, pancar suyunda ise izobetanidin ve betanidin öne çıkmıştır. Çalışmanın sonunda pigment bileşimi hafifçe değişmiştir. İncelenen ürünlerde bakteri mikrobiyotası içerisinde baskın türler laktik asit bakterileri olmuş; Enterobacteriaceae grubuna ait bakterilere ise hiçbir örnekte rastlanmamıştır. Sonuç olarak, uzun süreli soğuk depolama sırasında biyolojik olarak aktif bileşiklerin miktarında azalma görülmekle birlikte, içerik yüksek düzeyde korunmuştur.

Kujala, Vienola, Klika, Lojonen ve Pihlaja (2002), yaptıkları çalışmada kırmızı pancarın betalain pigmentlerinin fermentasyon sürecindeki stabilitesini analiz etmişlerdir. Betanin ve izomerlerinin parçalanmasının ürünün renk yoğunluğunda azalmaya neden olduğu, ancak kontrollü fermentasyon koşullarında bu kayıpların minimum düzeyde tutulabileceği sonucuna varmışlardır.

Casciano, Mayr, Nissen, Putti, Zoli, Gianotti ve Conterno (2022), kırmızı pancarın farklı mikrobiyal konsorsiyumlarla fermente edilerek aromatik özellikleri geliştirilmiş gıdalar üretme potansiyelini araştırmıştır. Çalışmada, çeşitli fermentasyon yöntemleri karşılaştırılmış ve mikrobiyolojik, fizikokimyasal, yapısal ve uçucu bileşen analizleri gerçekleştirilmiştir. Çok değişkenli analiz kullanılarak, her başlangıç kültürüne özgü uçucu organik bileşikler (VOCs) belirlenmiş ve süreç değişkenleri ile uçucu bileşenler arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Sonuçlar, başarılı bir laktik asit fermentasyonunun gerçekleştiğini ve farklı fermentasyonların metabolik profillerinin belirgin şekilde ayrıldığını göstermiştir. Özellikle, karışık kültürle fermente edilen örnek, en karmaşık ve çeşitli uçucu bileşen profiline sahip olmuştur. Ayrıca, fermentasyon sonrası örneklerde yumuşama gözlenmemiştir. Çalışma, sınırlı örnek sayısı ve çeşitliliği gibi bazı kısıtlamalara sahip olsa da kırmızı pancarın geleneksel fermentasyon süreçlerinin standartlaştırılması için bir temel oluşturabilecek niteliktedir.

Foss, Starowicz, Kłębukowska ve Sawicki (2023), laktik asit fermentasyonunun kırmızı pancar suyundaki uçucu organik bileşikler (VOCs) üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Çalışmada, üç farklı *Lactobacillus* suşu (*L. acidophilus* ATCC 8014, *L. brevis* Lbbr 12A, *L. plantarum* ATCC 3543) farklı oranlarda (%1, %2, %2,5) kullanılarak pancar suyu 24 saat boyunca fermente edilmiştir. Gaz kromatografisi-kütle spektrometrisi (GC-MS) ile toplam 100 uçucu bileşik tespit edilmiş ve bunlar 18 kimyasal gruba ayrılmıştır. Fermente örnekler,

fermente edilmemişlere kıyasla daha fazla uçucu bileşik içermiş; özellikle *L. plantarum* ile fermente edilen örnekler en yüksek VOC çeşitliliğine (33-38 bileşik) sahip olmuştur. En düşük VOC içeriği ise taze pancar suyunda (13 bileşik) bulunmuştur. Toplam VOC içeriği, taze meyve suyunda 84 µg/mL, 30°C'deki kontrol örneğinde 881,31 µg/mL olarak ölçülmüştür. Fermente örnekler arasında en yüksek VOC içeriği, %1 *L. plantarum* eklenmiş örnekte gözlemlenmiştir. Çalışma, 24 saatlik laktik asit fermantasyonunun kırmızı pancar suyunun aroma açısından beğenirliğini artırabilecek önemli miktarda uçucu molekül oluşumuna katkı sağlayabileceğini ortaya koymaktadır.

Yoon, Hong, Jeong, Hong, Jo, Park, Ban, Youn, Cheon, Kim, Lee, Park ve Shin (2023), Jeju Adası'nda hasat edilen kırmızı pancarın gıda endüstrisindeki kullanımına yönelik duyusal özelliklerini belirlemek amacıyla tat yoğunluklarını ve uçucu bileşikleri analiz etmiştir. Elektronik dil kullanılarak yapılan tat analizi sonucunda, pancarın iç kısmında tuzluluk ve umami tatlarının, kabuğunda ise tatlılık ve acılığın daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Elektronik burun ile yapılan koku analizinde toplam 15 koku bileşiği tespit edilmiş ve 1-okten-3-ol, fençol ve geosmin gibi toprak kokusuyla ilişkili bileşikler saptanmıştır. Gaz kromatografisi-kütle spektrometrisi (GC-MS) ile yapılan uçucu bileşik analizinde, kabuğun et kısmına kıyasla beş kat daha fazla geosmin içerdiği belirlenmiştir. Olfaktometri analizi ile dimetil sülfür, 2-metoksi-3-(1-metiletil)-pirazin, 2-metoksi-3-(1-metilpropil)-pirazin ve geosmin dahil olmak üzere toplam altı koku aktif bileşiği tespit edilmiştir. Çalışma, kırmızı pancarın farklı bölümlerinin duyusal özelliklerini ortaya koyarak, gıda endüstrisinde kullanım potansiyelini değerlendirmek için önemli bir veri kaynağı sunmaktadır.

Richardson F.R. (2013), haşlanmış, fırınlanmış, konserve ve renklendirici olarak kullanılan dört farklı pancarın aroma-aktif bileşiklerini SAFE ve aroma ekstrakt seyreltme analizi (AEDA) yöntemleriyle gaz kromatografisi-olfaktometri (GCO) cihazı kullanarak belirlemişlerdir. Farklı işleme yöntemlerine gruplandırılan örneklerde konserve pancarın, 41 aroma aktif bileşik ile en baskın aromaya sahip olduğu tespit edilmiştir. Aroma bileşenleri, pancarın doğal yapısından gelen, doğrama sırasında enzimatik reaksiyonlarla oluşan ve pişirme sürecinde gelişen termal reaksiyon ürünleri olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. En önemli doğal aroma bileşenlerinden biri olan geosmin'in mikrobiyal değil, pancar kaynaklı biyosentezle oluştuğu vurgulanmıştır. Doğrama sonucu aktive olan lipoksijenazlar ve Maillard reaksiyonları sonucu oluşan furaneol, maltol, metional ve 2-asetil-1-pirolin gibi uçucu bileşiklerin; özellikle amino asitler ve şekerlerin varlığıyla pancar ısıtım sırasında

zengin aroma profili geliştirdiği belirlenmiştir. Lignin ve karotenoidlerin parçalanmasıyla oluşan fenolik ve norisoprenoid türevlerinin de pancar aromasına katkı sağladığı ortaya konmuştur. Bu bulgular, pancarda ısıl işlemle gelişen kompleks aroma oluşumlarını açıklaması bakımından literatüre önemli katkılar sunmaktadır.

Park, Starowicz, Kłbukowska ve Sawicki (2024), askorbik asitle (AA) muamele edilmiş kırmızı pancarın tat ve uçucu bileşik profillerini belirlemişlerdir. Tat analizi elektronik dil, aroma-aktif bileşikler ise elektronik burun ve gaz kromatografisi-ktle spektrometrisi/olfaktometri (GC-MS/O) yöntemleriyle incelenmiştir. Elektronik dil analizi, %1 AA ile muamele edilen pancar örneklerinde umami ve ekşilik değerlerinin arttığını, tuzluluk ve acılığın ise azaldığını göstermiştir. Elektronik burun analizinde 37 uçucu bileşik tespit edilmiş, topraksı kokunun ana bileşiği olan geosminin %1 AA ile muamele edilen örneklerde nispeten daha düşük pik alanlarına sahip olduğu belirlenmiştir. Çok değişkenli analiz sonuçları, %1 AA ilavesinin tat profilleri ve uçucu bileşikler üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. GC-MS/O analizinde 32 uçucu bileşik saptanmış, bu sonuçlar elektronik burun verileriyle tutarlılık göstermiştir. GC-O analizi, 1-hekzanol, geosmin, hekzanal, nonanal ve 2-etoksi-3-(1-metilpropil)-pirazin olmak üzere beř aroma aktif bileşiğin varlığını bildirmişlerdir. Çalışma, %1 AA kullanımının pancardaki geosmin miktarını azaltma potansiyeline sahip olduğunu ve bu yöntemin farklı uygulamalar için temel oluşturabileceğini ne sürmektedir.

Bach, Mikkelsen, Kidmose ve Edelenbos (2015), farklı şekil ve renklerdeki kırmızı pancar çeşitlerinin duyuasal özelliklerini, şeker ve kuru madde içeriğini değerlendirerek, çiğ, haşlanmış ve tavada kızartılmış örnekler arasındaki farklılıkları araştırmıştır. Duyusal değerlendirmeler, çiğ kırmızı pancar eşitleri (Taunus, Rocket ve Pablo ile pembe-beyaz izgili Chioggia ve sarı Burpee's Golden) arasında belirgin farklar bulunduğunu ortaya çıkmıştır. Ancak duyuasal değerlendirmedeki bu ayırım, haşlama ve tavada kızartma sonrasında azalmıştır. Çiğ pancarın beğerirliği, pancar aroması, gevreklik ve sulu olma gibi özellikler için yüksek duyuasal puanlarla, acılık için ise düşük puanlarla ilişkilendirilmiştir. Haşlanmış pancarın duyuasal değerlendirilmesinde ise pancar ve topraksı aromalar ne çıkmıştır. Tavada kızartılmış pancar ise pancar aroması, renk yoğunluğu ve gevreklikte yüksek duyuasal puanlarla ilişkilendirilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma, ham madde kalitesinin mutfakta sıkça kullanılan pişirme yöntemleriyle önemli ölçüde değişebileceğini ortaya

koymuştur. Ayrıca sonuçlar, tüketicilerin pancarı mutfakta nasıl kullanacaklarına dair rehberlik etmesi ve bu sayede tüketimin artması için yol gösterici olma niteliği taşımaktadır.

Lu, Edwards, Fellman, Mattinson ve Navazio (2003), kırmızı pancarda geosmin bileşiğinin belirlenmesi için tepe boşluğu katı faz mikro ekstraksiyonunu (HS-SPME) kullanmışlardır. Pancar suyu uçucuları, polidimetilsiloksan/divinilbenzen fiberi ile tepe boşluğunda 2 saat süreyle ekstrakte edilip, fiberden termal olarak desorbe edilmiş ve gaz kromatografisiyle (GC) analiz edilmiştir. HS-SPME yöntemi, yüksek relatif geri kazanım (99,2%), düşük relatif standart sapma (7,48%) ve makul tespit limitine (1 µg/kg pancar kökü dokusu) sahip olmasıyla geosmin analizi için uygun bulunmuştur. Çalışmada, dört farklı pancar çeşinde geosmin konsantrasyonları $9,69 \pm 0,22$ ile $26,7 \pm 0,27$ µg/kg arasında çeşide göre farklılıklar göstermiştir.

Parliment, Kolor ve Maing (1977) yaptıkları çalışmada, pişirilmiş pancarlardan (*Beta vulgaris*) distilasyon-ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen uçucu bileşenleri ekstrakte etmi ve gaz kromatografisi ile bu bileşenleri analiz etmişlerdir. Çalışma sonucunda, 17 farklı bileşen tanımlanmış, bunlar arasında 4-metilpiridin ve piridin gibi bileşenlerin yüksek konsantrasyona sahip olduğu, toplam uçucuların yaklaşık %60'ını oluşturduğu bulunmuştur. Diğer önemli bileşenler arasında dimetil sülfür, izovaleraldehit, etanol, izopentanol ve furfural yer almaktadır. Ayrıca, geosmin ve 2-metoksi-3-sekbutilpirazin gibi bileşikler tespit edilmiş ve bu bileşiklerin düşük tat eşiklerinin, pancarın genel tadında önemli bir rol oynadığını vurgulamışlardır.

Kebede, Grauwet, Mutsokoti, Palmers, Vervoort, Hendrickx ve Van Loey (2014) yaptıkları çalışmada, gıda sanayisinde önemli yeri olan dört sebzenin (soğan, patates, kabak ve kırmızı pancar) uçucu bileşenleri üzerine yüksek basınç ve yüksek sıcaklık (HPHT) ile yapılan termal işleme tekniğinin etkilerini karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Çalışma, çeşitli kimyasal reaksiyonların; farklı botanik ailelerden, yenilebilir bitki kısımlarından ve renk gruplarından seçilen bu sebzeler üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamıştır. Sebzeler arasındaki kimyasal bileşim farklarına rağmen, bazı benzer reaksiyon eğilimleri dikkat çekmiştir. İlk olarak, tüm sebzelerde, Strecker bozunma ürünlerinin (örneğin 2- ve 3-metilbutanal) HPHT sterilizasyonunda, termal sterilizasyona kıyasla daha yüksek seviyelerde tespit edildiği bildirilmiştir. İkinci olarak, HPHT sterilizasyonunun, oksidatif bozunma reaksiyonlarını arttırdığı, örneğin kabakta, kırmızı pancarda ve soğanda doymamış yağ asitleri ve kabakta

karotenoidlerin oluşumuna katkıda bulunduğu tespit edilmiştir. Çalışma ayrıca, farklı kimyasal reaksiyonlar sonucu açığa çıkan belirteç niteliğindeki uçucuları belirlemek için çok değişkenli parmak izi yaklaşımının hızlı bir tarama aracı olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Pihlsgård, Leufvén ve Lingnert (2001), sıvı pancar şekerinin üretimi sırasında, bir pancar şeker fabrikası ve rafinerisinden üç farklı bölgeden alınan örnekleri aroma bileşenleri açısından incelemiştir. Örneklerin aroma bileşikleri, sıvı-sıvı ekstraksiyon ve tepe boşluğu yöntemleri kullanılarak ekstrakte edilmiş, ardından gaz kromatografisi-olfaktometri (GC-O) ve GC-kütle spektrometrisi (GC-MS) ile analiz edilmiştir. Elde edilen aromatik ekstraktlardaki bileşenler kalitatif ve kantitatif olarak incelenmiş, ham şeker pancarı örneğinde toprak ve ekşimsi aromalar baskın olarak bulunmuş, karamel aromalarının ise ısıtılmanın devamıyla baskın hale geldiği gözlemlenmiştir. Meyvemsi ve çiçeksi aromalar için örnekler arasında benzerlikler tespit edilse de, özellikle bazı spesifik aromaların yalnızca ham örnekte bulunurken, bazılarının ise ısıtılma sonucunda baskınlaştığını bildirmişlerdir.

Barańska, Jedlińska, Wołosiak, Witrowa-Rajchert ve Derewiaka (2024), yaptıkları çalışmada, bulanık pancar suyu örneklerinden kurutularak elde edilen pancar tozlarının kalitesini değerlendirmişlerdir. Tozlar, düşük sıcaklıklarda kurutma sağlayan ve buna bağlı olarak taşıyıcı madde kullanımının az olduğu dehidrasyonlu sprey kurutma yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Çalışmada, fenolik içerik, betasiyanin içeriği, antioksidan aktivite ve üretilen tozların aromatik bileşenlerinin içerikleri ve türleri incelenmiştir. Düşük sıcaklıkta (90 °C) taşıyıcı maddesiz elde edilen tozlar, en yüksek aromatik uçucu bileşen oranına, en yüksek betalain ve polifenol içeriğine ve en yüksek antioksidan aktiviteye sahip olarak karakterize edilmiştir. Taşıyıcı maddelerin (doğal taşıyıcı türü olarak posa eklenmesi de dahil) eklenmesi, pancar suyundaki aktif bileşenlerin korunmasını sağlamamıştır. Taşıyıcı eklenen tozların, taşıyıcı eklenmeyenlere kıyasla daha düşük antioksidan aktiviteye, daha düşük betalain ve polifenol içeriğine ve daha az aromatik uçucu bileşene sahip olduğu bulunmuştur.

Kujala, Vienola, Klika, Lopenen ve Pihlaja (2000), kırmızı pancar (*Beta vulgaris*) kökünde toplam fenolik madde içeriğini ve betasiyanin profilini belirlemiştir. Ayrıca çalışmada, soğuk depolamanın (5°C, 0-196 gün) toplam fenolikler, temel betasiyaninler (betanin ve izobetanin) ve ferulik asit esterinin (β -d-fruktofuranosil- α -d-(6-O-(E)-feruloyl)glukopiranozid) içeriği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kök ve toplam fenolik miktarın en fazla bulunduğu

kabuk kısmında yapılan çalışmada, toplam fenolik içeriği, Folin–Ciocalteu yöntemi ile belirlenmiş ve galik asit eşdeğeri (GAE) olarak ifade edilmiştir. Fenolik bileşikler HPLC–ESI–MS ve NMR teknikleri ile tanımlanmış ve miktarları belirlenmiştir. Toplam fenolik içeriğin en yüksek kabuk, sonrasında taç ve et kısmında bulunduğu bildirilmiştir. Soğuk depolamanın (5°C, 0-196 gün) kabuk kısmındaki bileşikler üzerindeki etkisi incelendiğinde, toplam fenolik içeriği ve fenolik bileşikler özelinde önemli farklılıklar gözlemlenmiştir. Önceki çalışmalarında kırmızı pancar kabuğunda bulunan betasiyaninlere ek olarak, betanidin ve feruloilamarantin bileşiklerinin de tanımlamaları yapılmıştır. Her çeşitte, betanin ve izobetanin içeriklerinin kabukta, etli dokuya kıyasla daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Ancak, vulgaksantinlerin dağılımında benzer bir eğilim gözlemlemişlerdir. İncelenen üç fenolik bileşiğin pancar kökünün tüm kısımlarında bulunduğu, ancak genellikle etli dokuda en düşük miktarda yer aldığını belirtmişlerdir. Ayrıca, kabuğun %80 sulu metanol ile fraksiyonlanmış ekstraktının analizinde iki fenolik amid (N-trans-feruloiltiramin ve N-trans-feruloilhomovanillilamin) ile dört flavonoid (betagarin, betavulgarin, kokliopilin A ve dihidroisorhamnetin) tespit etmişlerdir.

Kujala, Lojonen ve Pihlaja (2001), kırmızı pancar (*Beta vulgaris*) kabuğundan betalain ve fenolik bileşiklerin ekstraksiyonunu, iki farklı ekstraksiyon yöntemi ve çözücü kullanılarak karşılaştırılmışlardır. Ekstraktlardaki toplam fenolik içerik, Folin–Ciocalteu yöntemi kullanılarak belirlenmiş ve galik asit eşdeğerleri (GAE) cinsinden ifade edilmiştir. Sulu metanol (%80) ile ekstrakte ettikleri pancar kabuğu fenoliklerini, HPLC–diyot dizi dedektörü (HPLC–DAD) ve HPLC–elektrosprey iyonizasyon–kütle spektrometrisi (HPLC–ESI–MS) teknikleri kullanılarak karakterize etmişlerdir. Ekstraksiyon yöntemlerinin ve çözücü seçiminin, ekstrakt içerisindeki her bir fenolik bileşiğin içeriğini önemli ölçüde değiştirdiğini belirtmişlerdir. Pancar kabuğu ekstraktında tespit edilen betalainler arasında vulgaksantin I, vulgaksantin II, indikaksantin, betanin, prebetanin, izobetanin ve neobetanin bulunduğunu gözlemişlerdir. Ayrıca, siklodopa glikozit, N-formilsiklodopa glikozit, dihidroksiindolkarboksilik asit glikoziti, betalamik asit, L-triptofan, p-kumarinik asit, ferulik asit ve bir de tanımlanamayan flavonoid tespit etmişlerdir.

Calvo, Perullini ve Santagapita (2018) yapmış oldukları çalışmada, endüstriyel pancar atıklarından (sap ve yaprak) elde edilen antioksidan bileşiklerin (betasiyanin ve polifenoller) geri kazanımını ve bu bileşiklerin şeker içeren Ca(II)-aljinat kapsülleri içerisinde enkapsülasyonunu incelemişlerdir. Çalışmada, su ekstraktının anlamlı miktarda betasiyanin ve

polifenol içerdği, formülasyona bağlı olarak bu bileşiklerin %15–60 oranında Ca(II)-aljinat kapsüllerinde tutulduğu ve antioksidan aktivitenin de korunduğu belirtilmiştir. Şeker ilavesi ve pancar ekstraktlarının varlığı, aljinat ağ yapısında moleküler düzeyden (Ca(II)-aljinat dimerlerinin düzenlenmesi) supramoleküler düzeye (hidrojel mikroyapısını oluşturan çubukların bağlantıları) kadar yapısal değişimlere neden olmuştur. Araştırmacılar, doğal ekstraktların aljinat enkapsülasyon sistemlerinde sıklıkla göz ardı edilmesine rağmen, ağ yapısında önemli değişiklikler yaratarak endüstriyel ve çevresel uygulamalarda enkapsülasyon performansını etkileyebileceğini ortaya koymuşlardır.

Wang, Adekolurejo, Wang, McDermott, Do, Marshall ve Boesch (2024), betalainlerin biyoyararlanımı, vücutta dönüşümü ve atılımı konusunda literatürdeki bilgi eksikliğini gidermeyi amaçlamışlardır. İnsanlar üzerinde yapılan çalışmada, pancar tüketimi sonrasında betalainlerin çok düşük oranda emildiği (böbrek yoluyla geri kazanım %0,13) ve kısa sürede idrar ve dışkı yoluyla vücuttan atıldığı (renal eliminasyon hız sabiti 0,16/saat) belirlenmiştir. Gastrointestinal (GI) geçiş sırasında betalainlerin büyük ölçüde parçalandığı belirlenmişler ve bu süreçte dekarboksilasyon, deglikozilasyon ve dehidrojenasyon gibi metabolik değişimleri gözlemişlerdir. Betasiyanin metabolit seviyelerinin idrar ve dışkı örneklerinde pozitif korelasyon göstermesinin ($p < 0,05$), pigment metabolizmasının bağırsaklarda biyoyararlanımı üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ortaya koyduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, çalışma sonucunda, kolonik fermentasyon sonrası pigment bileşimi ve bireyler arası değişkenliğinin, sistemik metabolizmaya kıyasla önemli ölçüde farklılık gösterdiği belirlenmişlerdir. Bu durumu, bağırsak mikrobiyotasının çeşitliliğine bağlı olarak bağırsak ortamının giderek daha karmaşık hale gelmesine bağlamışlardır. Sonuç olarak, bağırsaklardan emilimin ve sistemik betalain metabolizmasının, bağırsaktaki biyotransformasyon süreçleri ile yakından ilişkili olduğunu ve bu süreçte bağırsak mikrobiyotasının kritik bir faktör olarak rol oynadığını gözlemişlerdir.

Georgiev ve diğerleri (2010), kırmızı pancar *Beta vulgaris* cv. Detroit Dark Red bitkilerinden ve tüylü kök kültürlerinden elde edilen betalain ekstraktlarının antioksidan aktivite ve fenolik içeriklerini incelemişlerdir. Çalışmada, tüylü köklerden elde edilen betalain ekstraktlarının, olgun pancarlardan elde edilen ekstraktlara göre daha yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğu bulunmuştur. DPPH radikali temizleme kapasitesinde altı kat artış (90,7% inhibitör, $EC_{50} = 0,11$ mg vs 14,2% inhibitör, $EC_{50} = 0,70$ mg) ve oksijen radikali süpürme kapasitesinde 3,28 kat artış (4100 μ M TE/g kuru ekstrakt vs 1250 μ M TE/g kuru ekstrakt)

belirlenmiştir. Yüksek antioksidan aktivite, betalainlerle sinerjik etkiler yapabilecek toplam fenolik bileşiklerin (20 kat artış) konsantrasyonlarındaki artışla ilişkilendirilmiştir. Her iki ekstrakt türünde de 4-hidroksi benzoik asit, kafeik asit, kateşin hidrat ve epikateşin tespit edilmiş, ancak farklı konsantrasyonlarda bulunmuştur. Rutin, yalnızca tüylü köklerden elde edilen betalain ekstraktlarında yüksek konsantrasyonda (1096 mg/g kuru ekstrakt) bulunurken, klorojenik asit yalnızca olgun bitkilerden elde edilen ekstraktlarda ölçülebilir konsantrasyonlarda tespit edilmiştir.

Sawicki, Bączek ve Wiczowski (2016), 13 farklı kırmızı pancar (*Beta vulgaris*) çeşidinin ve kök kısımlarının betalain profilini HPLC–TOF-MS/MS yöntemiyle belirlemiş, dört farklı *in vitro* test ile antioksidan kapasitesini değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar, kırmızı pancar dokularında 18 betasiyanin ve 12 betaksantin olmak üzere toplamda 30 betalain bileşiği tespit etmişlerdir. Tanımlanan betalainler arasında betanin ve izobetanin (betasiyaninler) ile vulgaksantin I (betaksantin)’in baskın bileşenler olduğunu belirlemişlerdir. Betalain içeriğinin, çeşitler arasında 10,26–17,15 mg/g kuru madde (dm), kök kısımları arasında ise 7,20–17,24 mg/g dm aralığında değişim gösterdiğini ve bu farklılığın istatistiksel olarak anlamlı bulunduğunu bildirmişlerdir ($p<0,05$). Kök kısımları arasında, kabuğun en yüksek betalain konsantrasyonuna sahip olduğunu gözlemişlerdir. Kırmızı pancar ekstraktlarının önemli ölçüde serbest radikalleri temizleme kapasitesi gösterdiğini ve çeşitler ile kök kısımları arasında antioksidan potansiyel açısından anlamlı farklılıklar olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca, kırmızı pancarın antioksidan kapasitesinin betalain içeriği ile pozitif ve anlamlı bir korelasyon gösterdiğini tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, kırmızı pancar çeşitlerinin kendine özgü betalain profiline ve belirli bir antioksidan kapasitesine sahip olduğunu; bu özelliklerin aynı zamanda kök kısmına bağlı olarak değişiklik gösterdiğini vurgulamışlardır.

Platosz, Sawicki ve Wiczowski (2020), kırmızı pancar ürünlerinde fenolik asitler ve flavonoidlerin profillerini ve bu bileşiklerin insan vücudundaki değişimini, uzun süre boyunca fermente pancar suyu tüketimi sonrasında incelemişlerdir. Fenolik asitler ve flavonoidler HPLC-MS/MS ile analiz edilmiştir. Yapılan analiz, pancar ve ürünlerinin fenolik asitler ve flavonoidler açısından önemli kaynaklar olduğunu ve yirmi bileşen arasında en çok izoferulik asit, protokateşik asit, epikateşin ve apigeninin öne çıktığını göstermiştir. Ancak, analiz edilen bileşiklerin çoğu taze malzeme içinde bağlı formda bulunmuştur. Sonuçlar, fermantasyon sürecinin serbest fenolik asitlerin içeriğini artırdığını ve konjugat fenolik asitlerin içeriğini

azalttığını ortaya koymuştur. Fenolik asitlerin aksine, aynı süreç serbest flavonoidlerin içeriğini azaltmış ve konjugat flavonoidlerin içeriğini artırmıştır. Ayrıca, 14 günlük spontan fermentasyon süreci, fenoliklerin (fenolik asitler ve flavonoidler) toplam içeriğinde önemli bir azalma (% 45,18) ile sonuçlanmıştır. Bununla birlikte, 42 gün boyunca düzenli olarak fermente pancar suyu (200 mL / 60 kg vücut ağırlığı) tüketiminin, gönüllülerin vücut sıvılarındaki fenolik asitler ve flavonoid konsantrasyonları üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir.

Alwazeer, Elnasanelkasim, Çiçek, Engin, Çiğdem ve Karaoğul (2023), bitkisel ürünlerden fitokimyasalların ekstraksiyonu için kullanılan farklı yöntemleri incelemişlerdir. Çalışmada, hidrojen (H₂) gazının su, etanol ve metanol gibi çözücülere eklenmesinin flavonoidler (TFC), fenolikler (TPC), antosiyaninler (TAC) ve antioksidanlar (DPPH ve ABTS) üzerindeki etkisi ve kırmızı pancardan elde edilen ekstraksiyon verimi değerlendirilmiştir. En yüksek ekstraksiyon verimi, H₂ zengin metanol (HRM) kullanılarak elde edilmiştir (%24,32). H₂'nin su, etanol ve metanole eklenmesi, sırasıyla TPC'de %77,34, %39,02 ve %89,07, TFC'de %43,30, %50,5 ve %88,87, TAC'de ise %92,62, %199,5 ve %257,41'lik önemli artışlara yol açmıştır. DPPH temizleme aktivitesi sırasıyla %6,49, %7,05 ve %12,15, ABTS temizleme aktivitesi ise %3,93, %9,82 ve %15,05 artmıştır. Farklı çözücülerle yapılan fenolik bileşiklerin ekstraksiyonu, her bileşik için farklı sonuçlar göstermiştir ve HPLC analizi, bazı fenolik bileşiklerin çözügene H₂ eklenmesi ile daha yüksek miktarlarda ekstrakte edilebildiğini ortaya koymuştur. H₂ gazının eklenmesi yöntemi, fitokimyasalların ekstraksiyonunu artırmak için çevre dostu bir yöntem olarak uygun ve maliyet açısından daha uygun bir seçenek olarak önerilmektedir.

Ravichandran, Ahmed, Knorr ve Smetanska (2012), farklı işleme yöntemlerinin (mikrodalga, vakum, haşlama, kavurma ve çimlenme) kırmızı pancarın fenolik asit içeriği ve antioksidan aktivitesi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada, serbest radikal süpürme aktiviteleri, DPPH ve ABTS testleriyle ölçülmüştür. Kırmızı pancar özlerinden elde edilen fenolik asitler arasında en baskın bileşik 4-hidroksibenzoik asit olup, onu sırasıyla sinamik asit, vanilik asit, klorojenik asit, trans-ferulik asit ve kafeik asit takip etmektedir. Fenolik asit konsantrasyonları işleme yöntemlerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Çalışma, vakumla yapılan işlemler, 5 dakika kavurma ve çimlenme ile fenolik asit konsantrasyonlarının arttığını göstermiştir. Farklı fenolik asitlerin vakum işleminde daha karalı olduğu gözlenmiştir.

Antioksidan aktivite, kontrol grubuna kıyasla yapılan farklı işlemlerle 1,5 ila 3 kat artmış, vakum işleminde DPPH testi ile %13 ve ABTS testi ile %11'lik bir artış gözlenmiştir.

Guiné, Gonçalves, Lerat, El Idrissi, Rodrigo, Correia ve Gonçalves (2018), kırmızı pancardan fenolik bileşiklerin ve antioksidan aktiviteye sahip bileşiklerin en uygun ekstraksiyon parametrelerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Çalışmada, öğütülmüş kırmızı pancar ile farklı sulu çözücüler (etanol %50 ve aseton %60), farklı sürelerde (15 ve 60 dakika) ve farklı çözgen hacimlerinde (25 ve 50 mL) ekstraksiyonlar yapılmıştır. Üç ardışık ekstraksiyon adımı uygulanmış ve her bir ekstrakt için toplam fenolik bileşikler (TPC), antosiyaninler (ANT) ve antioksidan aktivite (AOA) spektrofotometrik yöntemlerle ölçülmüştür. Sonuçlar, aynı örnek üzerinde üç ardışık ekstraksiyon adımının kullanılması gerektiğini ve 15 dakikalık bir ekstraksiyon süresinin yeterli olduğunu göstermiştir. Ayrıca, 50 mL çözücünün 25 mL'ye göre tercih edilebilir olduğu ve en iyi çözeltinin %60 asetone olduğu gözlemlenmiştir. Taze pancardaki TPC, 1,45 ile 2,7 mg GAE/g, ANT 0,23 ile 0,77 mg Mv3G/g, AOA ise 13,9 ile 19,9 µmol TE/g arasında değişmiştir. Çalışmada, üç ardışık 15 dakikalık ekstraksiyon adımının, kırmızı pancardan fenolik bileşiklerin ve antioksidan aktivitesinin geri kazanımını artırmak için uygun bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

Desseva, Stoyanova, Petkova ve Mihaylova (2020), kırmızı pancar suyunun fitokimyasallarının biyoyararlanımını *in vitro* bir yaklaşım kullanarak incelemişlerdir. Araştırmada, taze hazırlanmış kırmızı pancar suyunun sindirim simülasyonu öncesi ve sonrasındaki toplam fenolik madde miktarı, flavonoid, betasiyanin ve betaksantin içerikleri, fenolik asit profili ve antioksidan aktivite değişimleri izlenmiştir. Ayrıca, gıda kalitesini değerlendiren okzalik asit miktarı, şekerler, toplam titrasyon asiditesi ve asetilkolinesteraz inhibitör aktivitesi analizleri gerçekleştirilmiştir. Sindirim sonrasında toplam fenolik bileşiklerin ve flavonoidlerin içeriklerinde anlamlı bir kayıp gözlemlenmiş ve sırasıyla %27,07 ve %36,4 oranında geri kazanım sağlanmıştır. Aynı negatif eğilim, betalainlerin biyoyararlanımı için de gözlemlenmiştir. Simüle sindirim sonrası betaksantinlerin %27'si bulunurken, betasiyaninlerin neredeyse tamamı (%96,07) kaybolmuştur. Kırmızı pancar suyu fenolik asitlerinin HPLC analizi, klorojenik, kafeik, *p*-kumarik ve sinapik asitlerin varlığını ortaya koymuştur. Sindirim sonrası, klorojenik asidin konsantrasyonu 2,5 kat artarken, kafeik ve *p*-kumarik asitler artık tespit edilememiştir. Sindirilmiş suyun antioksidan aktivitesine ilişkin sonuçlar çelişkili olmuştur. DPPH testi ile antioksidan aktivitenin tamamen geri kazanıldığı gözlemlenirken, ABTS testi ile hiç aktivite tespit edilmemiştir. Bakır iyonu

indirgeme kapasitesi (CUPRAC) ve ferrik indirgeyici antioksidan gücü (FRAP) testlerine göre ise, başlangıçtaki aktivitenin yaklaşık yarısı korunmuştur. Kayıplara rağmen, kırmızı pancar biyolojik olarak aktif bileşiklerin değerli bir kaynağı olmaya devam etmektedir ve bunların sindirim sırasında dönüşümünü daha iyi anlamak için ek çalışmalar gerekmektedir.

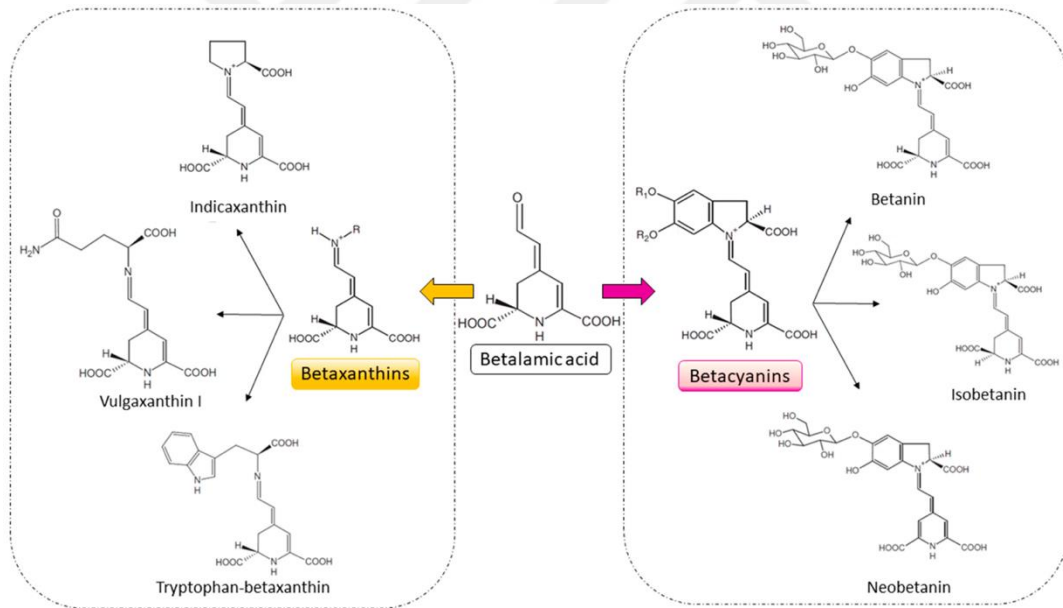
Ben Haj Koubaier, Snoussi, Essaidi, Chaabouni, Thonart ve Bouzouita (2014), Tunus kırmızı pancarının (*Beta vulgaris* L. Conditiva) farklı kısımlarının (kökler ve saplar) betalain içeriğini, fenolik bileşimlerini ve antioksidan aktivitelerini karşılaştırmışlardır. Çalışma, köklerin en yüksek betalain içeriğine sahip olduğunu ve ekstrakt başına 53 ± 4 mg betanin eşdeğeri ve 46 ± 3 mg vulgaksantin I eşdeğeri içerdiğini göstermiştir. Saplar ise köklerden daha yüksek toplam fenolik konsantrasyona sahip bulunmuş ve bu değerler $2,0 \pm 0,4$ ile $14,6 \pm 0,5$ mg galik asit eşdeğeri arasında değişmiştir. Kimyasal bileşim, LC-MS kullanılarak analiz edilmiştir. Kökler ve saplarda betaleinlerden vulgaksantin I, betanin ve izobetaninin ve fenolik bileşiklerden galik asit, ferulik asit, klorojenik asit, kafeik asit, vanilik asit, siringsik asit, ellagik asit, mirisetin, kuersetin, rutin ve kampferolün bulunduğu tespit edilmiştir. Köklerden elde edilen betalain ekstraktının, saplardan elde edilen ekstraktan daha yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğu bildirilmiştir.

Yapılan bir başka çalışmada Guldiken ve diğerleri (2016), çeşitli teknik işlemler sonucunda, kırmızı pancarın *in vitro* gastrointestinal sindirimi sırasında biyoaktif özelliklerinin değiştiği gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmada, kırmızı pancar reçelinin *in vitro* sindirimi sonrasında da, toplam fenolik, flavonoid ve antioksidan kapasitesinin arttığı gözlenmiştir. Bu biyoaktif bileşenlerin, oksidatif yollarla parçalanabilen bileşikler olduğu, oksijen varlığında enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarına katıldığı ve melanoidinlere dönüştüğü vurgulanmıştır. Betalainlerin oksidatif degradasyonu, ışığın etkisiyle hızlanmakta olup, oksidasyon hızı ortamın pH seviyesine bağlı olarak değişmektedir. Özellikle pH 4-5 aralığında oksidasyon en düşük seviyede gerçekleşirken, ortamda askorbik asit ve izoaskorbik asit gibi antioksidanların bulunması, betalainlerin stabilitesini artırmaktadır. Buna karşılık, fenolik antioksidanlar ve kükürt içeren bileşiklerin betalainlerin stabilitesi üzerinde olumlu bir etki göstermediği bildirilmiştir.

Martinez, Melo, Pinto, Mendes-Pierotti, Vignoli, Verri ve Casagrande (2024), betalainlerin stabilitesi üzerine yaptıkları çalışmada, betalamik asit yapısının çevresel etmenlere karşı duyarlılığını vurgulayarak, bu degradasyon süreçlerinin biyolojik etkinlikleri de

etkileyebileceğini belirtmişlerdir. Betalain stabilitesini etkileyen başlıca faktörler arasında pH, ışık, sıcaklık ve oksijen yer aldığını, özellikle betalamik asit degradasyonunun, pigment yapılarının bozulmasına ve renk kayıplarına neden olduğunu bildirmişlerdir (Şekil 2.1.).

Wybraniec, Starzak, Skopińska, Szaleniec, Słupski, Mitka, Kowalski ve Michałowski (2013) tarafından yapılan bir çalışmada, bazı amino asitlerin ve metal iyonlarının (Cu^{++} ve Fe^{+++}) betanin stabilitesini azalttığı tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, betalainlerin renginin kaybolmasına neden olan faktörlerden biri de belirli enzimlerin aktivitesidir. Özellikle pancarlarda doğal olarak bulunan peroksidaz enzimi, hidrojen peroksit varlığında betasiyanin ve betaksantinleri ağartmaktadır. Bu enzimatik ağarma, özellikle asidik ortamda hızlanmakta olup, pH 3-4 arasında maksimum seviyeye ulaşmaktadır. Bu nedenle, kırmızı pancarın turşu gibi işlenmiş ürünlerde kullanımı öncesinde uygun şekilde haşlanarak betanin kaybının en aza indirilmesi sağlanmalıdır.



Şekil 2.1. Betalamik asitin parçalanması (Martinez ve diğerleri, 2024).

Kamel, Alqurashi, Alshebly, Saleh, Alnemr, H. F. Ali, S. A. Ali, Asiri, Ibrahim ve Alqahtani (2024), kırmızı pancar dilimlerinin saklama stabilitesi ve fizikokimyasal özellikleri üzerine farklı kurutma yöntemleri ve Arap zambaki kaplama uygulamasının etkilerini değerlendirmiştir. Özellikle dondurarak kurutulmuş ve Arap zambaki ile kaplanmış örneklerde betalain ve antioksidan içeriğinin daha yüksek seviyelerde korunduğu, LDL oksidasyonunun azaltıldığı ve duyuşal kabul skorlarının yükseldiği raporlanmıştır.

L3pez-Sol3rzano, Muro, Alvarado Perez, Guadarrama-Lezama, Guti3rrez-Cortez ve Urrieta (2025), kırmızı ve sarı pancar kabukları ile dikenli incirden elde edilen betalain 3z3tlerinin pH ve sıcaklık stabilitelerini incelemiş ve bu 3z3tlerin lor peyniri 3zerine uygulandığında 10 g3nl3k depolama s3resince renk ve betalain stabilitesini koruyabildiğini raporlamışlardır. Çalışmada kırmızı pancar kabuğu ekstraktında betasiyanin içeriği y3ksek bulunmuşken, sarı pancarda betaksantin içeriğinin daha y3ksek olduğu tespit edilmiştir. Araştırma, betalainlerin gıda renklendirici ve fonksiyonel katkı maddesi olarak kullanım potansiyeline dikkat çekmiştir.



3. MATERİYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu çalışmada hammadde olarak kullanılan kırmızı pancar (*Beta vulgaris* spp.) Niğde ili Pınarcık köyünden (enlem: 38.135178° N, boylam: 34.676476°) 2023 yılının Ekim ayında yerel bir üreticiden temin edilmiştir (Şekil 3.1). Pancarlar bu iki ay içerisinde toplamda dört farklı zamanda 25'er kg olarak temin edilmiş, analizlere kadar serin bir yerde ve karanlıkta muhafaza edilmiştir. Pancar Kvass üretiminde, kırmızı pancarlar sap ve çöplerinden arındırılıp, kabukları soyulmuş, yıkanarak kullanılmıştır. Fermente pancar suyu kvass kurulumu doğrudan taze kırmızı pancarlar kullanılarak yapılmış, ayrıca temin edilen örneklerin bir kısmı analizlerde problem yaşanması riskine karşın taze olarak buzlukta -18°C'de muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan kırmızı pancarlar

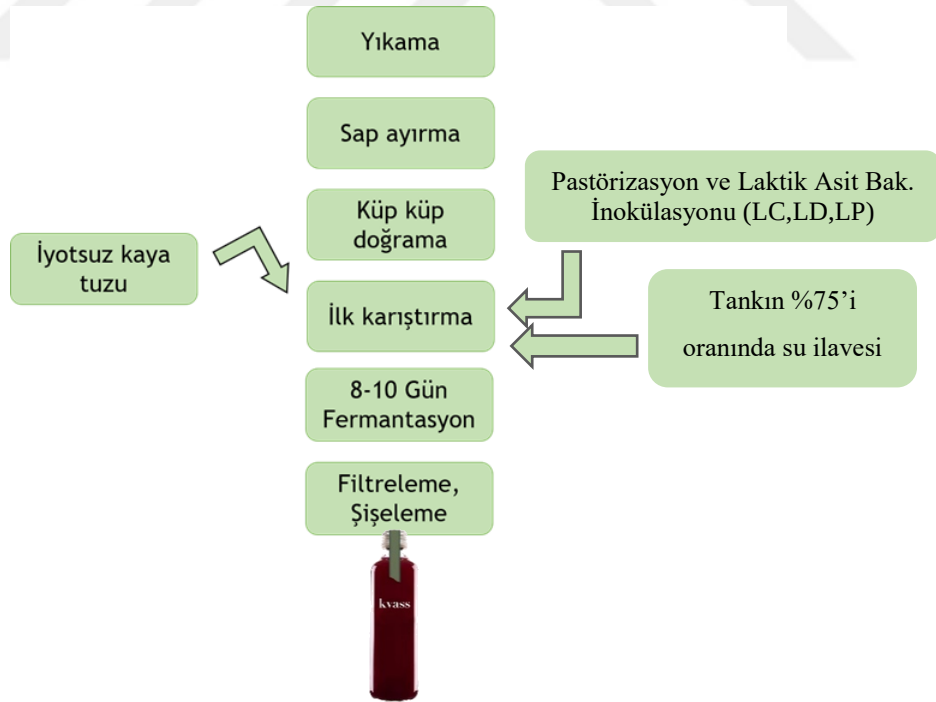
Tablo 3.1. Taksonomik Sınıflandırma

Âlem (Regnum): Plantae
Bölüm (Divisio): Tracheophyta
Sınıf (Classis): Magnoliopsida
Takım (Ordo): Caryophyllales
Familiya (Familia): Amaranthaceae
Alt familiya (Subfamilia): Betoideae
Cins (Genus): <i>Beta</i>
Tür (Species): <i>Beta vulgaris</i> var. <i>Conditiva</i>

3.1.1. Laktik Asit Bakterileri Kullanılarak Pancar Kvass Üretimi

Üretim için kullanılan laktik asit bakterileri, besi ortamında her bir örnek için ayrı ayrı hazırlanmıştır. Kontrol örneği de dahil olmak üzere tüm denemelerin kurulduğu cam kavanozlar kvass kurulumu öncesinde otoklavda 121°C’de 30 dk sterilize edilmiştir.

Hazırlanan pancar kvass karışımları bakteriyel ekim yapılmadan 85°C’de 30 saniye boyunca pastörize edilerek ortamdaki hâlihazırda var olan mikrofloradan arındırılmıştır (Kırlangıç, Ilgaz ve Kadiroğlu, 2021). Üretim öncesinde *Lactobacillus casei* (ATCC 431), *Lactobacillus delbrueckii* (ATCC 9649) ve *Lactobacillus plantarum* (ATCC 14917) bakteri türleri MRS sıvı besiyerinde 30°C’de 18-24 saat inkübe edilerek aktifleştirilmiştir. Kültürler aktifleştikten sonra %40’lık gliserol çözeltisi içerisine aktararak stok çözeltiler oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan tüm laktik asit suşları ithal olarak temin edilmiştir (Labor Wiesby, Germany). Bu çalışmada üretilen pancar kvass örnekleri, 350 mL’lik steril cam kavanozlar içerisinde standart bir temel formülasyona göre hazırlanmıştır. Tüm örneklerde 80 gram doğranmış kırmızı pancar, 1 gram iyotsuz kaya tuzu ve 220 mL kaynatılıp soğutulmuş içme suyu kullanılmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Pancar kvass örneklerinin üretim şeması

Kontrollü fermantasyon dışındaki diğer örneklere *Lactobacillus casei* (LC), *L. delbrueckii* (LD) ve *L. plantarum* (LP) suşları MRS sıvı besiyerinde 30 °C’de 18-24 saat inkübe edilerek aktifleştirildikten sonra, %0,45 NaCl içeren steril su içerisinde 0,5 McFarland değerine (107 kob/mL) ayarlanarak %1 oranında pastörizasyon akabinde inoküle edilmiştir. Kontrol (K) örneğinde ise herhangi bir starter LAB suşu eklenmemiştir (Tablo 3.2).

Tablo 3.2. Pancar kvass örneklerinin içerikleri

Kod	İçerik
K Kontrol	80g kırmızı pancar, 1g iyotsuz kaya tuzu, 220 mL kaynatılmış soğutulmuş su
LC <i>Lactobacillus casei</i>	80g kırmızı pancar, 1g iyotsuz kaya tuzu, 220 mL kaynatılmış soğutulmuş su 0.5 McFarland değerinde %1 oranında <i>Lactobacillus casei</i>
LD <i>Lactobacillus delbrueckii</i>	80g kırmızı pancar, 1g iyotsuz kaya tuzu, 220 mL kaynatılmış soğutulmuş su 0.5 McFarland değerinde %1 oranında <i>Lactobacillus delbrueckii</i>
LP <i>Lactobacillus plantarum</i>	80g kırmızı pancar, 1g iyotsuz kaya tuzu, 220 mL kaynatılmış soğutulmuş su 0.5 McFarland değerinde %1 oranında <i>Lactobacillus plantarum</i>

Ön denemeler sonrasında belirlenen oranlar sabit kalacak şekilde, 50 litrelik tanklarda yapılan büyük ölçekli üretim ile ilgili görsel Şekil 3.3. deki gibidir.



Şekil 3.3. Pancar kvass örneklerinde büyük ölçekli denemelerinin kurulması

50 litrelik üretimde, 11,43 kg kırmızı pancar, 143 g kaya tuzu ve 31,43 L içme suyu kullanılmış, üç tanka yine %1 oranında suşlar ilave edilmiş, dördüncü tank spontan fermentasyona bırakılarak analizler için yeterli miktarda pancar kvass üretimi gerçekleştirilmiştir.

Fermentasyon süreci tüm örneklerde 48 saatte bir olacak şekilde pH ve asitlik kontrolü yapılarak sürdürülmüş, tüm örnekler 12 gün süren fermentasyon sonunda şişelenmiştir.

3.2. Metot

3.2.1. Fermentasyon takibi pH ve asitlik tayini analizleri

Fermentasyon süreci pH ölçümleri iki günde bir olarak kontrollü bir şekilde 12 gün boyunca sürmüştür. Pancar kvass örneklerinin pH değerleri dijital pH metre (Mettler-Toledo, İsviçre) kullanılarak ölçülmüştür. Titrasyon asitliğinin belirlenmesinde, 20 mL örnek alınarak 0,1 N NaOH çözeltisi ile pH 8,1 olana kadar titrasyon gerçekleştirilmiştir. Harcanan 0,1 N NaOH miktarı tespit edilerek, titrasyon asitliği g laktik asit/L cinsinden hesaplanmıştır (Sevindik, Güçlü, Ağırman, Selli, Kadiroğlu, Bordiga, Capanoglu ve Kelebek, 2022).

3.2.2. Suda çözünür katı madde analizi

Refraktometre (Atago PAL-3, Japonya) yardımıyla 20 °C'lik ortamda fermente olmayan pancar kvass suyunda (başlangıç) ve fermentasyon sonunda suda çözünür katı madde tayini yapılarak sonuçlar °Briks cinsinden ifade edilmiştir.

3.2.3. Kuru madde analizi

Pancar kvass örneklerinde kuru madde tayini (%), üç farklı laktik asit bakteri suşu ile gerçekleştirilen fermentasyon (LC, LD ve LP) ve spontan fermentasyon kontrol (K) örnekleri ele alınarak gerçekleştirilmiştir. Analiz aşamasında her örnekten 20'şer mL alınmış ve önceden tartılmış, darası alınmış, kurutma kaplarına aktarılmıştır. Örnekler, 105 °C sıcaklıkta (Memmert, Almanya) kurutma fırınında sabit ağırlığa ulaşmaya kadar (yaklaşık 5 saat) kurutulmuştur. Kurutma işlemi sonrasında örnekler desikatörde soğutularak sabit sıcaklığa geldiğinde tekrar tartılmıştır. Kuru madde oranı, yaş ağırlık ve kuru ağırlık farkı kullanılarak $[(\text{kuru ağırlık} / \text{yaş ağırlık}) \times 100]$ formülü ile hesaplanmıştır (Koc, Aksoy, Okur, Celikyurt, Korucu ve Ozduven (2017). Her örnek grubu için analizler üç tekerrür olacak şekilde yürütülmüş ve sonuçlar ortalama $\pm$ standart sapma olarak ifade edilmiştir.

3.2.4. Renk analizi

Fermente pancar suyu örneklerinin renk parametreleri Hunterlab ColorQuestXE- kolorimetre renk ölçer (USA) cihazı (Şekil 3.4) kullanılarak ölçülmüştür (Wibowo, Vervoort, Tomic, Santiago, Lemmens, Panozzo, Grauwet, Hendrickx ve Van Loey, 2015). Örneklerin renk ölçümleri L^* , a^* ve b^* CIE değerleri yardımıyla kroma ve hue açısı değerleri de hesaplanarak renk parametreleri belirlenmiştir. L^* , 0 ile 100 arasında değişen değerler aydınlık değerini gösterirken (0=siyah 100=beyaz), a^* kırmızı ve yeşilliği (+ a^* =kırmızı, - a^* =yeşil), b^* ise sarı ve maviliği (+ b^* =sarı, - b^* =mavi) göstermektedir. Pancar kvass örneklerinin renk ölçümleri oda sıcaklığında, üç tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4. Renk ölçüm cihazı

3.2.5. Toplam protein analizi

Farklı laktik asit bakterisi suşları ve spontan fermentasyon ile elde edilen dört adet pancar kvass örneğinin protein içeriği, Kjeldahl yöntemi (AOAC 920.123, 2005) ile toplam azot miktarından hesaplanmıştır. Analizlerde BEHR marka INKJEL 625M model cihaz kullanılmıştır. Her örnekten $1,00 \pm 0,01$ g homojenize sıvı örnek alınmıştır. Örnekler, potasyum sülfat ve bakır sülfat katalizörü eşliğinde konsantre sülfürik asit ile parçalanarak organik azot, amonyum sülfata dönüştürülmüştür. Ardından ortama sodyum hidroksit eklenerek bazik ortam sağlanmış ve oluşan amonyak, borik asit çözeltisinde absorbe edilmiştir. Tüketilen standart sülfürik asit çözeltisi ile yapılan titrasyon sonucunda azot

miktarı belirlenmiş, elde edilen toplam azot içeriği 6,25 dönüşüm katsayısı ile çarpılarak gram protein / 100 g örnek (% protein) olarak ifade edilmiştir.

3.3. Mikrobiyolojik analizler

Fermente pancar sularında mikrobiyolojik analizler için aseptik koşullar altında örneklerde aşağıda verilen analizler gerçekleştirilmiştir.

3.3.1. Toplam aerobik mezofilik bakteri (TAMB) sayılarının belirlenmesi

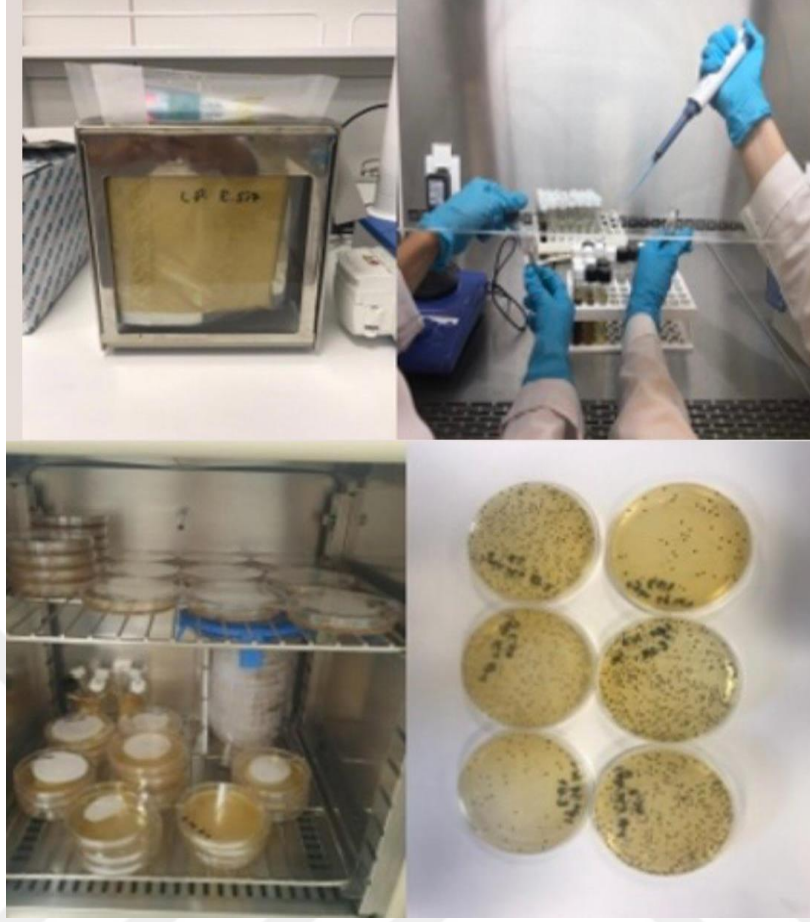
Fermente pancar sularında TAMB sayımı uygun dilüsyonlar hazırlanarak dökme plaka yöntemiyle Plate Count Agar'a (PCA) ekim yapılarak belirlenmiştir. 30°C'de 48-72 saat inkübasyon sonunda oluşan koloniler sayılarak sonuçlar log kob/mL cinsinden ifade edilmiştir (Harrigan 1998; Halkman, 2005).

3.3.2. Toplam maya küf sayımı

Örneklerde maya küf sayımı yayma plaka sayım yöntemi ile uygun dilüsyonlarda Yeast extract Glucose Chloramphenical Agara (YGCA) ekim yapılarak belirlenmiştir. 30°C'de 3-5 gün inkübasyon sonunda gelişen koloniler sayılmış ve oluşan kolonilerden şüpheli olanlar mikroskop incelemesi ile belirlemiştir. Örneklerde toplam maya-küf sayısı log kob/mL cinsinden ifade edilmiştir (Halkman, 2005).

3.3.3. Laktik asit bakteri (LAB) sayımı

Fermente pancar suyu örneklerinde LAB sayımı MRS (de Man-Rogosa-Sharpe) agar kullanılarak dökme plaka yöntemi uygulanmıştır (Şekil 3.5). Bu yöntemde fermente pancar suyu örneklerinden ekimi yapılacak olan dilüsyonlardan 1 mL alınmış ve üzerine 45 °C civarına soğutulan MRS agar eklenerek anaerobik koşullarda 37 °C'de 48-72 saat boyunca inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonunda bakteriler sayılarak sonuçlar log kob/mL olarak ifade edilmiştir (Gassem, 2002; Santos, Ávila, Soares, Carvalho, Schwan ve Lima, 2019).



Şekil 3.5. Fermantasyon süresince yapılan LAB sayım işlemi

3.4. Toplam fenolik madde analizi

Toplam fenolik madde (TFM) miktarının belirlenmesi için Folin-Ciocalteu yöntemi kullanılmıştır. Analiz sırasında her örnek için 200 μ L ekstrakt (veya standart çözelti), 1,5 mL %10'luk Folin-Ciocalteu reaktifi ile karıştırılmış ve oda sıcaklığında 5 dakika bekletilmiştir. Ardından, tüplere 1,5 mL %6'luk sodyum karbonat çözeltisi ilave edilmiş ve karışımlar karanlık ortamda, oda sıcaklığında 90 dakika inkübe edilmiştir. İnkübasyon süresi sonunda oluşan mavi renkli kompleksin yoğunluğu, örnekteki fenolik madde içeriği ile doğru orantılı olarak artmıştır. Absorbans değerleri 765 nm'de UV-VIS spektrofotometre (BMG LABTECH, SPECTROstar Nano, Ortenberg, Germany) ile ölçülmüştür. Kalibrasyon eğrisi oluşturmak amacıyla 500 ppm'lik gallik asit stok çözeltisinden çeşitli konsantrasyonlarda standartlar hazırlanarak aynı prosedüre tabi tutulmuştur. TFM değeri, standart eğriden elde edilen denklem kullanılarak gallik asit eşdeğeri (mg GAE/L) cinsinden hesaplanmıştır (Shahidi ve Ambigaipalan, 2015).

3.5. Antioksidan kapasite analizleri

3.5.1. ABTS yöntemi

ABTS radikalinin (ABTS^{•+}) ortamda antioksidan varlığında çözelti içerisindeki absorbansındaki azalmanın ölçülmesi prensibine dayanmaktadır. Mevcut çalışmada ABTS analizleri Kelebek ve Selli (2011)'nin kullandıkları metoda bağlı kalınarak yapılmıştır. Analiz sırasında ABTS radikal katyonu, H₂O₂ ile metilmiyoglobinin tepkimesi sonucu oluşan ferrilmiyoglobin ile 2,2'-azinobis(3-etilbenzotiyazolin-6-sülfonik asit) (ABTS) arasında ki reaksiyondan ortaya çıkmaktadır. Bu radikal katyon ise 660, 734, 820 nm'lerde maksimum absorpsiyon göstermekte olup ölçümler genellikle bu aralıkta yapılmaktadır. ABTS yönteminde kalibrasyon standardı olarak troloks kullanılır. Kalibrasyon grafiği, 0,00625-0,05000 mg aralığında troloks çözeltileri ile çizilmiştir ve bu grafik ile birlikte örneklerin antioksidan aktivite tayinleri µmol troloks/g örnek olarak hesaplanmıştır. Analizde kullanılan ABTS çözeltisi, 7 mM ABTS (2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolin-6- sülfonik asit) ile 2,45 mM K₂S₂O₈' ın karıştırılarak karanlıkta yaklaşık 16 saate kadar bekletilmesiyle elde edilmiştir. ABTS çözeltisi, analizden önce hazır hale gelebilmesi için, %96'lık etanolle 1:10 oranında seyreltilmiştir.

ABTS çözeltisi için; 38,4 mg ABTS ve 6,6 mg K₂S₂O₈ tartılmış olup 10 mL balon jodede hacme tamamlanmıştır. Analizde 4 mL etanol ve 1 mL ABTS karıştırılarak 6. dk sonunda 734 nm dalga boyunda kör örnek için absorbans değeri okunmuştur. Ardından her bir kvass örneği için x mL ekstrakt alınmış üzerine (4-x) mL etanol ve 1 mL ABTS çözeltisi ilave edilerek karıştırılmış ve 6 dk sonunda 734 nm' de absorbans değeri okunmuştur (Ambigaipalan ve Shahidi, 2015).

3.5.2. DPPH yöntemi

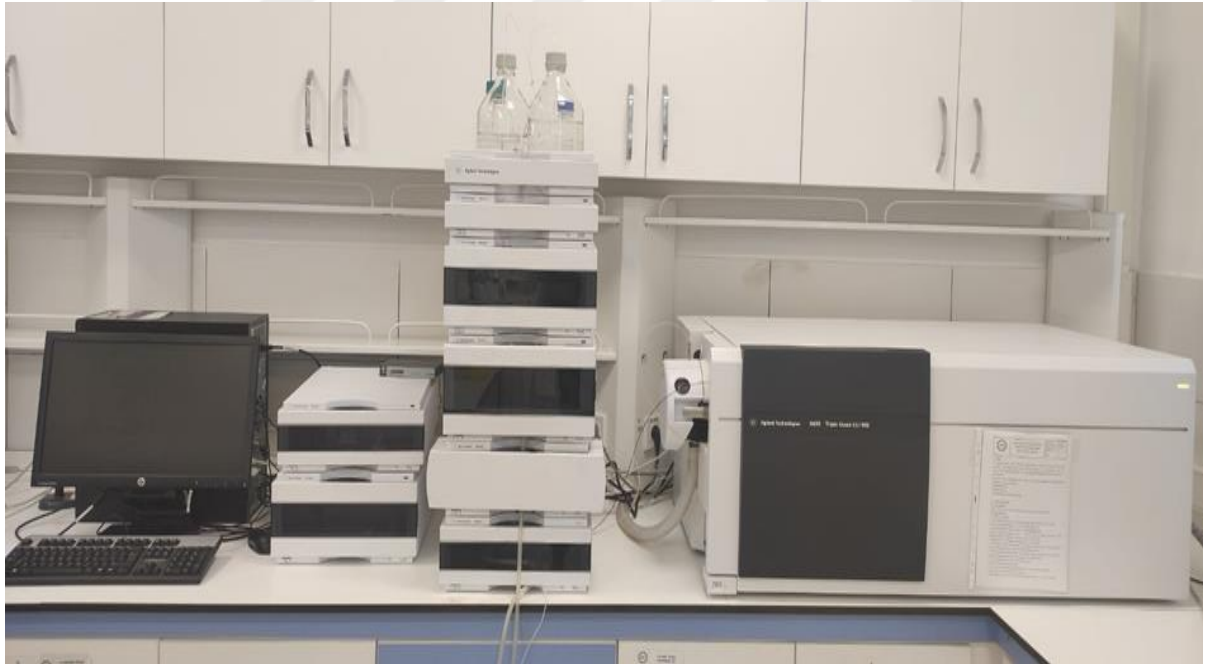
Bu yöntem, antioksidan bileşiklerin mor renkli ve kararlı bir bileşik olan DPPH radikalini indirgeme kapasiteleriyle ilişkilidir. Mor renkli DPPH radikali, 515-517 nm dalga boyunda güçlü bir absorpsiyon gösterdiğinden, bu özelliği spektrofotometrik olarak kolaylıkla tespit edilebilmektedir. Temel prensip olarak, metanol ya da etanol içinde hazırlanan DPPH radikal çözeltisine test edilen bileşiğin eklenmesiyle birlikte, radikal çözeltisinin mor renginde meydana gelen azalma 515-517 nm dalga boyunda spektrofotometre ile ölçülmektedir.

Bu çalışmada, 0,1 mL metanol-su (%80/%20) karışımı (kontrol) ve kvass örneklerinin her birine 3,9 mL DPPH (6 × 10⁻⁵ M) çözeltisi eklenmiştir. Örnekler 30 dakika boyunca karanlıkta

ve oda sıcaklığında bekletilmiştir. Ardından, tüplerin içeriklerinin absorbens değerleri 515 nm dalga boyunda spektrofotometrede ölçülerek, % trolox eşdeğerine göre antioksidan kapasite değerleri hesaplanmıştır (Ambigaipalan ve Shahidi, 2015).

3.6. Fenolik bileşiklerin LC-ESI-MS/MS analizi

Örneklerde fenoliklerin ekstraksiyonları Sawicki, Jabłońska, Starowicz, Kłębukowska ve Błaszczak (2024)'nın uyguladığı yöntemde çeşitli modifikasyonlar yapılarak uygulanmıştır. Çalışmada fermente pancar kvass örneklerinden 2 mL alınarak 10 mL metanol/su (80/20) ile önce 3,5 saat ultrasonik su banyosunda sıcaklık 25 °C'yi geçmeyecek şekilde bekletilmiş daha sonra manyetik karıştırıcıda 1 gece bekletilerek ekstrakte edilmiştir. Süre sonunda elde edilen ekstraktlar 6500 rpm'de 4°C'de santrifüj (Hettich Universal 320R) edilerek ve üstteki berrak kısım alınıp 0,45 µm'lik filtrelerden geçirilmiş ve LC-MS/MS cihazına enjeksiyon yapılmıştır. Çalışmada, Agilent 6430 triple quadrupole kütle spektroskopisi yüksek performanslı sıvı kromatografisi (LC-DAD-ESI-MS/MS) kullanılmıştır (Şekil 3.6). Analizler 3'er tekrarlı olarak yapılmıştır.



Şekil 3.6. Fenolik bileşiklerin tanımlanmasında kullanılan LC-DAD-ESI-MS/MS

Fenolik bileşiklerin analizinde Windows NT 4.0 tabanlı ChemStation yazılımı tarafından kontrol edilen bir HPLC sistemi (Agilent Technologies, model 1100) kullanılmıştır. HPLC

sistemi bir otomatik örnekleyici (G1367 E, 1260 HIP ALS), bir ikili pompa (G1312 B, 1260 Bin pompa), bir gaz giderici (G1322 A, 1260 Degasser) ve bir diyot array dedektörü (G1351D 1260 DAD VL) içermektedir. Analizlerde kullanılan HPLC koşulları ve elüsyon sistemi aşağıdaki gibidir:

Kolon: Phenomenex Luna reversed-phase C-18 kolon (4,6 mm×250 mm, 5 µm)

Enjeksiyon miktarı: 15 µL, Taşıyıcı faz: A=Su/formik asit (99:1, h/h), B= Asetonitril/ Formik asit (99:1, h/h), Akış hızı: 0,6 mL/dk Dalga boyu: 280, 320 ve 360 nm, Dedektör tipi: Diyot array dedektör (G1351D 1260 DAD VL) Kullanılan elüsyon sistemi şu şekildedir:

Süre (Dakika)	% A	% B
0	100	0
10	100	0
40	95	5
58	85	15
80	75	25
103	50	50
107	0	100
116	0	100
120	100	0

Fenolik bileşiklere ait piklerin saflığı, örnek için elde edilen spektrum ile standart maddenin spektrumunun karşılaştırılmasıyla saptanmıştır. Çalışmada kullanılan kütle spektroskopisinin çalışma koşulları aşağıdaki gibidir:

Kapiler sıcaklık: 400 °C

Kapiller voltaj: -3V

Nebulizer gaz akışı: 1,75 L / dk

Çözünme gaz akışı: 1 L / dk

Sprey voltaj: 5 kV

Çalışmada 100-1500 amu kütle aralığında tarama yapılmıştır. Fenolik bileşiklerin miktarının hesaplanması için her bir standart maddeden beş farklı konsantrasyonda çözelti hazırlanmış ve HPLC'ye enjekte edilerek her bir bileşik için kalibrasyon eğrileri oluşturulmuş ve bu eğrilerden miktarları hesaplanmıştır (Kelebek ve Selli, 2011; Kelebek, Jourdes, Selli ve Teissedre, 2013).

3.7. Uçucu bileşiklerin GC-FID ve GC-MS analizleri

3.7.1. Aroma maddeleri ekstraksiyonu

Fermente pancar sularının aroma bileşiklerinin ekstraksiyonunda Engel, Bahr ve Schieberle (1999) tarafından bildirilen sıvı-sıvı ve yüksek vakum altında çözügen yardımıyla aroma ekstraksiyon (SAFE) yöntemleri kullanılmıştır. SAFE sistemine ait resim ve şematik gösterim Şekil 3.7’de gösterilmektedir.

Pancar kvass örnekleri sıvı-sıvı aroma ekstraksiyonun ilk aşamasında her bir örnekten 50 mL erlenlere alınmış ve bu erlenlere 100 mL diklorometan ve iç standart olarak 4-nonanol (41,5 mg/L) ve 2-metil-3-heptanon (40,5 mg/L) ilave edilmiştir. Erlenler azot gazı altında +4 °C’de 1 saat boyunca orta hızda karıştırılmıştır. Karıştırmanın ardından elde edilen süspansiyon 5500 rpm’de 15 dk boyunca 0 °C’de santrifüj edilmiş (Kubota, Japonya), aroma maddelerini içeren berrak çözücü faz alınmış ve evapore edilerek ekstraktlar elde edilmiştir.

İkinci aşama olan SAFE ekstraksiyonu için birinci aşamada elde edilen aromatik ekstraktlar SAFE aparatının sol tarafında bulunan örnek haznesine aktarılmıştır. Ekstraksiyon boyunca buharlaştırma balonu 40 °C’lik su banyosunda bekletilmiştir. Ortamda vakum oluştuktan (10^{-3} bar) sonra SAFE aparatının örnek hasnesinin alt kısmında bulunan musluğu çok yavaş bir şekilde açılarak aroma maddeleri içeren çözügen fazının buharlaştırma balonuna yavaş ama sürekli damlaması sağlanmıştır. SAFE aparatının sağ tarafında yer alan ekstrakt toplama balonu çözügenin ani yoğunlaşması için sıvı azot ile soğutulmuş ve bu şekilde aroma maddesi kayıpları en aza indirgenmiştir (Engel ve diğerleri, 1999). Bu işlem sonucu elde edilen aroma bileşiklerini içeren çözügen faz “Vigreux” damıtma kolonunda 40 °C’ de önce 5 mL, daha sonra “Kuderna Danish” konsantrasyon aparatında 0,5 mL kalıncaya kadar konsantre edilmiştir. Ekstraksiyon işlemi her bir örnek için üç kez tekrarlanmıştır. Elde edilen aromatik ekstraktın miktarı viallere alındıktan sonra hafif bir azot akışı altında çözügeninden tamamen uzaklaştırılarak 0,2 mL’ye kadar indirilmiştir. Konsantre halde elde edilen bu sıvı ekstrakt böylece doğrudan GC-MS’e enjekte edilmeye hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.7. SAFE düzeneği ve aroma ekstraksiyonu

3.7.2. GC-MS, GC-FID ve GC-MS-O koşulları

Aroma bileşiklerinin miktarlarının ölçülmesi, tanımlanması ve aroma-aktif bileşiklerin belirlenmesi amacıyla “Shimadzu Nexis GC-2030” model gaz kromatografisi kullanılmış; bu cihaza entegre olarak “Shimadzu GC-MS-QP2020 NX” model kütle spektrometresi ve olfaktometri ünitesi eklenmiştir (Şekil 3.8). Sistemde kolon çıkışı, özel bir gaz ayırıcı yardımıyla üç eşit kola ayrılmıştır: birinci yol alev iyonizasyon dedektörüne (FID), ikinci yol kütle spektrometresine (MS), üçüncü yol ise koklama işleminin gerçekleştirileceği olfaktometri ünitesine (O) yönlendirilmiştir.



Şekil 3.8. Aroma-aktif bileşiklerin belirlendiği GC-MS-Olfaktometri cihazı

Aroma maddelerinin miktar tayininde, Shimadzu marka GC-FID kullanılmıştır. Aroma maddelerinin ayrımı DB-WAX kapiler kolon (60 m x 0,25 mm x 0,4 μ m) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Enjektör sıcaklığı 220°C, dedektör sıcaklığı 250°C, kolon sıcaklığı, 60°C’de 3 dakika beklemeden sonra, dakikada 2°C artarak 220°C’ye ve daha sonra dakikada 3°C artarak 245°C’ye çıkartılarak ve bu sıcaklıkta 20 dakika sabit kalacak şekilde programlanmıştır. Cihaza, 3 μ L örnek enjekte edilmiş ve taşıyıcı gaz olarak akış hızı 1,5 ml/dakika olan helyum gazı kullanılmıştır. Dedektör ve enjektör sıcaklıkları ise 250°C olarak ayarlanmıştır.

Aroma bileşiklerinin tanımlanmasında, yukarıda belirtilen gaz kromatografi sistemine entegre “Shimadzu GC-MS-QP2020 NX” marka kütle spektrometresi (MS) kullanılmıştır. Enjektör tipi ve sıcaklık programı, gaz kromatografisi (GC) ile aynı koşullarda korunmuş, taşıyıcı gaz olarak helyum gazı tercih edilmiş ve akış hızı 1,5 mL/dk olarak ayarlanmıştır. Cihazda iyonlaşma enerjisi 70 eV olarak belirlenmiş, iyon kaynağı sıcaklığı 250°C ve kuadropol sıcaklığı 120°C’de sabit tutulmuştur. Tarama işlemi bir saniyelik aralıklarla 29–350 kütle/yük (m/z) aralığında gerçekleştirilmiştir. Piklerin tanımlanması sırasında, standardı bulunan bileşikler için doğrudan standart çözelti enjeksiyonu yapılmış; standardı bulunmayan bileşiklerin belirlenmesinde ise Wiley Registry of Mass Spectral Data 2023 ve NIST/EPA/NIH Mass Spectral Library 2023 (NIST 23) veri tabanları referans olarak kullanılmıştır. Tanımlanan piklerin konsantrasyonları, iç standart yöntemi doğrultusunda hesaplanmıştır (Sasmaz, Guclu, Sevindik, Selli ve Kelebek, 2024).

3.7.3. Aroma maddelerinin miktarının hesaplanması

Piklerin tanısından sonra aroma maddelerinin miktarlarını hesaplamak için, standart bileşiklerden kalibrasyon eğrileri elde edilmiş ve iç standart yöntemiyle aşağıda belirtilen formül kullanılarak miktarlar hesaplanmıştır. Hesaplama her bir bileşiğin cevap faktörü de dikkate alınmıştır (Dagli, Yeldan, Sevindik, Guclu, Kelebek ve Selli, 2022).

$$C_i = (A_i / A_{st}) \times C_{st} \times RF \times HF$$

C_i: Bileşiğin konsantrasyonu

A_i: Bileşiğin pik alanı

A_{st}: İç standartın pik alanı

C_{st}: İç standartın konsantrasyonu

RF: Cevap faktörü

HF: Hesaplama faktörü (örnek miktarının kg'a çevrilmesi için faktör: 20)

3.7.4. Aroma ekstraksiyon dilüsyon analizi (AEDA)

Aroma-aktif bileşiklerinin belirlenmesinde gaz kromatografisine bağlı olfaktometri kullanılmıştır (Şekil 3.8). Bunun için “Aroma Ekstrakt Seyreltme Analizi (Aroma Extract Dilution Analysis, AEDA)” kullanılmış ve bu yöntemde konsantre aromatik ekstrakt aşamalı olarak diklorometan ile her defasında 1:1 oranında seyreltilerek (1:1, 1:2, 1:4, 1:8 ,..... 1:1024) GC-MS-Olfaktometriye enjekte edilmiştir. Kokunun hissedilmediği anda seyreltme işlemine son verilerek koklama işlemi tamamlanmıştır (Fickert ve Schieberle, 1999; Sevindik, Amanpour, Tsouli Sarhir, Kelebek ve Selli, 2019).

3.8. Duyusal analiz

Pancar kvass örneklerinin duyusal analizi, Çukurova Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nden dokuz kişilik eğitimli panelistler (3 erkek – 6 kadın; yaşları 23–50 arasında) tarafından lezzet profil testi uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Örnekler, üç haneli farklı numaralarla kodlanarak cam duyusal analiz küvetlerine yerleştirilmiştir. Panelistler, genel değerlendirmeyi önceden belirlenen 7 farklı kritere göre (tat, keskinlik, tatlı tat, süt benzeri tat, genel beğeni, renk, berraklık); aroma profil analizini ise 6 farklı kritere (genel aroma, tatlı koku, pancarimsı koku, fermente sirkemsi koku, süt ürünleri benzeri koku, kötü koku) göre 100 mm'lik ölçeksiz bir skalada değerlendirmiştir (Cano-Lamadrid, Hernández, Corell, Burló, Legua, Moriana ve Carbonell-Barrachina, 2017). Elde edilen veriler istatistiksel olarak analiz edilmiş ve örümcek ağı diyagramı ile görselleştirilmiştir.

3.9. Sonuçların değerlendirilmesi ve istatistiksel analizler

Çalışmada elde edilen veriler uluslararası literatürle karşılaştırılmış ve istatistiksel değerlendirmeler için SPSS yazılımı (versiyon 22, SPSS Inc., Chicago, IL, ABD) kullanılmıştır. Örnekler arası farkların belirlenmesi amacıyla tek yönlü varyans analizi (ANOVA) uygulanmış ve ortalamalar arasındaki anlamlı farklılıklar Duncan çoklu karşılaştırma testi ile değerlendirilmiştir ($p<0,05$). Ayrıca, denemelerde ölçülen önemli kalite parametreleri ve biyoaktif bileşenler arasındaki ilişkileri incelemek amacıyla XLSTAT 2019 yazılımı (sürüm 2108) ile Pearson korelasyon katsayılarına dayalı korelasyon matrisi hazırlanmış ve bu matrise dayalı ısı haritası (heatmap) görselleştirilmiştir. Hem aroma bileşenleri hem de fenolik bileşenler için örnekler arasında çok yönlü ilişkilerin görselleştirilmesi ve yorumlanması için ayrıca Sankey diyagramı kullanılmıştır. Sankey diyagramı, aroma bileşenlerinin örnekler arasındaki bağlarını görselleştirmek amacıyla Flourish Studio çevrim içi aracı kullanılarak hazırlanmıştır (Flourish, <https://flourish.studio/>).

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Fizikokimyasal analizlerin sonuçları

4.1.1. Örneklerin pH ve toplam asitlik değerleri

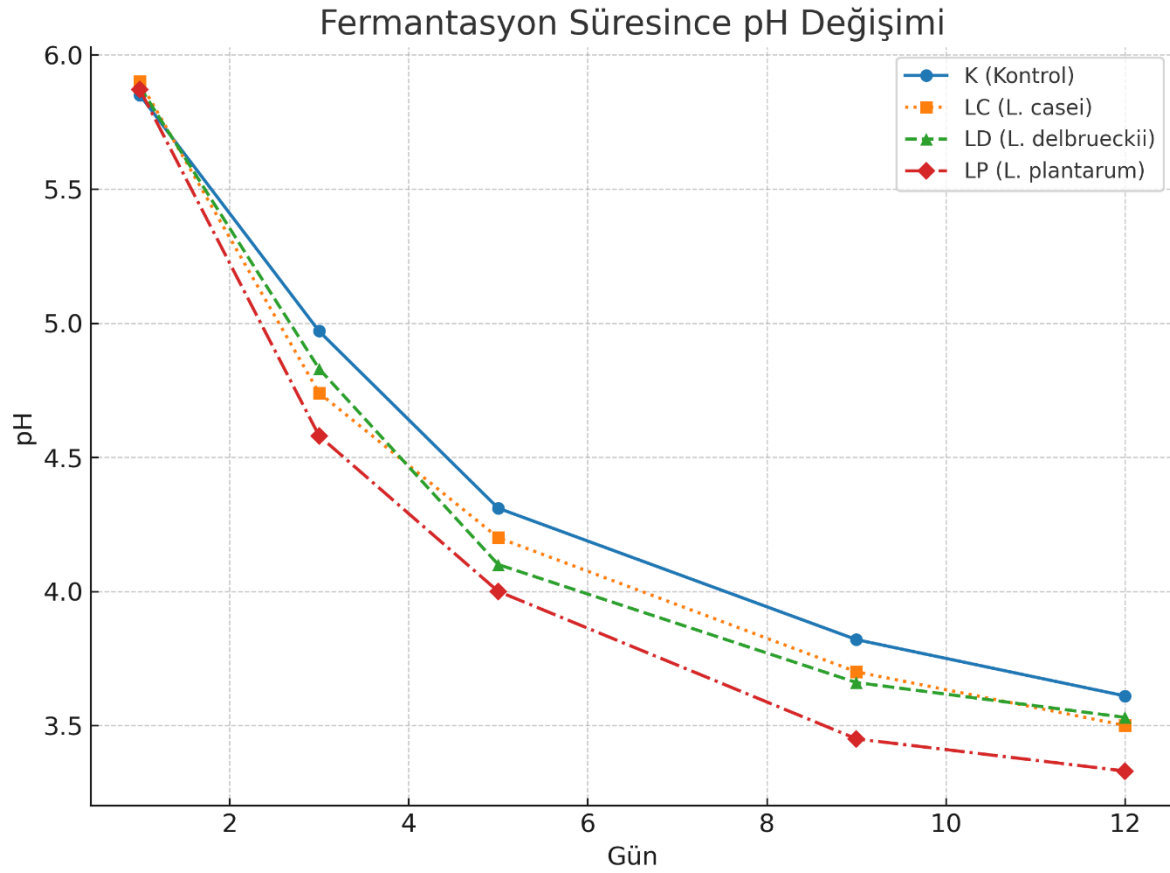
Laktik asit fermantasyonunun, pH seviyelerindeki değişikliklerden ve asitlik derecelerinden etkilendiği bilinmektedir. Çalışmada gerçekleştirilen kırmızı pancar suyu fermantasyonu sırasında 12 gün boyunca izlenen pH değerleri Tablo 4.1’de, değişim grafiği ise Şekil 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Pancar kvass üretimi sürecinde pH ve asitlik değişimleri

Gün	K	LC	LD	LP
<i>pH değişimi</i>				
1	5,85 ± 0,03 ^a	5,80 ± 0,04 ^{ab}	5,76 ± 0,03 ^b	5,70 ± 0,03 ^c
3	5,20 ± 0,04 ^a	5,05 ± 0,03 ^b	4,95 ± 0,03 ^c	4,80 ± 0,03 ^d
5	4,60 ± 0,03 ^a	4,45 ± 0,03 ^b	4,30 ± 0,02 ^c	4,15 ± 0,02 ^d
9	4,20 ± 0,02 ^a	4,05 ± 0,02 ^b	3,90 ± 0,02 ^c	3,75 ± 0,03 ^d
12	4,19 ± 0,03 ^a	4,04 ± 0,02 ^b	3,91 ± 0,02 ^c	3,75 ± 0,03 ^d
<i>Toplam asitlik değişimi (Laktik Asit cinsinden, g/L)</i>				
1	0,35 ± 0,02 ^c	0,38 ± 0,03 ^{bc}	0,41 ± 0,02 ^b	0,44 ± 0,02 ^a
3	0,95 ± 0,04 ^c	1,15 ± 0,05 ^b	1,35 ± 0,06 ^{ab}	1,55 ± 0,07 ^a
5	1,85 ± 0,06 ^c	2,15 ± 0,08 ^b	2,48 ± 0,09 ^{ab}	2,80 ± 0,10 ^a
9	3,20 ± 0,10 ^c	3,65 ± 0,12 ^b	4,20 ± 0,14 ^{ab}	4,70 ± 0,15 ^a
12	3,30 ± 0,11 ^c	3,80 ± 0,12 ^b	4,35 ± 0,13 ^{ab}	4,85 ± 0,16 ^a

K: Kontrol (spontan fermantasyon), LC: *Lactobacillus casei* ile fermente edilen örnek, LD: *Lactobacillus delbrueckii* ile fermente edilen örnek, LP: *Lactobacillus plantarum* ile fermente edilen örnek. Aynı satırda farklı harflerle (^a, ^b, ^c, ^d) gösterilen değerler istatistiksel olarak anlamlı farkları ($p < 0.05$) ifade etmektedir. Aynı harfi paylaşan gruplar arasında anlamlı fark bulunmamaktadır.

Elde edilen değerler göz önüne alındığında, farklı laktik asit bakterilerinin fermantasyonda pH üzerinde önemli farklılıkların ($p < 0,05$) oluşmasına yol açtığı gözlenmiştir. Bu bulgulara göre, dört örnekte de kırmızı pancar sularının 12 gün kadar fermantasyona tabi tutulduktan sonra pH dengesinin sağlandığı gözlenmiştir.



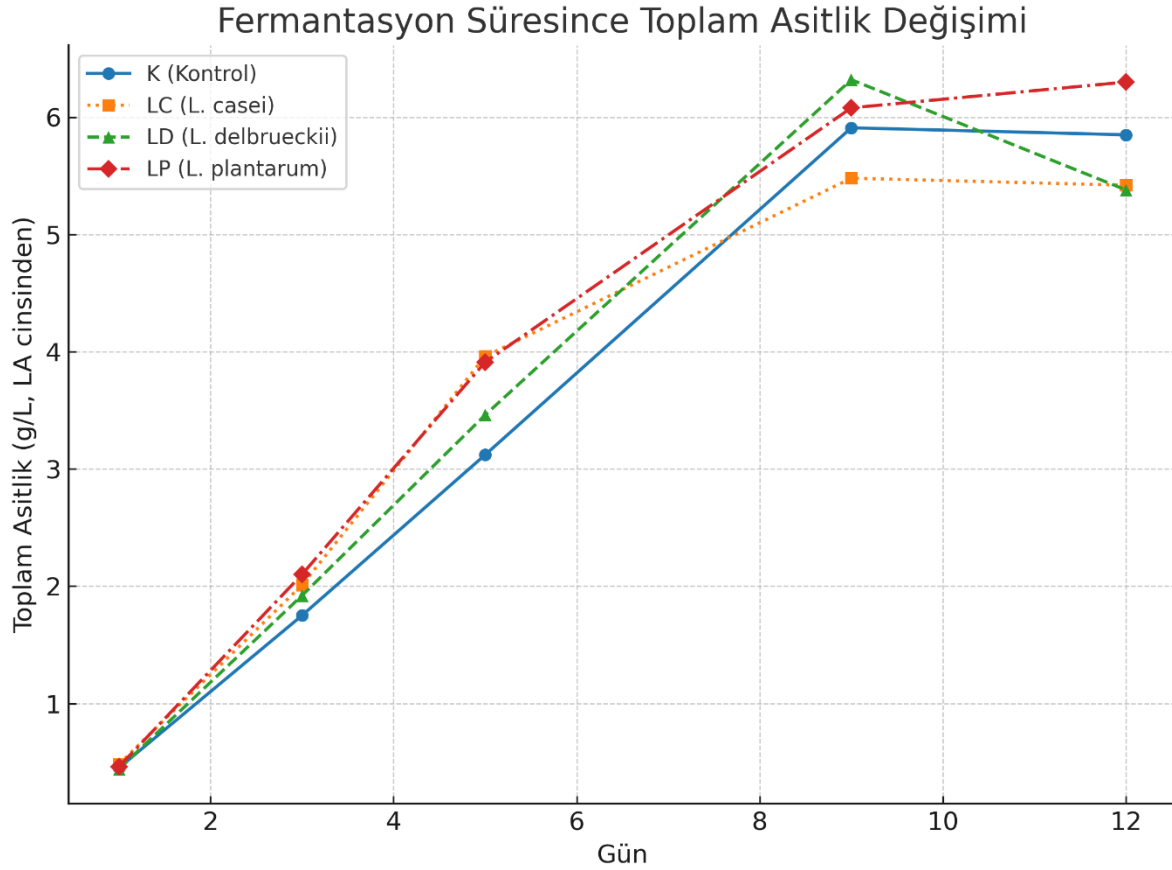
Şekil 4.1. Pancar kvass örneklerinin fermantasyon boyunca izlenen pH değişimi

Farklı miktarlarda taze sarımsak kullanımının pancar kvass pH'sı üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada, örneklerin fermantasyon sonrasında pH'sının 3,84 ile 4,01 arasında değiştiği ve bu değerin depolama sonrasında ise 3,83 ile 3,66 arasında olduğu bildirilmiştir (Hing, 2020).

Mevcut çalışmaya benzer bir çalışmada ise, de Wolf, Hider, Breitmeyer ve Serventi (2025), LAB suşları kullanılarak (*L. delbrueckii* vb.) kırmızı pancar suyunu fermente etmiş, örneklerin pH'sının fermantasyon öncesinde 5,97 iken fermantasyon sonunda 3,93'e düştüğünü bildirmişlerdir.

Siyah havuç kullanılarak üretilen ve ülkemizin bir başka popüler fermente içeceği olan şalgam suyunda yapılan, 26 farklı örneğin incelendiği bir çalışmada fermantasyon sonu pH'nın ortalama 3,4 olduğu bildirilmiştir (Özer ve Çoksöyler, 2015). 3 farklı şalgam örneğinin incelendiği bir başka çalışmada ise fermantasyon başında daha yüksek olan pH seviyesinin laktik asit fermantasyonu sonucunda pH'nın ortalama 3,5 olduğu bildirilmiştir (Tanguler ve Erten, 2012).

Fermantasyon sırasında 12 gün boyunca izlenen toplam asitlik değerleri ise laktik asit cinsinden hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 4.1’de, değişim grafiği ise Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Pancar kvass örneklerinin fermantasyon boyunca izlenen asitlik değişimi

Elde edilen bulgulara göre, kurulan dört farklı denemede de başlangıç asitliğinin laktik asit fermantasyonuyla hızla arttığı ve 9-12 gün arasında sabitlendiği gözlenmiştir. Benzer şekilde şalgam suyunun laktik asit fermantasyon sonucu toplam asitliğinin fermantasyon boyunca LAB aktivitesi sonucu artış gösterdiği bildirilmiş ve 7,1 g/L (laktik asit cinsinden) seviyesine ulaştığı bildirilmiştir (Yılmaz-Ersan ve Turan, 2012). Tanguler ve Erten (2012), siyah havucun laktik asit fermantasyonu ile fermente edilerek üretilen üç farklı şalgam örneğinde toplam asitliğin fermantasyon başında 0,82 ile 2,16 g/L arasında değişen değerler, fermantasyon sonunda 6,81 ile 8,27 g/L’ye yükselmiştir.

Ayrıca Türk gıda kodeksinde benzer bir laktik asit fermentasyonu ile üretilen şalgam suyu için, son üründe pH değerinin 3,3 ile 3,8 arasında, toplam asitlik değerinin ise 6.0 g/L (laktik asit cinsinden) büyük olması gerektiği beyan edilmiştir (TS 11149, TSE 2023).

4.1.2. Suda çözünür kuru madde

Pancar kvass örneklerinin suda çözünür kuru madde miktarları ($^{\circ}\text{Brix}$) Tablo 4.2’de verilmiştir. Fermentasyon sürecinde LAB suşları tarafından şekerlerin organik asitlere dönüştürülmesi nedeniyle, örneklerde suda çözünür kuru madde miktarı önemli ölçüde azalmıştır. Başlangıçta yaklaşık 8.7 ± 0.2 $^{\circ}\text{Brix}$ olarak ölçülen değerler, 12. günde şişeleme öncesi yapılan ölçümlerde 5.2 ± 0.4 $^{\circ}\text{Brix}$ ’e kadar düşmüştür. Bu düşüş, LAB suşlarının şeker tüketim kapasitelerine bağlı olarak örnekler arasında değişiklikler göstermiştir.

Tablo 4.2. Pancar kvass örneklerinde fermentasyon sürecinde $^{\circ}\text{Briks}$ değerleri

Örnek	Gün	$^{\circ}\text{Briks}$ (Ortalama $\pm$ SD)
Başlangıç	0	$8,7 \pm 0,2$
Kontrol (K)	12	$5,3 \pm 0,1$
LC	12	$5,0 \pm 0,2$
LD	12	$5,1 \pm 0,1$
LP	12	$4,8 \pm 0,2$

K: Kontrol (spontan fermentasyon), LC: Lactobacillus casei ile fermente edilen örnek, LD: Lactobacillus delbrueckii ile fermente edilen örnek, LP: Lactobacillus plantarum ile fermente edilen örnek.

Çalışmada elde ettiğimiz bulgulara benzer şekilde, farklı laktik asit fermentasyonları sırasında da $^{\circ}\text{Brix}$ değerlerinde belirgin düşüşler gözlenmiştir. Literatürde şalgam suyu fermentasyonu sonucunda belirlenen $^{\circ}\text{Brix}$ değerlerinin son üründe 9,10 ile 10,8 $^{\circ}\text{Brix}$ aralığında olduğu bildirilmiştir (Baysal, Demirdöven ve Ergün, 2013; Kırca, Özkan ve Cemeroğlu, 2007).

4.1.3. Kuru madde miktarı (%)

Pancar kvass örneklerinin kuru madde (%) miktarları Tablo 4.3’de verilmiştir. Denemelerin kuru madde içerikleri %2,2 ile 2,9 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Tablo 4.3. Pancar kvass örneklerinde kuru madde analizi

Örnek	Kuru Madde (%)
K	2,3 ± 0,11 ^{bc}
LC	2,6 ± 0,15 ^{ab}
LD	2,2 ± 0,09 ^c
LP	2,9 ± 0,13 ^a

K: Kontrol (spontan fermentasyon), LC: *Lactobacillus casei* ile fermente edilen örnek, LD: *Lactobacillus delbrueckii* ile fermente edilen örnek, LP: *Lactobacillus plantarum* ile fermente edilen örnek. Aynı satırda farklı harflerle (^a, ^b, ^c, ^d) gösterilen değerler istatistiksel olarak anlamlı farkları ($p < 0.05$) ifade etmektedir. Aynı harfi paylaşan gruplar arasında anlamlı fark bulunmamaktadır.

Spontan fermentasyon olan kontrol örneğinde mikrobiyal çeşitliliğin yüksek olması, çözünür maddelerin bir kısmının erken dönemde parçalanmasını sağlayabilmiş ve dolayısıyla kontrol örneğinde kuru madde oranı %2,3 seviyesinde kalmıştır. *L. casei* suşu ile yapılan fermentasyonda ise daha kontrollü ve dengeli bir madde dönüşümü izlenmiş ve LC örneğinin toplam kuru madde miktarı 100g için %2,6 düzeyinde olarak bulunmuştur. Bitkisel fermentasyonlarda kullanımı yaygın olan *L. plantarum* ise, özellikle çözünür lif ve polisakkaritleri daha etkin ayrıştırdığı için örnekler arasındaki en yüksek kuru madde oranı olan %2,9'a ulaşmıştır. Fermente şalgam suyunda 29 farklı örnekte yapılan bir çalışmada, fermentasyon sonunda tespit edilen kuru madde değerinin %3,2 olduğu tespit edilmiştir (Özer ve Çoksöyler, 2015). Yine fermente şalgam suyunda yapılmış bir başka çalışmada ise bu değerin %0,5 civarında bulunduğu bildirilmiştir (Özdestan ve Üren, 2010).

4.1.4. Renk değerleri

Pancar kvass örneklerinin renk analizinde elde edilen Hunter Lab verileri Tablo 4.3'te verilmiştir. Örneklerin genel anlamda karakteristik koyu bordo renklerini korusa da suşlar arası anlamlı ölçüde farklılıklar bulunduğu belirlenmiştir.

En düşük L değeri *L. delbrueckii* ile elde edilen örnekte (22,9) ölçülürken, en yüksek L değeri *L. plantarum* suşuyla hazırlanan örnekte (25,5) tespit edilmiştir.

Tablo 4.4. Pancar kvass örneklerinin renk değerleri

	K	LC	LD	LP
L	23,5 ± 0,2 ^b	24,8 ± 0,25 ^{ab}	22,9 ± 0,22 ^c	25,5 ± 0,23 ^a
a*	30,2 ± 0,5 ^b	32,5 ± 0,55 ^{ab}	29,0 ± 0,52 ^c	34,1 ± 0,57 ^a
b*	3,1 ± 0,15 ^b	2,8 ± 0,14 ^b	3,4 ± 0,16 ^{ab}	2,5 ± 0,13 ^c
Chroma	30,36 ± 0,5 ^b	32,62 ± 0,53 ^{ab}	29,20 ± 0,51 ^c	34,19 ± 0,55 ^a
Hue (°)	5,86 ± 0,2 ^{ab}	4,92 ± 0,19 ^b	6,69 ± 0,21 ^a	4,19 ± 0,18 ^b

K: Kontrol (spontan fermentasyon), LC: *Lactobacillus casei* ile fermente edilen örnek, LD: *Lactobacillus delbrueckii* ile fermente edilen örnek, LP: *Lactobacillus plantarum* ile fermente edilen örnek. Aynı satırda farklı harflerle (^a, ^b, ^c, ^d) gösterilen değerler istatistiksel olarak anlamlı farkları ($p < 0.05$) ifade etmektedir. Aynı harfi paylaşan gruplar arasında anlamlı fark bulunmamaktadır.

Örneklerin a değerleri ise beklendiği gibi oldukça yüksek bulunmuş ve tüm örneklerde 29,0–34,1 aralığında değişmiştir. *L. plantarum* ile fermente edilen örneğin en yüksek a değerine (34,1) sahip olması, bu suşun pancardaki betasiyanin türevlerinin korunmasını desteklediğini göstermektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda da benzer şekilde *L. plantarum* suşlarının fermentasyon sırasında bitkisel kökenli pigmentlerin stabilizasyonunu artırdığı bildirilmiştir (Wang ve Wang, 2023).

b değerleri tüm örneklerde düşük pozitif seviyelerde kalmış olup, fermentasyonun sarımsı tonlarda belirgin bir kaymaya neden olmadığı gözlenmiştir.

Genel olarak bakıldığında, LP örneği, en yüksek a (34,1) ve kroma (34,19) değerleriyle en yoğun ve canlı kırmızı tonu göstermiştir. Bu laktik asit fermentasyonunun renk doygunluğunu artırdığını kanıtlar niteliktedir. LD örneğinde Hue açısı en yüksek değerde (6,69°) gözlenmiş, bu da daha morumsu tonlara kayma olduğunu düşündürmektedir. Ayrıca L değeri en düşük olan LD örneğinin (22,9), daha koyu ve mat bir görünüme sahip olduğunu ifade etmektedir.

Spontan fermentasyon grubunda hem L hem de a değerlerinin LAB suşlarıyla fermente edilen örneklerle göre nispeten düşük olması, kontrollü starter kültür kullanımının renk stabilitesine katkı sağladığını destekler niteliktedir. Benzer şekilde Czyżowska, Klewicka ve Libudzisz (2006), laktik asit bakteri suşlarının kırmızı pancar suyu fermentasyonunda kullanımının, betalain kaynaklı önemli renk pigmentlerinin stabilitesini artırdığını gözlemlemişlerdir.

4.2. Mikrobiyal analiz sonuçları

Bazı mikroorganizmalar, gıdaların tat, doku ve görünümünde olumlu değişiklikler yaratarak faydalı kabul edilirken; diğer bazıları ise gıdalarda istenmeyen değişikliklere sebep olarak bozulmalara yol açabilir. Mikroorganizmaların gıda bozulmasına neden olma potansiyeli, bozulma ile bağlantılı ve tüketicilerin gıdayı reddetmesine sebep olan metabolitler üretme yeteneklerine bağlıdır. Genel olarak, gıdalarda bulunan birçok mikroorganizma, belirli bir yoğunluğun üzerine çıktığında istenmeyen metabolitlerin oluşmasına neden olabilir. Bu durum ise gıdanın renk, koku, doku ve görünüm gibi duyuşal özelliklerinde değişimlere yol açar (Mohsen ve diğerleri, 2018).

Mikrobiyolojik analizler ise gıdalardaki zararlı mikroorganizmaların tespit edilmesi ve gıdanın tüketim için uygun olup olmadığının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilir. Gıdaların işlenme, taşıma ve depolama süreçlerinde yaşanan eksiklikler ya da hatalar, gıdaların bozulmasına ve insan sağlığını tehdit eden mikroorganizmaların varlığına zemin hazırlar; bu nedenle bu tür temel analizler ürünün kalitesi ve güvenilirliği açısından oldukça önemlidir (Reij ve Van Schothorst, 2000).

4.2.1. Toplam maya ve küf miktarı

Pancar suyu fermantasyonu boyunca 1. 5. ve 12. günlerde tüm örneklerden alınan sıvılarda toplam maya ve küf sayımları yapılmış, sonuçlar Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tüm örneklerde toplam maya ve küfün 4,2–5,8 log kob/mL aralığında olduğu tespit edilmiştir. Özellikle *L. plantarum* ve *L. casei* ile inoküle edilen örneklerde maya ve küf sayımları $4,5 \pm 0,2$ ve $4,8 \pm 0,3$ log kob/mL düzeyinde iken, kontrol grubunda $5,6 \pm 0,4$ log kob/mL'ye kadar yükselmiştir. Bu bulgular, seçilmiş LAB suşlarının maya ve küf gelişimini baskılayarak fermantasyon sırasında mikrobiyal stabiliteyi artırdığını göstermektedir. Sonuç olarak, LAB suşlarının kullanımının, fermente pancar ürünlerinde istenmeyen maya ve küf kontaminasyonunun önlenmesine yardımcı olabileceği belirlenmiştir. Benzer şekilde Laitila, Alakomi, Raaska, Mattila-Sandholm, ve Haikara (2002), arpa fermantasyonu üzerine *Lactobacillus* suşlarının etkisini inceledikleri çalışmada, fermantasyonda LAB varlığının toplam maya ve küf artışını baskılamada önemli bir faktör olduğunu bildirmişlerdir.

Tablo 4.5. Toplam maya ve küf sayımları

Gün	K (log kob/mL)	LC (log kob/mL)	LD (log kob/mL)	LP (log kob/mL)
1	3,50 ± 0,09 ^a	3,45 ± 0,08 ^a	3,40 ± 0,07 ^a	3,60 ± 0,10 ^a
5	4,20 ± 0,12 ^b	3,90 ± 0,10 ^a	4,00 ± 0,11 ^{ab}	3,95 ± 0,09 ^a
12	4,50 ± 0,13 ^c	4,00 ± 0,11 ^b	4,10 ± 0,10 ^b	4,05 ± 0,11 ^b

K: Kontrol (spontan fermentasyon), LC: *Lactobacillus casei* ile fermente edilen örnek, LD: *Lactobacillus delbrueckii* ile fermente edilen örnek, LP: *Lactobacillus plantarum* ile fermente edilen örnek. Aynı satırda farklı harflerle (^a, ^b, ^c, ^d) gösterilen değerler istatistiksel olarak anlamlı farkları ($p < 0.05$) ifade etmektedir. Aynı harfi paylaşan gruplar arasında anlamlı fark bulunmamaktadır.

4.2.2. Toplam aerobik mezofilik bakteri (TAMB)

Toplam aerofilik ve mezofilik bakterilerin sayısı, gıdanın muhtemel raf ömrü ve üretim aşamalarındaki kontaminasyon düzeyleri hakkında bilgi verebilmektedir (Pothakos ve diğerleri, 2012). Pancar suyu fermentasyonu boyunca 1. 5. ve 12. günlerde tüm örneklerden alınan sıvılarda toplam aerofilik ve mezofilik bakterilerin (TAMB) sayımı yapılmış, sonuçlar Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.6. Toplam aerobik mezofilik bakteri (TAMB) sayımları

Gün	K (log kob/mL)	LC (log kob/mL)	LD (log kob/mL)	LP (log kob/mL)
1	5,20 ± 0,10 ^a	5,25 ± 0,12 ^a	5,15 ± 0,08 ^a	5,30 ± 0,09 ^a
5	6,10 ± 0,15 ^c	7,50 ± 0,20 ^a	6,80 ± 0,18 ^b	7,70 ± 0,22 ^a
12	6,00 ± 0,12 ^c	8,80 ± 0,25 ^a	7,10 ± 0,20 ^b	8,90 ± 0,27 ^a

K: Kontrol (spontan fermentasyon), LC: *Lactobacillus casei* ile fermente edilen örnek, LD: *Lactobacillus delbrueckii* ile fermente edilen örnek, LP: *Lactobacillus plantarum* ile fermente edilen örnek. Aynı satırda farklı harflerle (^a, ^b, ^c, ^d) gösterilen değerler istatistiksel olarak anlamlı farkları ($p < 0.05$) ifade etmektedir. Aynı harfi paylaşan gruplar arasında anlamlı fark bulunmamaktadır.

12 gün boyunca fermente edilmiş pancar suyu örneklerinde toplam aerobik mezofilik bakteri (TAMB) sayımları 6,0–8,9 log kob/mL aralığında tespit edilmiştir. *L. plantarum* ve *L. casei* ile gerçekleştirilen fermentasyonlarda TAMB sayısı, sırasıyla 8,9 ve 8,8 log kob/mL düzeyinde bulunurken, kontrol örneğinde yalnızca 6,0 log kob/mL olarak bulunmuştur. Bu durum, seçilen LAB suşlarının fermentasyon sürecinde baskın bakteri topluluğunu oluşturarak, mikroorganizma sayısını artırdığını göstermektedir. TAMB artışı, fermentasyonun ilerlemesi ve mikrobiyal aktivitenin yükselmesi ile uyumludur.

4.2.3. Laktik asit bakterisi (LAB) sayımları

Hazırlanan pancar suyu örneklerinde, %1 oranında hücre süspansiyonu ile inoküle edilen LAB suşlarının gelişimi fermentasyon boyunca 1. 5. ve 12. günlerde takip edilmiş sonuçlar Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.7. Laktik asit bakterisi (LAB) sayımları

Gün	K (log kob/mL)	LC (log kob/mL)	LD (log kob/mL)	LP (log kob/mL)
1	6,00 ± 0,10 ^a	6,20 ± 0,12 ^a	6,10 ± 0,11 ^a	6,25 ± 0,12 ^a
5	6,80 ± 0,15 ^c	9,16 ± 0,20 ^a	8,50 ± 0,18 ^b	9,20 ± 0,22 ^a
12	7,00 ± 0,12 ^c	9,04 ± 0,25 ^a	8,78 ± 0,20 ^b	9,01 ± 0,27 ^a

K: Kontrol (spontan fermentasyon), LC: *Lactobacillus casei* ile fermente edilen örnek, LD: *Lactobacillus delbrueckii* ile fermente edilen örnek, LP: *Lactobacillus plantarum* ile fermente edilen örnek. Aynı satırda farklı harflerle (^a, ^b, ^c, ^d) gösterilen değerler istatistiksel olarak anlamlı farkları ($p < 0.05$) ifade etmektedir. Aynı harfi paylaşan gruplar arasında anlamlı fark bulunmamaktadır.

Fermentasyonun 1. gününde tüm örneklerde benzer düzeyde (6,00–6,25 log kob/mL) başlangıç LAB sayıları tespit edilmiştir. 5. günün sonunda ise *L. plantarum* ve *L. casei* ile inoküle edilen örneklerde LAB sayıları sırasıyla 9,20 ± 0,22 ve 9,16 ± 0,20 log kob/mL’ye ulaşarak belirgin bir artış göstermiştir. *L. delbrueckii* ile fermente edilen örnekte ise bu değer 5.günde 8,50 ± 0,18 log kob/mL olarak kaydedilmiştir. Fermentasyonun 12. gününde ise *L. plantarum* ve *L. casei* ile fermente edilen örneklerde LAB sayısı sırasıyla 9,01 ± 0,27 ve 9,04 ± 0,25 log kob/mL seviyelerinde sabit kalırken, *L. delbrueckii* ile fermente edilen örnekte 8,78 ± 0,20 log kob/mL’ye yükseldiği gözlenmiştir. Bu bulgular, *L. plantarum* ve *L. casei*’nin fermentasyon sürecine daha hızlı adapte olduğunu ve ortam koşullarında daha etkin çoğalma gösterdiğini ortaya koymaktadır. Kontrollü (spontan) örnekte ise LAB sayısındaki artış daha sınırlı olmuştur. LAB sayısı 12. gün sonunda 7,00 ± 0,12 log kob/mL’ye ulaşmıştır. Tangüler ve Erten (2012), benzer bir laktik asit fermentasyonu ürünü olan şalgam suyunda toplam LAB sayısının fermentasyonun ilerlemesiyle birlikte önemli ölçüde arttığı bildirilmiştir.

4.3. Biyokimyasal ve biyoaktif analizlerin sonuçları

4.3.1. Toplam ham protein (%) analizi sonuçları

İnsan vücudunun en önemli yapı taşlarından biri olarak kabul edilen proteinler, bireyin fiziksel gelişiminden sorumlu temel besin bileşenleridir (Koyande, Chew, Rambabu, Tao, Chu ve Show, 2019). Protein miktarı, bir besinin fonksiyonel özelliklerinin belirlenmesinde,

özellikle biyolojik aktivitenin değerlendirilmesinde kritik bir parametre olarak öne çıkar. Protein analiz yöntemlerinin temel prensipleri, azot içeriği ve peptid bağlarının belirlenmesine dayanmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan üç farklı laktik asit bakterisinin pancar kvass içeceklerinin protein içeriği üzerinde önemli düzeyde farklılık yaratmadığı, ancak protein yüzdesinin kullanılan suşa bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir (Tablo 4.8). *Lactobacillus plantarum* suşunun kullanıldığı örnekte protein içeriği %0,42 ile en yüksek değere ulaşmış; bunu %0,38 ile *Lactobacillus casei* suşu takip etmiştir. En düşük protein içeriği ise %0,29 ile kontrol örneğinde belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, fermentasyon başlangıcında ortama eklenen laktik asit bakterilerinin daha fazla peptid yapıyı çözerek proteinlerin serbest hale geçmesine neden olduğu ve bu durumun, suş ilavesi yapılan örneklerde kontrol grubuna kıyasla toplam protein miktarının kısmen daha yüksek olmasına yol açtığı tespit edilmiştir.

Literatürde, kırmızı pancarın (*Beta vulgaris*) 100 gramında yaklaşık 1,69 gram protein içerdiği bildirilmiştir (U.S. Department of Agriculture, FDC ID:2685576, NDB Number:11080, Yayın Tarihi: 18/04/2024). Fermentasyon sürecinde kullanılan farklı *Lactobacillus* suşlarının, fermente ürünlerdeki protein yapısı ve protein türevli bileşenler üzerinde farklı düzeylerde etkili olabildiği bilinmektedir. Bu suşlara ait proteolitik sistemler, bitkisel matrikslerde sınırlı miktarda bulunan proteinleri parçalayarak daha küçük peptitler ve serbest amino asitlere dönüştürebilir; böylece ürünün hem besin değerini hem de fonksiyonel özelliklerini değiştirebilir.

Örneğin, Rizzello, Cavoski, Turk, Ercolini, Nionelli, Pontonio ve Di Cagno (2015), *Lactobacillus plantarum* suşlarının endopeptidaz ve aminopeptidaz aktivitelerinden yararlanarak bazı bitkisel proteinleri büyük oranda parçalayabildiğini ve bu nedenle fermentasyon sonunda çözünmüş protein ile serbest amino asit konsantrasyonunun anlamlı düzeyde arttığını bildirmiştir. Bu durum özellikle tahıl kaynaklı fermente gıdalarda belirgin şekilde gözlenmiş; *L. plantarum* suşu ile fermente edilen çavdar kvass gibi buğday bazlı ürünlerde protein hidrolizinin daha yoğun olabileceği belirtilmiştir.

Tablo 4.8. Pancar kvass örneklerinin toplam protein içeriği

Ölçüm	K	LC	LD	LP
(%)Ortalama $\pm$ SD	0,29 $\pm$ 0,02 ^c	0,37 $\pm$ 0,025 ^b	0,33 $\pm$ 0,02 ^{bc}	0,42 $\pm$ 0,03 ^a

K: Kontrol (spontan fermantasyon), LC: *Lactobacillus casei* ile fermente edilen örnek, LD: *Lactobacillus delbrueckii* ile fermente edilen örnek, LP: *Lactobacillus plantarum* ile fermente edilen örnek. Aynı satırda farklı harflerle (^a, ^b, ^c, ^d) gösterilen değerler istatistiksel olarak anlamlı farkları ($p < 0.05$) ifade etmektedir. Aynı harfi paylaşan gruplar arasında anlamlı fark bulunmamaktadır.

Benzer şekilde yürütülen bir başka çalışmada, Hegazi ve Abo-Elnaga (1987), *Lactobacillus casei* suşlarının belirgin proteolitik aktivite gösterdiğini raporlamışlardır. Yapılan analizlerde, bu suşun özellikle endopeptidaz aktivitesi bakımından yüksek kapasiteye sahip olduğu ve bu özelliği sayesinde fermente gıdalarda serbest azotlu bileşiklerin (özellikle protein kaynaklı) oluşumunu artırdığı ortaya konmuştur. Süt ve süt ürünlerinde yaygın olarak kullanılan *L. casei*'nin bu proteolitik kapasitesinin, olgunlaşma sürecine katkı sağladığı gibi, bitkisel kaynaklı fermente ürünlerde de çözünür protein bileşenlerinin artmasına neden olabileceği vurgulanmaktadır.

Diğer yandan, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *delbrueckii* suşunun kullanıldığı bir başka çalışmada, bu suşun soya suyu fermantasyonunda çeşitli proteaz ve peptidaz genlerini aktive ettiği ve bu sayede gıdada bulunan serbest amino asit miktarını anlamlı düzeyde artırdığı gösterilmiştir (Zhang, Lu, Bai, Gao, Wu, Li, Tong, Chen ve Yang, 2021).

Bu bilgiler ışığında, çalışmada spontan fermantasyon ve farklı *Lactobacillus* suşlarıyla elde edilen diğer üç farklı pancar kvass örneğinde gözlenen protein miktarındaki farklılıkların, LAB suşların sahip olduğu güçlü proteolitik etkiyle doğrudan ilişkili olduğu düşünülmektedir (Zhang ve diğerleri 2021). Fermantasyon tamamlandığında son ürünlerdeki çözünür protein ve serbest amino asit düzeylerinin belirlenmesi, bu farklılıkların daha net biçimde ortaya konmasına olanak sağlayabilir. Dolayısıyla, özellikle pancar kvass gibi sebze kökenli fermente ürünlerde, suş seçiminin yalnızca mikrobiyal aktivite ve aroma açısından değil, aynı zamanda besin değeri üzerindeki etkisi bakımından da dikkate alınması gerektiği anlaşılmaktadır.

4.3.2. Antioksidan kapasite analizi sonuçları

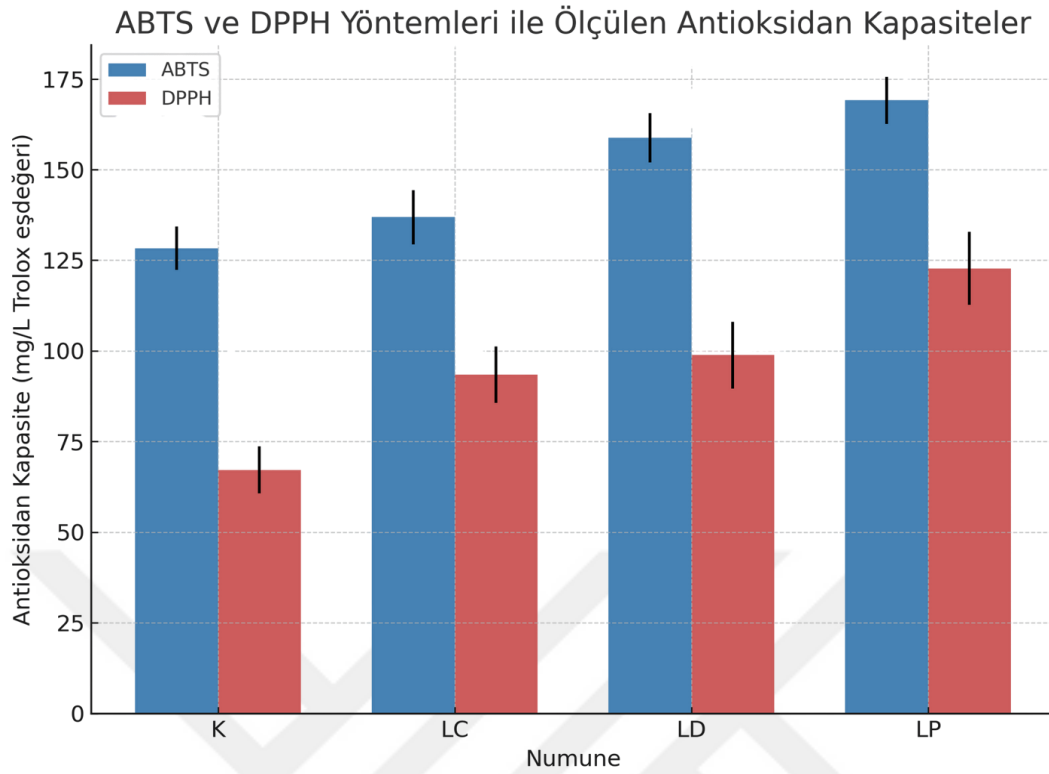
Yapılan analizler sonucunda, örnekler arasında ABTS ve DPPH değerleri açısından istatistiksel olarak önemli farklılıklar tespit edilmiştir. Pancar kvass örneklerinin antioksidan kapasite analizlerinde edilen bulguları Tablo 4.9’da, görsel olarak ifade edilmiş şekli Şekil 4.3’te verilmiştir.

Tablo 4.9. Pancar kvass örneklerinin antioksidan kapasite değerleri*

Örnek	ABTS	DPPH
K	128,5 ± 5,2 ^d	67,1 ± 4,8 ^c
LC	136,2 ± 6,8 ^c	93,8 ± 5,1 ^b
LD	156,3 ± 4,1 ^b	101,2 ± 6,2 ^b
LP	169,8 ± 3,7 ^a	121,7 ± 5,4 ^a

*Trolox eşdeğeri cinsinden hesaplanmıştır. K: Kontrol (spontan fermantasyon), LC: *Lactobacillus casei* ile fermente edilen örnek, LD: *Lactobacillus delbrueckii* ile fermente edilen örnek, LP: *Lactobacillus plantarum* ile fermente edilen örnek. Aynı satırda farklı harflerle (^a, ^b, ^c, ^d) gösterilen değerler istatistiksel olarak anlamlı farkları ($p < 0.05$) ifade etmektedir. Aynı harfi paylaşan gruplar arasında anlamlı fark bulunmamaktadır.

DPPH analizi verilerine göre, *Lactobacillus plantarum* suşu ile fermente edilen örnek (LP), en yüksek serbest radikal süpürme kapasitesine sahip örnek olarak öne çıkmaktadır. Bu örneği sırasıyla *L. delbrueckii* (LD) ve *L. casei* (LC) suşlarıyla fermente edilen örnekler takip etmiştir. Spontan fermantasyona bırakılan kontrol grubu (K) ise, en düşük DPPH değeri ile en zayıf antioksidan kapasiteyi göstermiştir. Bu sonuçlar, fermantasyon sürecinde kullanılan laktik asit bakterisi suşlarının, pancar kvass içeceğinin antioksidan kapasitesini belirgin şekilde artırdığını göstermektedir. DPPH yöntemiyle elde edilen bulgular, dışarıdan LAB ilavesi yapılan örneklerin spontan fermantasyona kıyasla daha fonksiyonel içerikler sunduğuna işaret etmektedir.



Şekil 4.3. Pancar kvass örneklerinin antioksidan kapasite sonuçları

ABTS analizine ilişkin veriler de DPPH'ye benzer şekilde örnekler arasında önemli farklılıklar göstermiştir. En yüksek ABTS değeri yine *Lactobacillus plantarum* suşu ile fermente edilen örnekte (LP) belirlenmiş ve diğer suşlarla elde edilen değerlerle karşılaştırıldığında bu fark istatistiksel olarak anlamlı düzeyde bulunmuştur. *L. casei* suşu ve spontan fermentasyon ile elde edilen örneklerin ABTS seviyeleri birbiriyle yakın olup, *L. delbrueckii* suşu ile fermente edilen örneklerin ABTS radikalini süpürme kapasitesinden aşağıda bulunmuşlardır. Bu durum, ABTS yönteminin örnekler arasındaki ayrımı DPPH kadar net ortaya koyamadığını, ancak yine de farklı suşlarla gerçekleşen laktik asit fermentasyonunun genel olarak antioksidan kapasite üzerinde olumlu etkiler yarattığını desteklemektedir. Literatürde yer alan çalışmalar da bu bulguları destekler niteliktedir. Sevindik ve ark. (2022) tarafından yürütülen çalışmada, gilaburu suyunun fermentasyonu sırasında kullanılan *L. casei*, *L. delbrueckii* ve *L. plantarum* suşlarının, kontrol grubuna kıyasla antioksidan aktiviteyi anlamlı ölçüde artırdığı bildirilmiştir. Benzer şekilde literatürdeki bir başka çalışmada, nar suyunun LAB suşlarıyla fermentasyonunun incelendiği bir başka çalışmada, Mousavi, Mousavi, Razavi, Hadinejad, Emam-Djomeh, ve Mirzapour (2013) nar suyunun *Lactobacillus* suşları ile fermente edilmesiyle toplam fenolik içeriğinin

arttığını bildirmişlerdir. Literatürde kırmızı pancar ekstraktlarının fermentasyonunda LAB suşlarının antioksidan kapasitesi üzerine etkisini inceleyen bir başka çalışmada (Mohsen, Alsaman ve Mahrous, 2018), fermentasyonun DPPH ve ABTS radikallerine süpürme aktivitelerini anlamlı düzeyde artırdığı görülmüştür. Araştırmacılar özellikle *L. acidophilus* ile fermente edilen örneklerin, daha yüksek antioksidan aktivite gösterdiğini ve oksidatif DNA hasarına karşı daha güçlü koruma sağladığını vurgulamışlardır.

Bu paralellik, bitkisel içerikli fermente içeceklerde suş seçiminin yalnızca duyuşal açıdan değil, aynı zamanda fonksiyonel bileşenler üzerinde de doğrudan etkili olduğunu, dolayısıyla fonksiyonel gıda formülasyonlarında kırmızı pancarın antioksidan potansiyelini maksimize etmek için LAB suşları kullanımıyla kontrollü fermentasyon gerçekleştirmenin kritik öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

4.3.3. Toplam fenolik madde miktarı (TFM) analizi sonuçları

Pancar kvass örneklerinin toplam fenolik madde içerikleri Tablo 4.6'da verilmiştir. Elde edilen bulgular incelendiğinde *Lactobacillus plantarum* suşu ile gerçekleştirilen fermentasyonda toplam fenolik madde içeriğinin anlamlı ölçüde arttığı, *Lactobacillus delbrueckii* suşu ile fermentasyonun toplam fenolik bileşikler üzerine yine önemli pozitif bir etkisi olduğu fakat fermentasyonun *Lactobacillus casei* suşu veya spontan şekilde gerçekleştirilmesi durumunda toplam fenolik madde içeriğinin diğer LAB suşu ilaveli örneklerle göre geride kaldığı gözlenmiştir.

Tablo 4.10. Pancar kvass örneklerinin toplam fenol miktarı*

Örnek	Toplam fenolik madde (mg/L)
K	289,6 ± 7,1 ^c
LC	298,4 ± 7,8 ^{bc}
LD	312,7 ± 7,6 ^{ab}
LP	339,8 ± 8,9 ^a

*GAE: Gallik asit eşdeğeri cinsinden hesaplanmıştır. K: Kontrol (spontan fermentasyon), LC: *Lactobacillus casei* ile fermente edilen örnek, LD: *Lactobacillus delbrueckii* ile fermente edilen örnek, LP: *Lactobacillus plantarum* ile fermente edilen örnek. Aynı satırda farklı harflerle (^a, ^b, ^c, ^d) gösterilen değerler istatistiksel olarak anlamlı farkları ($p < 0.05$) ifade etmektedir. Aynı harfi paylaşan gruplar arasında anlamlı fark bulunmamaktadır.

de Wolf ve diğerkleri (2025), yaptıkları çalışmada farklı LAB suşlarıyla gerçekleştirdikleri kırmızı pancar suyu fermentasyonu sonucu serbest haldeki bulunan fenolik madde içeriğinin taze kırmızı pancar suyuna oranla iki katı kadar arttığını bildirmişlerdir.

Literatürdeki bir diğerk çalışmada fermente pancar suyunda toplam fenolik içerik 107,77 ile 790,45 mg GAE/L arasında değıştiğı, özellikle tuz eklenmeyen fermente pancar suyunun fenolik içeriğinin yüksek olduğı; sarımsak eklenen örneklerde ise fenolik içeriğin anlamlı şekilde düştüğü raporlanmıştır (Jakubczyk ve diğerkleri, 2023).

Bir başka çalışmada ise, Panghal, Virkar, Kumar, Dhull, Gat ve Chhikara (2017) LAB fermentasyonu sonucu kırmızı pancar suyundaki toplam fenolik madde miktarının arttığını belirtmişlerdir.

Mevcut tez çalışmasında elde edilen bulgulara benzer şekilde, nar suyunun LAB suşlarıyla fermentasyonunun incelendiğı bir başka çalışmada, Mousavi ve diğerkleri (2013) nar suyunun *Lactobacillus* suşları ile fermente edilmesiyle toplam fenolik içeriğinin arttığını bildirmişlerdir. Literatürde kırmızı pancar ekstraktlarının fermentasyonunda LAB suşlarının toplam fenolik madde içeriğı üzerine etkisini inceleyen bir başka çalışmada (Mohsen ve diğerkleri, 2018), fermentasyonun toplam fenolik madde miktarını anlamlı derecede artırdığı bildirilmiştir. Çalışmada, *Lactobacillus acidophilus* ile fermente edilen örneklerin, *Lactobacillus plantarum* ile fermente edilenlere kıyasla daha yüksek toplam fenol içeriğine sahip olduğı bulunmuştur. Bu durum, farklı LAB suşlarının fenolik bileşiklerin serbest hale geçmesi, biyotransformasyonu veya fenolik-protein komplekslerinin parçalanması üzerinde farklı etkilere sahip olabileceğini göstermektedir.

Mevcut çalışmada elde edilen bulgular ve literatürdeki destekleyici sonuçlar, farklı LAB suşları ilavesiyle gerçekleştirilen fermentasyonun fenolik bileşikler üzerinde önemli etkiler yaratabildiğini göstermektedir.

Öte yandan toplam fenolik madde miktarı ile antioksidan kapasite sonuçları arasında belirgin bir pozitif korelasyon gözlenmiştir. Fenolik bileşikler, yapılarındaki hidroksil grupları sayesinde serbest radikalleri etkisiz hale getirebilme yeteneğine sahiptir ve bu nedenle ABTS ve DPPH gibi radikal süpürme testlerinde yüksek etkinlik göstermeleri beklenir. Çalışmamızda da en yüksek toplam fenolik içeriğe sahip LP örneğı, hem ABTS hem de DPPH testlerinde en yüksek antioksidan kapasite değerlerini vermiştir. Benzer şekilde, LD

örneği LC ve K'ya kıyasla daha yüksek fenolik içeriğe sahip olup, antioksidan kapasitesi de buna paralel olarak yüksek bulunmuştur. Bu durum, fenolik bileşiklerin toplam miktarındaki artışın, örneklerin antioksidan kapasitesini artırmada önemli bir faktör olduğunu göstermektedir.

4.3.4. LC-ESI-MS/MS fenolik bileşiklerin analizi sonuçları

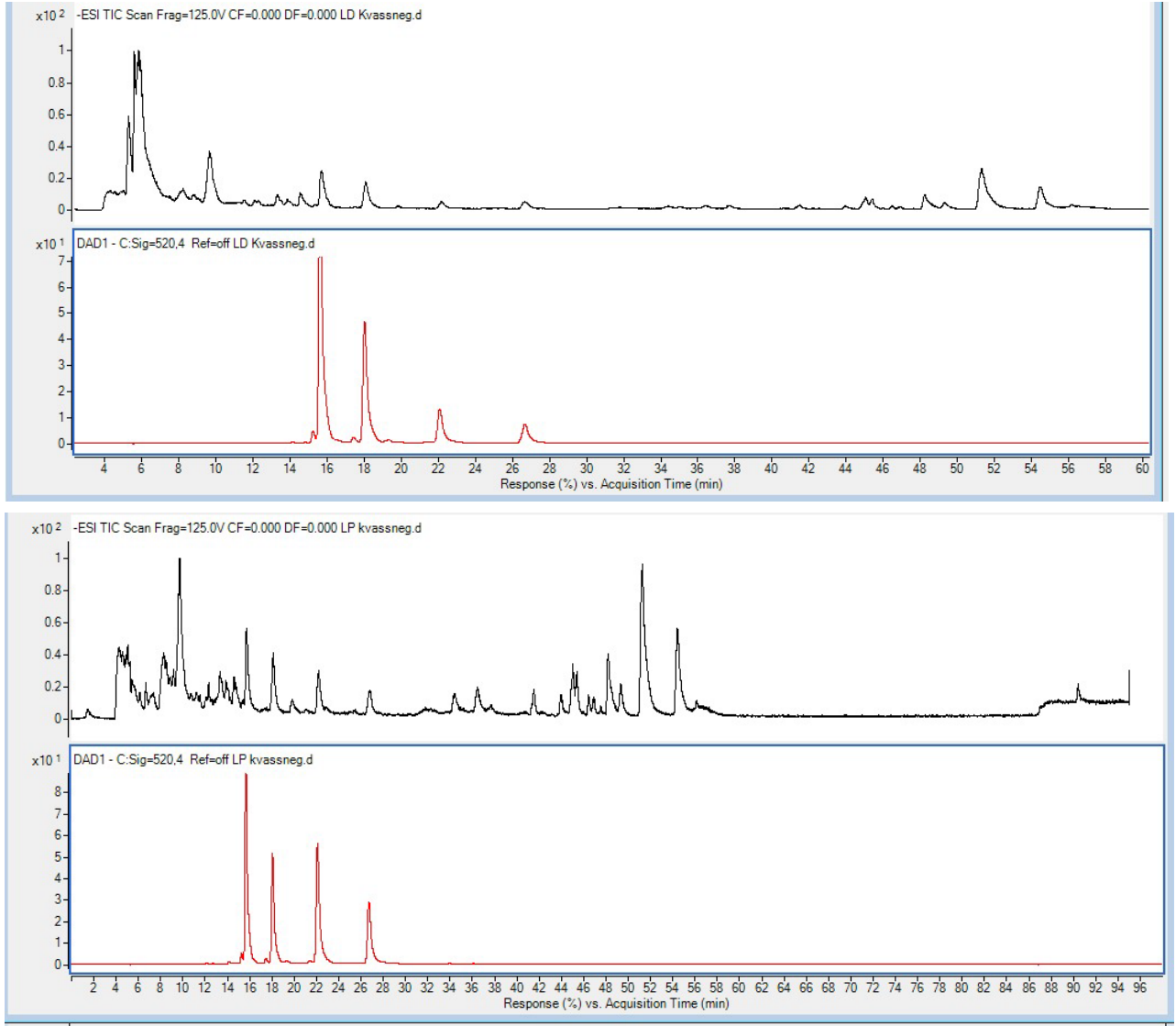
Çalışmada pancar kvass örneklerinde biyoaktif bileşiklerden betaksantinler, betasiyaninler ve fenolik bileşikler olmak üzere üç grup bileşikler tanımlanmış ve miktarları belirlenmiştir (Tablo 4.11). Betasiyaninler, kırmızı-mor renk tonlarından sorumlu olan azot içeren pigmentlerdir ve pancardaki en baskın betalain türüdür. Bu bileşikler güçlü antioksidan özellikleriyle bilinirler ve serbest radikalleri etkisiz hale getirerek hücreleri oksidatif strese korurlar. Betaksantinler ise sarı-turuncu tonlardaki pigmentlerdir ve özellikle pancarın renginde daha az baskın olmalarına rağmen, önemli antioksidan ve antiinflamatuar özelliklere sahiptirler. Her iki pigment grubu da betalainler sınıfına aittir ve ısı, ışık gibi çevresel faktörlere karşı oldukça duyarlıdır. Fenolik bileşikler ise bitkilerde yaygın olarak bulunan ve sağlık açısından çeşitli biyolojik etkiler gösteren ikincil metabolitlerdir. Bu bileşikler; antioksidan, antimikrobiyal ve antiinflamatuar özelliklere sahiptir ve fermente ürünlerin fonksiyonel özelliklerine önemli katkılar sağlarlar. Bu bileşikler özellikle meyve, sebze, tahıl ve farklı bitkisel ürünlerde doğal olarak bulunmaktayken gıdalara özgü renk, tat ve aroma gibi karakteristik özelliklerin oluşmasında oldukça önemli bir rol oynar. Ayrıca, fenolik bileşiklerin insan vücudunda antioksidan, antimikrobiyal, antiinflamatuar ve antiviral etkiler gösterdiği literatürde yapılan çalışmalarla belirlenmiştir (Fraga, Croft, Kennedy ve Tomás-Barberán, 2019; Sawicki ve diğerleri, 2024).

Kırmızı pancar (*Beta vulgaris* L.), özellikle betalain ve fenolik asitler gibi zengin fenolik içeriğiyle dikkat çekmektedir (Sawicki, Martinez-Villaluenga, Frias, Wiczowski, Peñas, Bączek ve Zieliński, 2019). Son yıllarda yapılan çalışmalar, farklı laktik asit bakterileri ile gerçekleştirilen fermente pancar suyu üretimlerinin, pancar kvassın fonksiyonel özelliklerine pozitif etkisi olduğunu bildirmişlerdir (Klewicka, Zduńczyk ve Juśkiewicz, 2009; Sawicki ve diğerleri, 2024).

Öte yandan, yapılan çalışmalar, taze pancar suyundaki fenoliklerin biyoyararlılığının ve konsantrasyonunun fermentasyon işlemiyle artabildiğini, bu durumun fermentasyon sürecinde fenolik bileşiklerin serbestleşmesiyle ilgili olduğunu bildirmişlerdir (Kujala ve diğerleri,

2000). Literatürdeki çalışmalar genellikle fermente pancar ürünlerinde toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivite üzerine odaklanırken, farklı laktik asit bakterilerinin bireysel fenolik bileşiklerinin profilinin çıkarılması (betasiyaninler, betaksantinler, *p*-hidroksibenzoik asit, feruloil-tiramin, (epi)kateşin glukozit gibi) üzerine yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır.

Mevcut çalışmada, spontan fermantasyon (K) ile birlikte, gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılan ve probiyotik etkileri çok sayıda çalışmayla desteklenmiş üç farklı *Lactobacillus* suşu (*L. casei*, *L. delbrueckii*, *L. plantarum*) kullanılarak fermente edilen kırmızı pancar kvass örneklerinin fenolik profilleri, günümüz teknolojisindeki en hassas tekniklerden birisi olarak bilinen LC-DAD-ESI-MS/MS yöntemiyle belirlenmiştir (Şekil 4.4.). Fenolik bileşenlerin örnekler arası dağılımını görselleştiren ısı haritası ve kümeleme analizi de Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.4 Pancar kvass örneklerinin LC-ESI-DAD-MS/MS kromatogramları

Tablo 4.11. Pancar kvass fenolik bileşen profili*

	Bileşik Adı	RT (min)	UV_{max} (nm)	Mod	Fragment İyonlar [MS/MS]	K	LC	LD	LP
<i>Betaksantin türevleri</i>									
1	Arjinin betaksantin	5,17	520	311,1 ²	294,1; 268,1; 223,1; 178,1	11,05 ± 0,43 ^c	9,55 ± 0,39 ^c	25,86 ± 0,74 ^b	49,79 ± 1,08 ^a
2	Glutamik betaksantin	5,42	520	365,1 ²	235,1; 118,0; 148,0	22,72 ± 0,53 ^c	59,86 ± 1,21 ^a	44,55 ± 1,02 ^b	41,08 ± 0,94 ^b
3	Tirozin betaksantin	7,54	520	496,1 ²	137,0; 218,0; 276,1; 322,1; 362,1	TE	6,22 ± 0,21 ^b	38,39 ± 0,91 ^a	43,09 ± 0,97 ^a
4	Asparajin betaksantin	13,52	520	343,1 ¹	325,1; 217,0; 136,0	21,18 ± 0,82 ^c	38,05 ± 1,21 ^a	27,06 ± 0,93 ^b	30,43 ± 1,06 ^b
5	Metiyonin betaksantin I	22,25	520	341,0 ¹	193,1; 119,0; 130,0; 194,1	26,97 ± 0,93 ^b	35,93 ± 1,08 ^a	13,89 ± 0,82 ^c	37,51 ± 1,12 ^a
6	Metiyonin betaksantin II	27,01	520	192,0 ¹	119,0; 89,0	22,91 ± 0,80 ^b	39,79 ± 1,18 ^a	20,12 ± 0,72 ^c	27,83 ± 0,93 ^b
					Toplam	104,83 ± 2,04^c	160,08 ± 2,29^b	167,38 ± 2,21^b	220,92 ± 2,72^a
<i>Betasiyanin türevleri</i>									
7	Betanin	14,87	520	551,1 ²	389,1; 387,1; 343,1; 150,1	53,69 ± 1,94 ^b	58,43 ± 2,01 ^b	120,17 ± 4,26 ^a	127,95 ± 4,57 ^a
8	2-dekarboksil- neobetanin	15,83	520	503,1 ¹	343,1; 217,0; 89,0	29,57 ± 1,02 ^c	52,96 ± 0,19 ^b	107,65 ± 3,78 ^a	95,55 ± 3,41 ^a
9	İzobetanin	16,58	520	549,1 ¹	387,1; 325,0; 179,0; 149,0	4,78 ± 0,21 ^d	23,26 ± 0,38 ^c	73,84 ± 1,91 ^b	98,79 ± 2,10 ^a
10	2-dekarboksil-izobetanin	18,22	520	505,1 ¹	343,1; 345,1; 218,1; 149,0	6,05 ± 0,21 ^d	32,92 ± 0,88 ^c	98,82 ± 2,74 ^b	118,42 ± 3,31 ^a
11	Betanidin	20,43	520	389,1 ²	343,1; 110,9; 150,1; 137,0	52,44 ± 2,08 ^b	66,46 ± 2,19 ^b	33,22 ± 1,97 ^c	79,15 ± 2,47 ^a
12	Neobetanin	36,99	520	549,1 ²	387,1; 489,9; 343,1; 150,1	2,89 ± 0,13 ^d	4,13 ± 0,12 ^c	5,51 ± 0,17 ^b	8,76 ± 0,21 ^a
					Toplam	149,42 ± 3,04^d	238,16 ± 3,13^c	439,21 ± 6,89^b	528,62 ± 7,28^a

Tablo 4.11. Pancar kvass fenolik bileşen profili* (devamı)

	Bileşik Adı	RT (min)	UV _{max} (nm)	Mod	Fragment İyonlar [MS/MS]	K	LC	LD	LP
	<i>Diğer fenolik bileşikler</i>								
13	<i>p</i> -hidroksibenzoik asit*	7,74	360*	405,1 ¹	154,9; 91,0	18,89 ± 0,46 ^{ab}	8,73 ± 0,32 ^c	24,57 ± 0,63 ^a	21,62 ± 0,59 ^{ab}
14	Feruloil-tiramin	31,17	360	338,1 ¹	193,0; 147,0; 121,0	0,66 ± 0,04 ^d	2,87 ± 0,12 ^b	1,43 ± 0,08 ^c	4,16 ± 0,15 ^a
15	(Epi)kateşin glukozit	42,09	360	451,0 ¹	289,0; 179,0; 125,0	1,21 ± 0,08 ^c	1,02 ± 0,07 ^c	1,72 ± 0,11 ^b	2,55 ± 0,13 ^a
	Toplam					20,76 ± 0,47^b	12,62 ± 0,35^c	27,72 ± 0,64^a	28,33 ± 0,62^a

* (mg/L); T.E.: Tespit edilemedi; 1:[M-H]-(negatif mod), 2:[M-H]+(pozitif mod); K: Kontrol (spontan fermentasyon), LC: *Lactobacillus casei* ile fermente edilen örnek, LD: *Lactobacillus delbrueckii* ile fermente edilen örnek, LP: *Lactobacillus plantarum* ile fermente edilen örnek. Aynı satırda farklı harflerle (^a, ^b, ^c, ^d) gösterilen değerler istatistiksel olarak anlamlı farkları ($p < 0.05$) ifade etmektedir. Aynı harfi paylaşan gruplar arasında anlamlı fark bulunmamaktadır.

Çalışmada seçilen bu üç suşun, fenolik bileşikler üzerine hem biyoyararlılık bakımından hem de biyotransformasyon bakımından potansiyeli artırma kapasiteleri önceki yapılan birçok çalışmada kanıtlanmıştır. Örneğin *L. plantarum*'un fenolik asitleri metabolize etme ve yeni fenolik türevler üretme potansiyeli Di Cagno, Filannino ve Gobbetti (2015) tarafından bildirilmiştir. *L. delbrueckii*'nin fermente sebze ürünlerinde aroma ve fonksiyonel bileşen üretimine etkisi vurgulanırken (Marco, Heeney, Binda, Cifelli, Cotter, Foligné, Gänzle, Kort, Pasin, Pihlanto, Smid ve Hutkins, 2017), *L. casei*'nin ise bağırsak mikrobiyotası üzerindeki olumlu etkilerinin yanı sıra fenolik bileşiklerin stabilizasyonunda etkili olduğu bildirilmiştir (Jafar, Ghaleb ve Fadhil, 2019).

Bu çalışmada, kontrol (K), LC, LD ve LP örneklerinde LC-DAD-ESI-MS/MS yöntemi ile 15 farklı fenolik bileşik tanımlanmış ve bu bileşiklerin konsantrasyonları hesaplanmıştır. Elde edilen veriler, hem farklı suşlarla gerçekleştirilen fermantasyon örnekleri arasında karşılaştırmalı olarak hem de literatürde bildirilen konsantrasyon aralıklarıyla kıyaslanarak, istatistiksel analizlerle değerlendirilmiştir.

Betaksantin Türevleri

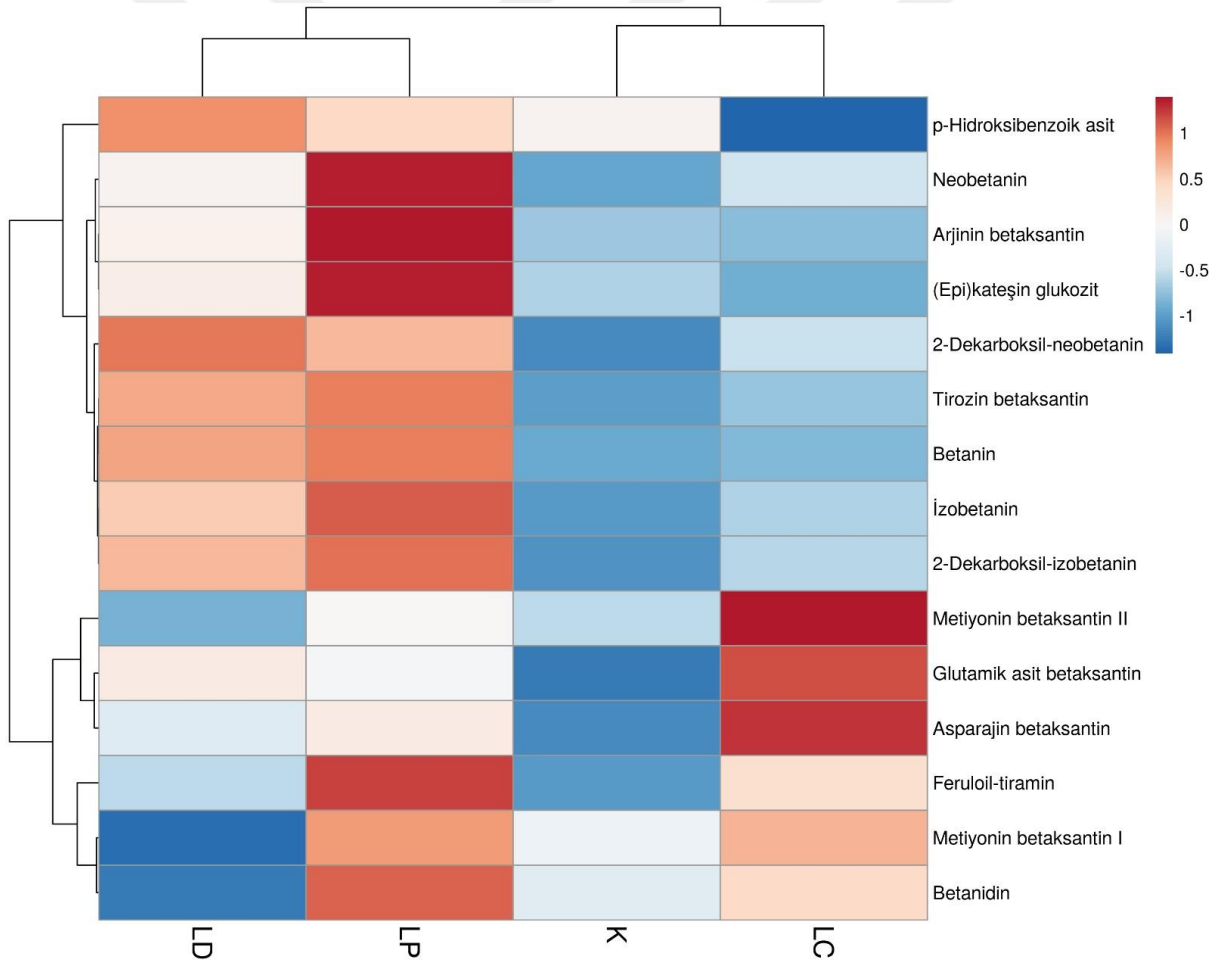
Betalamik asitin parçalanmasıyla oluşan ve sarı-turuncu pigmentlere sahip olan betaksantinler, kırmızı pancar gibi betalain içeren bitkilerde doğal olarak bulunan önemli biyoaktif bileşiklerdir. Betaksantinler, özellikle antioksidan, antienflamatuvar ve nöroprotektif etkileri ile öne çıkan ve bu önemli özellikleriyle hem fonksiyonel gıda sektöründe hem de sağlık destekleyici ürünlerde önem arz eden bileşikler arasında yer almaktadır. Ayrıca bu bileşiklerin sarı-turuncu renk skalasında stabilitesi yüksek etkili boyar özellikte oluşu, gıda endüstrisinde doğal renklendirici olarak da kullanılmasına olanak sağlamıştır (Azeredo, 2009). Kırmızı pancarda ise betanin ile birlikte betaksantinlerin varlığı, pancarın hem organoleptik özelliklerine hem de sağlık potansiyeline önemli katkılar sağlamaktadır (Gandía-Herrero ve García-Carmona, 2012).

Çalışma kapsamında kırmızı pancar kvass örneklerinde LC-DAD-ESI-MS/MS yöntemi ile toplam altı farklı betaksantin türevi tanımlanmıştır. Elde edilen veriler, farklı fermantasyon suşlarının betaksantin oluşumu üzerinde anlamlı etkiler oluşturduğunu ortaya koymaktadır.

Spontan fermantasyon (K) uygulanan kontrol örneğinde toplam betaksantin konsantrasyonu $104,83 \pm 2,04 \mu\text{g/mL}$ olarak tespit edilmiştir. Laktik asit bakterileriyle fermente edilen örneklerde ise bu değerler sırasıyla *L. casei* (LC) için $160,08 \pm 2,29 \text{ mg/L}$, *L. delbrueckii*

(LD) için $167,38 \pm 2,21$ mg/L ve *L. plantarum* (LP) için $220,92 \pm 2,72$ mg/L olarak belirlenmiştir. Bu bulgular, fermentasyon sürecinin betaksantin düzeylerini artırabileceğini göstermektedir; özellikle *L. plantarum* suşu, betaksantin sentezinde en yüksek etkiyi göstermiştir.

Betaksantin türevleri arasında glutamik asit betaksantin ($41,08 \pm 0,94$ mg/L) ve tirozin betaksantin ($43,09 \pm 0,97$ mg/L), LP örneğinde öne çıkan bileşikler olmuştur. Bu durum, söz konusu suşun amino asit biyotransformasyonu üzerindeki etkisine işaret etmektedir. Ayrıca metiyonin betaksantin I ve II formları toplamda yaklaşık 65 mg/L'lik konsantrasyonlarla dikkat çekmiştir. Bu bileşikler, benzer şekilde Silva, Baião, Ferreira ve Paschoalin (2021) ve Kumorkiewicz-Jamro, Świergosz, Sutor, Spórna-Kucab ve Wybraniec (2021) tarafından bildirilen yüksek metiyonin türevli betaksantin miktarlarıyla da örtüşmektedir.



Şekil 4.5. Pancar kvass örnekleri fenoliklerinin ısı haritası ve kümeleme analizi

Literatürde bulunan çalışmalar hem taze kırmızı pancarda hem de fermente kırmızı pancar suyu olarak bilinen pancar kvassta çeşitli betaksantin türevlerinin tanımlandığını göstermektedir (Czyzowska ve diğerleri, 2020). Kırmızı pancar suyunda yapılan bir çalışmada, Wybraniec S. (2005) 7'den fazla betaksantin türevi tespit ederken; fermente pancar suyunda öncülü amino asitler olan çeşitli türevlerin metabolomik yöntemlerle ayrımını raporlamıştır. Ayrıca, Czyzowska ve diğerleri (2006), *Lactibacillus* suşlarının betaksantin profili üzerinde anlamlı değişiklikler oluşturabildiğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, fermentasyon sürecinin betaksantin oluşumu ve stabilitesi üzerinde belirleyici olabileceğini düşündürmektedir.

Betaksantin türevlerinin ısı haritası ve kümeleme analizlerindeki dağılımına bakıldığında, özellikle amino asit konjugatları olan tirozin, arjinin, metiyonin, glutamik asit ve asparajin betaksantinlerinin fermentasyon süreciyle miktarsal olarak önemli ölçüde artış gösterdiği belirlenmiştir. LP ve LD ile fermente edilen örneklerde bu türevlerin çoğunun yüksek yoğunlukta olduğu; buna karşın kontrol örneklerinde bu bileşiklerin oldukça düşük seviyelerde kaldığı belirlenmiştir. En dikkat çeken durum, metiyonin betaksantin II bileşiğinde gözlenmiş olup, bu bileşik LP örneğinde en yüksek, LC örneğinde ise en düşük seviyede bulunmuştur.

Bu bulgular, ilgili suşların amino asit metabolizması üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır. *L. plantarum* ve *L. delbrueckii* suşlarının, substrat amino asitlerin salınımı ve transaminasyon reaksiyonları üzerinden betaksantin sentezini artırma potansiyeline sahip olduğu söylenebilir. Bu durum aynı zamanda kvass ürününün fonksiyonel özelliklerini destekleyen doğal pigmentlerin ve biyolojik olarak aktif bileşiklerin zenginleşmesine olanak sağlamaktadır. Betaksantinler, sadece renk değil aynı zamanda antioksidan kapasite ve potansiyel sağlık etkileri açısından da önemli olduğundan, bu suşların özellikle fonksiyonel gıda üretiminde tercih edilmesi gerektiği sonucu çıkarılabilir.

Örneklerin betaksantin miktarlarında görülen farklılığın oluşmasının temelinde, kullanılan bakteriyel suşların pancarın doğasında bulunan amino asitler kullanarak farklı bileşiklere dönüştürmesi, ortam pH'sı ile redoks koşullarındaki değişimlerden de etkilenebilmektedir. *L. plantarum* suşunun betaksantin biyosentezinde yer alan öncül amino asitleri daha etkili kullanması, betaksantin pigmentlerinin daha yüksek oranda sentezlenmesine sebep olduğu düşünülmektedir. Bu bulguya benzer olarak, Gandía-Herrero ve diğerleri (2016) ve da Silva, Baião, de Oliveira Silva, Alves, Perrone, Del Aguila ve Paschoalin (2019), fermentasyonda

ortama hâkim olan suşların ve diğer bazı parametrelerin değişimlerin betalain yapılarında farklılıklar yarattığını ve suşların değişmesiyle farklı yapılar oluşabildiğini belirtmişlerdir. *L. casei*'nin ise fermentasyon sürecinde diğer suşlara göre daha sınırlı etki göstermesi, suşlar arası enzimatik farklılıklarla açıklanabilir.

Betasiyanin Türevleri

Betasiyaninler, kırmızı pancara karakteristik kırmızı-mor rengini veren, suda çözünabilirliği yüksek azotlu pigmentlerdir. Bu bileşikler, betalain ailesinin betaksantinlerle beraber iki önemli alt grubundan bir tanesidir. Yapılarında genellikle farklı yapılara ve bağlara sahip betalamik asit türevleri bulundurulur. Betasiyaninler, sektörde sadece doğal renk verici maddeler olarak değil, aynı zamanda yüksek antioksidan kapasiteleri, antiinflamatuvar özellikleri ve potansiyel antikanserojen etkileriyle de kırmızı pancarın ana biyoaktif bileşeni olarak bilinmektedir. Bu nedenle hem fonksiyonel gıda bileşeni hem de farmakolojik ajan olarak önem taşımaktadırlar (Sawicki ve diğerleri, 2016).

Bu tez çalışmasında, toplam betasiyanin konsantrasyonu açısından *L. plantarum* suşu (LP) en zengin örnek olmuş ($528,62 \pm 7,28 \mu\text{g/mL}$), ardından *L. delbrueckii* ($439,21 \pm 6,89 \text{ mg/L}$) ve *L. casei* ($238,16 \pm 3,13 \text{ mg/L}$) gelmektedir. Spontan fermentasyona tabii tutulmuş olan kontrol (K) örneğinde ise toplam betasiyanin miktarı, *Lactobacillus* suşu inoküle edilmiş diğer üç örneğe göre önemli düzeyde daha düşük bulunmuştur ($149,42 \pm 3,04 \text{ mg/L}$). LP örneğindeki yüksek betasiyanin konsantrasyonunun, benzer şekilde literatürde *L. plantarum*'un betalain yapısını stabil tutan antioksidan metabolizmasını desteklediğini ve betalain bozunmasını azaltıcı etki gösterdiği bildirilmiştir (Gengatharan, Dykes ve Choo, 2015). Öte yandan betasiyanin yönünden bir diğer öne çıkan örnek olan LD örneğinde *L. delbrueckii* suşunun betalain türevlerini koruyucu etkisi göze çarpmaktadır. Buna karşılık çalışmanın önemli bulgularından bir tanesi olarak *L. casei*'nin betasiyanin koruma kapasitesinin daha sınırlı olması, suşun fenolik ve pigment metabolizması üzerindeki etkisinin daha zayıf olduğunu düşündürmektedir.

Yapılan araştırmalarda, özellikle betanin, izobetanin ve neobetanin gibi betasiyanin türevlerinin ve amino asit öncüllü betaksantinlerin kırmızı pancarda baskın olduğu bildirilmiştir. Slatnar, Stampar, Veberic ve Jakopic (2015), pancarda betasiyanin grubundan betaninin, betaksantin grubundan ise glutamik asit betaksantin yüksek miktarlarda bulunduğunu belirtmiştir.

Elde edilen bulgular incelendiğinde, betanin, 2-dekarboksil-neobetanin, izobetanin, 2-dekarboksil-izobetanin, betanidin ve neobetanin olmak üzere toplamda altı farklı betasiyanin türevi tespit edilmiştir. Bu bileşikler arasında en yüksek betanin konsantrasyonu ($127,95 \pm 4,57$ mg/L) LP örneğinde belirlenirken, LP örneğinde bu bileşiği sırasıyla 2-dekarboksil-izobetanin ($118,42 \pm 3,31$ mg/L) ve izobetanin ($98,79 \pm 2,10$ mg/L) takip etmiştir. Bu bulgular, kullanılan suşlar ve fermentasyon parametreleri farklı olsa da Viña, Chaves ve Roura (2017) ile Knafelz, Stopar ve Vidrih (2020) tarafından bildirilen konsantrasyonlar ile benzerlik göstermektedir. 2-dekarboksil türevlerinin fermentasyon sonunda yüksek konsantrasyonlara ulaşmasının ise, mikroorganizma kaynaklı dekarboksilasyon reaksiyonlarının bir göstergesi olduğu düşünülmektedir (Manchali, Murthy, Nagaraju ve Neelwarne, 2013). Aynı zamanda literatürde de betanidin ve neobetanin gibi türevlerin düşük stabilite göstermesi, özellikle pH değişimleri ve oksidatif ortam gibi çevresel koşullara olan duyarlılıklarıyla ilişkilendirilmiştir (Melo, Martins, Paiva & Lima, 2019).

Bu çalışmada elde edilen ısı haritası (heatmap) analizine göre, betasiyanin türevlerinin dağılımı farklı fermentasyon koşullarına göre anlamlı farklılık göstermiştir. Özellikle *Lactobacillus plantarum* (LP) suşu ile fermente edilen örneklerde, betanin, izobetanin, neobetanin, 2-dekarboksil-izobetanin ve betanidin bileşiklerinin daha yüksek düzeyde bulunduğu gözlenmiştir. Bu durum, *L. plantarum* suşunun betalain stabilitesi ve biyoyararlanımı açısından oldukça olumlu etkiler oluşturduğunu göstermektedir (Czyżowska ve diğerleri, 2006). Buna karşın, kontrol grubu (K) örneklerinde bu pigmentlerin yoğunlukları belirgin şekilde düşük kalmış, bu da spontan fermentasyon sürecinde bu bileşiklerin parçalanma veya oksidatif degradasyona uğrama riskinin daha yüksek olduğunu düşündürmektedir.

Bu farklılıklar, suşlar arasındaki pH düzenleme kabiliyetleri, antioksidatif savunma mekanizmaları ve betalain yıkımını engelleyen enzimatik aktiviteleriyle ilişkili olabilir (Gengatharan ve diğerleri, 2015). Fermentasyon sonunda ortamda *L. plantarum*'un hâkim suş olduğu durumlarda, pigmentlerin oksidatif bozulmalardan daha iyi korunduğu, daha yüksek renk stabilitesi sağlandığı bildirilmiştir (Zhang, Wang, Wu, Wang, Lv, Chen, Liu, Pang ve Tan, 2021). *L. delbrueckii* (LD) ve *L. casei* (LC) ile fermente edilen örneklerde ise betasiyanin profilleri orta düzeyde seyretmiş, bu da bu iki suşun betalain biyostabilitesine katkısının sınırlı ancak göz ardı edilemeyecek düzeyde olduğunu göstermektedir.

Bu tez çalışmasında, toplam betasiyanin konsantrasyonu açısından *L. plantarum* ile fermente edilen (LP) en zengin örnek olmuş ($528,62 \pm 7,28$ mg/L), ardından *L. delbrueckii* ($439,21 \pm 6,89$ mg/L) ve *L. casei* ($238,16 \pm 3,13$ mg/L) ile fermente edilen örnekler gelmektedir. Spontan fermentasyona tabii tutulmuş olan kontrol (K) örneğinde ise toplam betasiyanin miktarı, lactobacillus suşu inoküle edilmiş diğer üç örneğe göre önemli düzeyde daha düşüktür ($149,42 \pm 3,04$ mg/L). LP örneğindeki yüksek betasiyanin konsantrasyonunun, benzer şekilde literatürde *L. plantarum*'un betalain yapısını stabil tutan antioksidan metabolizmasını desteklediğini ve betalain bozunmasını azaltıcı etki gösterdiği bildirilmiştir (Gengatharan ve diğerleri, 2015). Öte yandan betasiyanin yönünden bir diğer öne çıkan örnek olan LD örneğinde *L. delbrueckii* suşunun betalain türevlerini koruyucu etkisi göze çarpmaktadır. Buna karşılık çalışmanın önemli bulgularından bir tanesi olarak *L. casei*'nin betasiyanin koruma kapasitesinin daha sınırlı olması, suşun fenolik ve pigment metabolizması üzerindeki etkisinin daha zayıf olduğunu düşündürmektedir.

Diğer Fenolik Bileşikler

Kırmızı pancar, betalainler açısından zengin olmasının yanı sıra fenolik asitler ve flavonoidler gibi diğer fenolik bileşikler de içermektedir. Bu bileşikler arasında özellikle ferulik asit, p-hidroksibenzoik asit ve kateşin türevleri öne çıkmaktadır. Pancarın fermente edilmesi, mevcut fenolik bileşiklerin biyoyararlanımını artırabileceği gibi, mikrobiyal enzim aktivitesi sayesinde bazı yeni bileşiklerin de ortaya çıkmasına yol açabilir (Guldiken ve diğerleri, 2016).

Mevcut çalışmada, betaksantinler ve betasiyaninler dışında toplamda üç farklı fenolik bileşik tespit edilmiştir: p-hidroksibenzoik asit, feruloil-tiramin ve (epi)kateşin glukozit. En yüksek miktarda tespit edilen bileşik p-hidroksibenzoik asit olup, LD örneğinde $24,57 \pm 0,63$ mg/L, LP örneğinde $21,62 \pm 0,59$ mg/L, K örneğinde $18,89 \pm 0,46$ mg/L, ve LC örneğinde $8,73 \pm 0,32$ mg/L olarak belirlenmiştir. Feruloil-tiramin miktarı ise en yüksek LP örneğinde gözlenmiştir ($4,16 \pm 0,15$ mg/L). (Epi)kateşin glukozit miktarları tüm örneklerde 1–3 mg/L aralığında kalmıştır. Bu bulgular, Montoro, Cortés-Giraldo ve Hernández (2018) ile Wruss, Wenzl, Kroh ve Becker (2015) tarafından bildirilen değer aralıklarıyla uyumludur.

Isı haritası ayrıca, fermente pancar kvass örneklerinde fenolik bileşiklerden p-hidroksibenzoik asit, (epi)kateşin glukozit ve feruloil-tiramin bileşiklerinin dağılımında da anlamlı farklılıklar olduğunu göstermektedir. Özellikle p-hidroksibenzoik asit LP ve LD örneklerinde yüksek düzeyde bulunurken, K ve LC örneklerinde daha düşük seviyelerde tespit edilmiştir. Benzer

şekilde, feruloil-tiramin bileşiği LP ve LC örneklerinde yüksek konsantrasyon göstermiştir. Bu farklılıklar, kullanılan laktik asit bakteri suşlarının fenolik bileşiklerin sentezi, modifikasyonu veya biyoyararlanımında farklı etkiler oluşturabileceğini göstermektedir.

Özellikle *L. plantarum* suşunun fenolik asit dekarboksilaz ve redüktaz aktiviteleri ile bu bileşiklerin serbest formlarının oluşumunu kolaylaştırdığı düşünülmektedir. Bu aktivitelerin sadece pigment içeriğini değiştirmediği, aynı zamanda pancar kvassın antioksidan kapasitesine ve fonksiyonel potansiyeline önemli bir katkı sağladığı belirlenmiştir (Barbu, Cotârleţ, Bolea, Cantaragiu, Andronoiu, Bahrim ve Enachi, 2020). (Epi)kateşin glukozit bileşiği ise tüm örneklerde nispeten düşük düzeyde kalmış; ancak kontrol örneğinde diğer örneklerle göre bir miktar daha yüksek gözlemlenmiştir. Bu durum, bu bileşiğin fermantasyon sırasında enzimatik yıkıma karşı daha hassas olabileceğini düşündürmektedir.

Örnekler arası farklılıklar incelendiğinde, özellikle *Lactobacillus plantarum*'un pancar kvassın fenolik madde içeriğinde artışa sebep olduğu görülmektedir. *L. plantarum*'un fenolik bileşikler üzerinde enzim aktivitesi sayesinde *p*-hidroksibenzoik asit ve konjüge fenolik amin bileşiklerinin miktarını artırabildiği çeşitli çalışmalarda da bildirilmiştir (Di Cagno ve diğerleri, 2015). *L. casei* ve *L. delbrueckii* suşları ise bazı bileşiklerde orta düzeyde artış sağlamıştır. Spontan fermantasyon uygulanan kontrol örneği bazı fenolikleri önemli miktarlarda içerse de, bu miktarların sistematik ve kontrollü suşlarla kıyaslandığında daha sınırlı kaldığı görülmektedir.

Sonuç olarak bu çalışmada, kırmızı pancardan hazırlanan kvass örneklerinin, LC-DAD-ESI-MS/MS yöntemi ile fenolik bileşenler profili belirlenmiş, toplamda 15 farklı fenolik bileşik tanımlanmış ve konsantrasyonları hesaplanarak hem kendi aralarında hem de literatürdeki verilerle karşılaştırılmıştır. Bileşikler yapısal özelliklerine göre betaksantin türevleri, betasiyanin türevleri ve diğer fenolik bileşikler olmak üzere üç ana grupta incelenmiştir.

Betaksantin grubunda özellikle arginin betaksantin, glutamik asit betaksantin ve metiyonin betaksantin türevleri öne çıkan bileşikler olmuşlardır. Bu bileşiklerin toplam miktarları, özellikle *L. plantarum* ile fermente edilen örnekte belirgin şekilde yüksek bulunmuştur. Bu artışın *L. plantarum*'un fenolik bileşik biyotransformasyonundaki güçlü enzimatik aktivitesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Betasiyanin grubunda ise en baskın bileşik betanin olurken, izobetanin, betanidin ve dekarboksil türevlerinin de önemli seviyelerde bulunduğu görülmüştür. Fermantasyon sonrası betasiyanin türevlerinin konsantrasyonu da

betaksantinlerde olduğu gibi en yüksek LP örneğinde gözlenmiştir. Bu durum, betalain stabilitesi ve üretiminin mikroorganizmalara bağlı olarak önemli ölçüde değişebildiğini ortaya koymaktadır.

Çalışmada belirlenen diğer fenolik bileşikler *p*-hidroksibenzoik asit, feruloil-tiramin ve (epi)kateşin glukozit gibi bileşikler olmuştur. Bu grup bileşiklerde de benzer şekilde LP örneği öne çıkarken, *L. delbrueckii*'nin özellikle *p*-hidroksibenzoik asit üretimini artırma potansiyeline sahip olduğu anlaşılmıştır.

Elde edilen bulgular, fermente kırmızı pancar suyunun, sadece betalain bileşikleri açısından değil, aynı zamanda çeşitli fenolik maddeler bakımından da zenginleştirilebileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, kullanılan probiyotik suşların bileşiklerin hem türünü hem de konsantrasyonunu anlamlı biçimde etkilediği ortaya konmuştur. Literatürde yer alan çalışmalarla karşılaştırıldığında, bu çalışmada elde edilen konsantrasyonlar genel olarak kabul edilebilir aralıkta kalmış, bazı bileşiklerde ise literatürde verilen diğer değerlerden daha yüksek değerlere ulaşılmıştır. Özellikle *L. plantarum*, fenolik içeriği artırma potansiyeli açısından öne çıkarken, *L. delbrueckii* ve *L. casei* suşları da bazı bireysel bileşiklerde anlamlı katkılar sağlamıştır.

Bu sonuçlar, kırmızı pancar kvassının fonksiyonel bir içecek olarak değerlendirilmesi açısından oldukça önemlidir. Kullanılan *Lactobacillus* suşlarının seçimi, hem sağlık yararları hem de bileşik profili üzerinde belirleyici rol oynamakta olup, bu yönüyle fermantasyonun optimizasyonu için yeni araştırmalara da ışık tutmaktadır.

4.3.5. Pancar kvass örneklerinin aroma profili

Gıdalarda aroma profili, tüketici kabulünü ve ürün kalitesini doğrudan etkileyen en belirleyici kalite parametrelerinden birisidir. Özellikle fermente meyve-sebze içeceklerinde hem hammaddenin doğal uçucu bileşikleri hem de fermantasyonda rol oynayan baskın mikroorganizmaların metabolik aktiviteleri sonucu oluşan yeni aroma bileşenleri, fermente gıdaların kendine has tat ve kokusunu oluşturmaktadır. Bu anlamda, mevcut doktora tezinde spontan (K) ve laktik asit bakteri suşları (*Lactobacillus plantarum*, *L. delbrueckii* ve *L. casei*) ilavesiyle elde edilen pancar kvass ürünlerinde bulunan aroma bileşenlerinin kapsamlı şekilde belirlenebilmesi amacıyla günümüzde uçucu aroma analizlerinde en yüksek hassasiyete sahip ekstraksiyon yöntemlerinden biri olan SAFE (Solvent Assisted Flavour Evaporation) tekniği uygulanmıştır. Bu yöntem, temel prensip olarak yüksek vakum altında ve düşük sıcaklıkta

çalıştığı için, ısıl bozulmaya uğrayan veya artefakt (yabancı uçucu bileşenler) oluşturan uçucuların olumsuz etkilerini ortadan kaldırarak aroma profilini özgün hâliyle ortaya koyabilmektedir (Engel ve diğerleri, 1999; Majcher ve Jelen, 2009).

Bu çalışmada kırmızı pancar kvass örneklerinde spontan (K) ve farklı laktik asit bakterileri ile (*Lactobacillus plantarum*, *L. delbrueckii* ve *L. casei*) fermente edilen örneklerde oluşan uçucu bileşikler kapsamlı şekilde belirlenmiştir. Toplamda 46 uçucu bileşik tanımlanmış ve bu bileşikler alkol, asitler, esterler, ketonlar, laktonlar, terpenler, kükürtlü bileşikler, aldehitler, furanlar, furanonlar ve piranonlar olmak üzere 10 ana gruba ayrılmıştır (Tablo 4.12). Toplam uçucu bileşik konsantrasyonları değerlendirildiğinde, en yüksek miktarın *L. plantarum* fermentasyonunda (LP, 14874,1 µg/L) olduğu, bunu sırasıyla *L. delbrueckii* (LD, 9093,4 µg/L) ve *L. casei* (LC, 8848,1 µg/L) ile fermente edilen örneklerinin takip ettiği görülmektedir. Spontan fermentasyon (K) ise en düşük toplam uçucu bileşik içeriğine (4493,5 µg/L) sahip olmuştur. Bu durum, kontrollü fermentasyonun literatürdeki çalışmalara benzer şekilde özellikle *L. plantarum* kullanıldığında uçucu bileşik üretimini belirgin şekilde artırdığını göstermektedir (Di Cagno, Coda, De Angelis ve Gobbetti, 2013).

Fermente kırmızı pancar kvass örneklerinde tespit edilen uçucu bileşiklerin gruplandırılması ve örnekler arası benzerlik/diferansiyasyonun belirlenmesi amacıyla oluşturulan ısı haritası (heatmap) Şekil 4.6'de sunulmuştur. Bu analizde, renk skalası -1 ile +1,5 arasında normalize edilmiş Z-skorumlarına göre düzenlenmiş olup, kırmızı tonlar ilgili bileşiğin örnekte göreceli olarak yüksek seviyede bulunduğunu, mavi tonlar ise düşük seviyelerini temsil etmektedir. Ayrıca hiyerarşik kümeleme sonucunda benzer bileşikler ve örnekler gruplanmıştır.

Isı haritasında örnekler arasında belirgin bir ayrışma gözlenmiştir. En belirgin farklılaşma LP örneği ile diğer örnekler arasında ortaya çıkmıştır. LP örneği, genel olarak pek çok bileşikte özellikle kırmızı tonların hâkim olduğu, yani bileşik konsantrasyonlarının yüksek olduğu örnek olarak öne çıkmaktadır. Bu durum, *Lactobacillus plantarum*'un metabolik aktivitesinin aroma bileşiklerinin üretiminde en etkili suş olduğunu doğrulamaktadır. LC ve LD örnekleri ise birbirine daha yakın bir profile gruplanmış olup, bu suşların uçucu bileşik üretimindeki benzerliklerine işaret etmektedir. Kontrol (K) örneği ise uçucu bileşik çeşitliliği açısından daha sınırlı seviyelerde kalmış ve çoğunlukla mavi tonların baskın olduğu gözlenmiştir. Bu durum spontan fermentasyonun özellikle aroma zenginliği açısından LAB suşlarıyla fermente edilen örneklere kıyasla daha zayıf bir profil ortaya koyduğunu göstermektedir.

Özellikle 1-hidroksi-2-propanon, limonen, 2-metil-2-bütanol, 2-hidroksi-3-metil-2-siklopenten-1-on, 1-hekzadekanol, feniletil asetat bileşiklerİ LP örneğinde ısı haritasında yüksek seviyede tespit edilmiştir. Bu bileşikler hem farklı kimyasal gruplara ait olmaları hem de aroma üzerindeki belirleyici etkileri açısından önem arz etmektedir. Özellikle limonen ve feniletil asetat, sırasıyla narenciye ve çiçeksi notaların belirginleşmesini sağlayarak ürünün duyuşal kalitesini artırmaktadır.

LC örneğinde geranial, anetol gibi terpenik bileşiklerin ve 3-hidroksi-2-metil-4H-piran-4-on gibi piranonların daha yüksek seviyelerde olduğu görölmüştür. Bu durum LC suşunun, özellikle sekonder metabolit üretiminde farklı bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır. LD örneği ise genel olarak orta düzeylerde bileşik konsantrasyonlarına sahip olmakla birlikte, kontrol örneğine göre bazı aldehit ve asit bileşiklerini daha yüksek miktarlarda içermektedir. K örneğinde mavi tonların ağırlıklı olması spontan fermantasyonda özellikle estetik ve duyuşal kaliteyi etkileyen aroma bileşiklerinin sınırlı düzeyde oluştuğunu ortaya koymuştur.

Hiyerarşik kümeleme analizine bakıldığında ise, uçucu bileşikler; grup 1: LP ile korele olan ve çoğunlukla esterlere, alkollere ve terpenlere ait bileşikler, grup 2: Kontrol ve LD/LC ile ilişkili, daha sınırlı aroma bileşikleri olmak üzere iki ana gruba ayrılmıştır. Bu bulgu, suş bazlı farklılaşmanın yalnızca miktarsal değil, bileşik çeşitliliği açısından da belirleyici olduğunu göstermektedir.

Ayrıca aroma gruplarının örneklerdeki dağılımı Şekil 4.7’de Sankey diyagramında gösterilmiştir. Farklı örneklerdeki aroma bileşiklerinin kimyasal sınıflarına göre dağılımını görselleştiren Sankey diyagramı, mikrobiyel suşların uçucu aroma gruplarına olan seçici etkisini açıkça ortaya koymaktadır. LP ve LC örnekleri özellikle ketonlar ve esterler sınıfına güçlü katkılar sağlayarak kremamsı, meyvemsi ve kompleks duyuşal özellikleri desteklemiştir. LP örneği aynı zamanda alkoller açısından da zengin olup, tatlı ve fermente karakterlerin baskın algılanmasına neden olmuştur. LC örneki, keton ve asit sınıflarına yoğun katkısıyla daha belirgin peynirimsi-fermente bir yapı göstermiştir. LD örneği daha dengeli ancak sınırlı aromatik çeşitlilik sunarken, kontrol (K) örneği özellikle asit ve alkol sınıflarında orta düzeyde katkı sağlamış, ancak genel olarak daha sade bir aroma profili sergilemiştir. Bu bulgular, fermantasyonda kullanılan Laktik Asit Bakterisi (LAB) türlerinin aroma bileşiklerinin hem miktar hem de çeşitliliği üzerinde belirleyici rol oynadığını göstermektedir.

Tablo 4.12. Pancar kvass örneklerinin aroma profili*

No	LRI	Bileşikler	K	LC	LD	LP
Alkoller						
1	1056	2-Metil- 2-bütanol	TE	199 ± 3,1 ^a	16,6 ± 0,6 ^c	171 ± 8,7 ^b
2	1115	2-Metil-1-propanol	TE	34,2 ± 3,1 ^b	11,5 ± 0,2 ^c	58,0 ± 0,9 ^a
3	1165	3-Metil-1-bütanol	79,6 ± 1,3 ^d	334 ± 15,3 ^b	219 ± 9,3 ^c	802 ± 8,7 ^a
4	1254	3-Metil-3-büten-1-ol	13,5 ± 0,1 ^a	6,8 ± 0,2 ^b	TE	5,4 ± 0,2 ^c
5	1265	1-Pentanol	49,3 ± 1,3 ^a	3,9 ± 0,2 ^c	TE	22,6 ± 0,9 ^b
6	1294	2-Propanol	44,7 ± 2,6 ^a	2,7 ± 0,2 ^c	TE	23,2 ± 0,4 ^b
7	1460	2,3-Bütanediol	270 ± 1,3 ^a	19,3 ± 0,2 ^c	64,1 ± 3,8 ^b	60,5 ± 0,9 ^b
8	1764	Benzil alkol	26,8 ± 0,8 ^a	20,3 ± 0,2 ^b	7,5 ± 0,6 ^c	28,9 ± 0,1 ^a
9	1864	2-Feniletanol	5,6 ± 0,1 ^c	31,6 ± 1,5 ^b	33,6 ± 1,7 ^b	138 ± 2,3 ^a
10	2236	1-Hekzadekanol	17,4 ± 0,3 ^b	45,8 ± 1,5 ^a	3,9 ± 0,2 ^d	10,7 ± 0,1 ^c
11	2466	1-Heptadekanol	45,5 ± 2,6 ^b	5,0 ± 0,2 ^d	11,5 ± 0,2 ^c	66,0 ± 0,9 ^a
		Toplam	553 ± 12,6 ^d	703 ± 11,9 ^b	368 ± 7,5 ^c	1386 ± 21,8 ^a
Asitler						
12	1415	Asetik asit	938 ± 52,7 ^c	880 ± 15,3 ^d	1230 ± 52,9 ^b	1572 ± 27,0 ^a
13	1530	2-Metil-propanoik asit	73,4 ± 2,6	10,7 ± 0,3	19,9 ± 0,8	21,3 ± 0,3
14	1556	Butanoik asit	53,6 ± 0,9 ^d	75,5 ± 3,1 ^c	94,0 ± 0,8 ^b	103 ± 0,9
15	1593	3-Metilbütanoik asit	61,5 ± 5,3 ^a	12,4 ± 0,3 ^d	16,0 ± 0,5 ^c	55,9 ± 0,5 ^b
16	1731	Hekzanoik asit	134 ± 1,3 ^c	281 ± 15,3 ^b	873 ± 2,9 ^a	207 ± 3,4 ^b
17	1845	Oktanoik asit	31,2 ± 1,5 ^c	43,6 ± 1,5 ^c	161 ± 5,3 ^b	186 ± 5,6 ^a
18	2059	Nonanoik asit	89,2 ± 0,9 ^a	TE	19,9 ± 0,8 ^c	52,5 ± 0,9 ^b
19	2171	Dekanoik asit	TE	TE	34,0 ± 1,8	TE
		Toplam	1381 ± 34,6 ^c	1303 ± 9,8 ^c	2448 ± 32,9 ^a	2198 ± 13,6 ^b

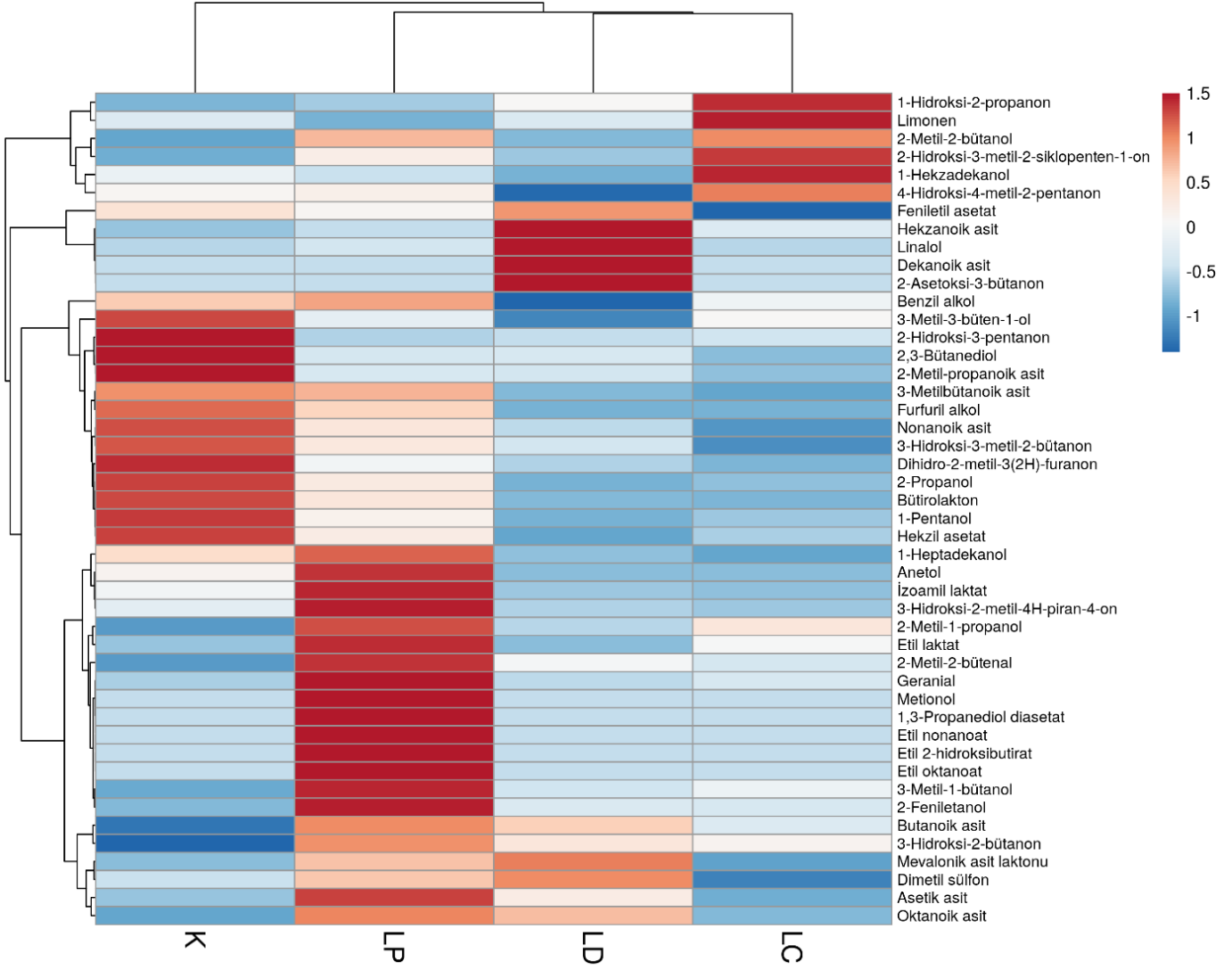
Pancar kvass örneklerinin aroma profili* (devamı)

No	LRI	Bileşikler	K	LC	LD	LP
Esterler						
20	1276	Etil laktat	286 ± 6,6 ^c	894 ± 15,3 ^b	224 ± 9,6 ^c	2048 ± 78,0 ^a
21	1368	Hekzil asetat	252 ± 13,2 ^a	46,3 ± 3,1 ^c	11,6 ± 0,2 ^d	137 ± 0,2 ^b
22	1391	Etil 2-hidroksibütirat	TE	TE	TE	9,8 ± 0,1
23	1460	Etil oktanoat	TE	TE	TE	17,0 ± 0,9
24	1489	İzoamil laktat	32,6 ± 1,3 ^b	TE	2,5 ± 0,1 ^c	103 ± 0,9 ^a
25	1601	Etil nonanoat	TE	TE	TE	6,8 ± 0,1
26	1620	1,3-Propanediol diasetat	TE	TE	TE	19,6 ± 0,3
27	1654	Feniletıl asetat	46,2 ± 1,3 ^b	TE	60,7 ± 3,6 ^a	39,2 ± 0,9 ^c
		Toplam	617 ± 11,3 ^c	940 ± 12,6 ^b	299 ± 21,5 ^d	2380 ± 54,1 ^a
Ketonlar						
28	1265	3-Hidroksi-2-bütanon	343 ± 1,3 ^d	4955 ± 153 ^c	5592 ± 326 ^b	7477 ± 87,0 ^a
29	1276	1-Hidroksi-2-propanon	11,6 ± 0,3 ^c	81,6 ± 3,1 ^a	38,8 ± 2,1 ^b	16,4 ± 0,6 ^c
30	1282	3-Hidroksi-3-metil-2-bütanon	38,6 ± 2,6 ^a	TE	11,7 ± 0,2 ^c	23,0 ± 0,2 ^b
31	1350	2-Hidroksi-3-pentanon	42,1 ± 1,3 ^a	4,8 ± 0,3 ^b	3,8 ± 0,2 ^c	1,9 ± 0,1 ^d
32	1360	4-Hidroksi-4-metil-2-pentanon	431 ± 13,2 ^b	676 ± 15,3 ^a	58,4 ± 3,4 ^c	452 ± 8,7 ^b
33	1382	2-Asetoksi-3-bütanon	TE	TE	52,6 ± 3,0	TE
		Toplam	866 ± 18,7 ^c	5717 ± 21,3 ^b	5757 ± 32,4 ^b	7970 ± 26,5 ^a
Laktonlar						
34	1495	Bütırolakton	783 ± 13,2 ^a	34,1 ± 3,1 ^c	38,9 ± 2,1 ^c	436 ± 3,7 ^b
35	1936	2-Hidroksi-3-metil-2-siklopenten-1-on (Akçağaç laktonu)	TE	103 ± 1,5 ^a	9,9 ± 1,2 ^c	50,5 ± 0,1 ^b
36	2303	Mevalonik asit laktonu	6,0 ± 0,1 ^c	TE	57,7 ± 3,4 ^a	46,6 ± 0,3 ^b
		Toplam	789 ± 9,7 ^a	137 ± 9,6 ^c	107 ± 8,6 ^c	533 ± 21,1 ^b

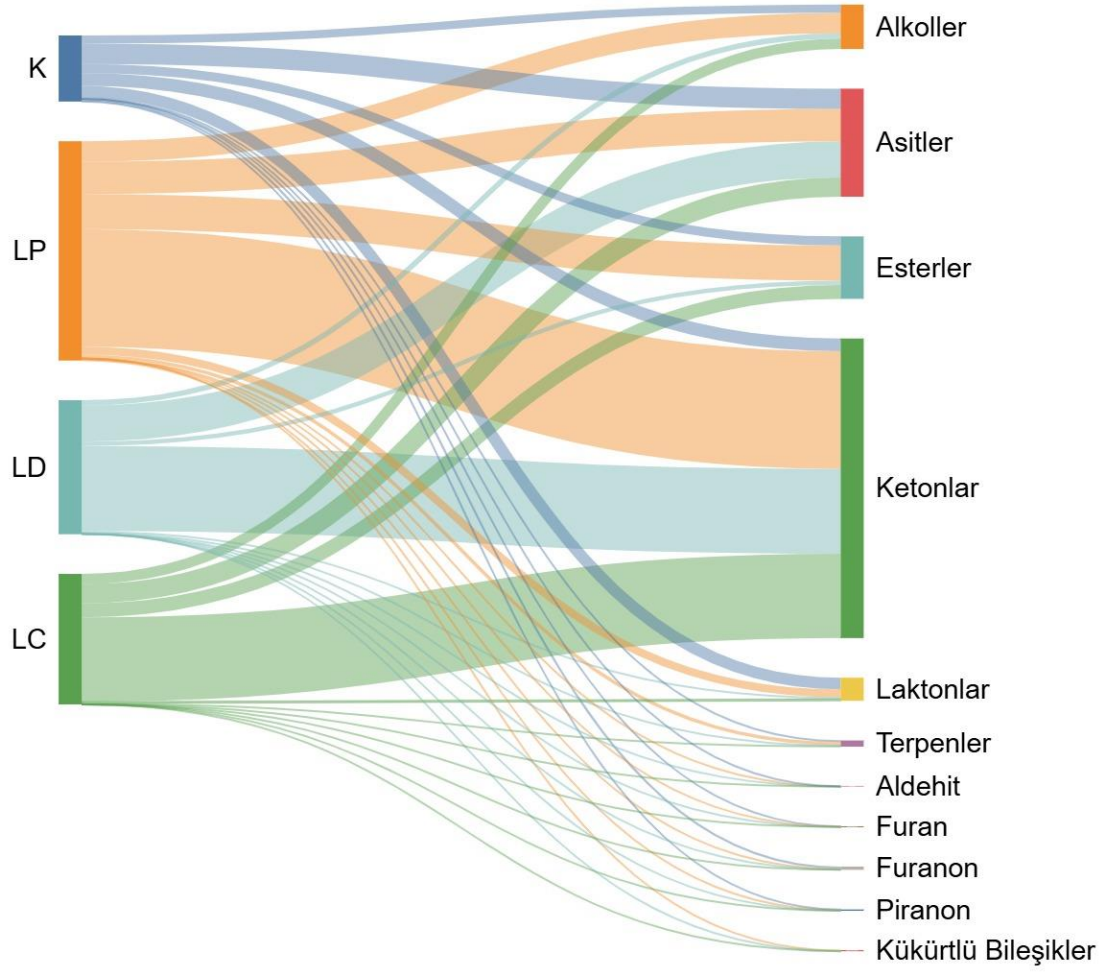
Pancar kvass örneklerinin aroma profili* (devamı)

No	LRI	Bileşikler	K	LC	LD	LP
Terpenler						
37	1240	Limonen	12,9 ± 0,1 ^b	35,8 ± 1,5 ^a	12,7 ± 0,3 ^b	5,6 ± 0,1 ^c
38	1552	Linalol	TE	TE	45,1 ± 2,5	3,2 ± 0,1
39	1716	Anetol	78,7 ± 0,7	TE	TE	189 ± 8,3
40	1855	Geranial	TE	4,2 ± 0,2 ^b	1,8 ± 0,2 ^c	33,6 ± 0,5 ^a
		Toplam	91,6 ± 3,4 ^b	40,0 ± 2,1 ^d	59,6 ± 3,4 ^c	231 ± 8,7 ^a
Kükürtlü bileşikler						
41	1582	Metionol	TE	TE	TE	4,1 ± 0,2
42	1836	Dimetil sülfon	8,9 ± 0,1 ^b	TE	26,6 ± 1,3 ^a	22,4 ± 0,9 ^a
		Toplam	8,9 ± 0,1 ^b	TE	26,6 ± 1,3 ^a	22,4 ± 0,9 ^a
Aldehit						
43	1149	2-Metil-2-bütenal	TE	4,3 ± 0,2 ^c	6,9 ± 0,4 ^b	16,1 ± 0,7 ^a
		Toplam	TE	4,3 ± 0,2 ^c	6,9 ± 0,4 ^b	16,1 ± 0,7 ^a
Furan						
44	1606	Furfuril alkol	21,3 ± 0,5	TE	TE	15,1 ± 0,9
		Toplam	21,3 ± 0,5	TE	TE	15,1 ± 0,9
Furanon						
45	1256	Dihidro-2-metil-3(2H)-furanon	150,3 ± 2,6 ^a	TE	16,8 ± 0,6 ^c	53,9 ± 0,5 ^b
		Toplam	150,3 ± 2,6 ^a	TE	16,8 ± 0,6 ^c	53,9 ± 0,5 ^b
Piranon						
46	1894	3-Hidroksi-2-metil-4H-piran-4-on	16,0 ± 0,1 ^b	3,2 ± 0,2 ^d	5,4 ± 0,3 ^c	63,3 ± 0,9 ^a
		Toplam	16,0 ± 0,1 ^b	3,2 ± 0,2 ^d	5,4 ± 0,3 ^c	63,3 ± 0,9 ^a
		Genel Toplam	4493,5 ± 56,7 ^d	8848,1 ± 62,3 ^c	9093,4 ± 78,9 ^b	14874,1 ± 122 ^a

*(µg/L); T.E.: Tespit edilemedi; LRI:Lineer tutulma endeksi; K: Kontrol (spontan fermentasyon), LC: Lactobacillus casei ile fermente edilen örnek, LD: Lactobacillus delbrueckii ile fermente edilen örnek, LP: Lactobacillus plantarum ile fermente edilen örnek. Aynı satırda farklı harflerle (^a, ^b, ^c, ^d) gösterilen değerler istatistiksel olarak anlamlı farkları ($p < 0.05$) ifade etmektedir. Aynı harfi paylaşan gruplar arasında anlamlı fark bulunmamaktadır.



Şekil 4.6. Pancar kvass örnekleri aroma bileşenleri ısı haritası ve kümeleme analizi



Şekil 4.7. Pancar kvass örnekleri aroma grupları Sankey diyagramı

Alkoller

Fermente sebze sularında özellikle laktik asit bakterileri tarafından üretilen uçucu alkoller, fermantasyon sürecinin önemli aromatik oluşumlarıdır. Kırmızı pancar kvass gibi doğal fermente ürünlerde, alifatik ve dallanmış zincirli alkoller genellikle şekerlerin veya amino asitlerin mikrobiyal dönüşüm mekanizması sonucu oluşur. Örneğin, amino asitlerin dekarboksilasyon ve redüksiyonu sonucu izoamil alkol, izopentil alkol ve feniletıl alkol gibi daha yüksek alkoller üretilir. Bu bileşikler ürünün genel kokusuna meyvemsi, çiçeksi, tatlı veya hafif alkolik özellikler kazandırır (Spano, Rinaldi, Ugliano, Moio, Beneduce ve Massa, 2005; Lu, Yang, Yang ve Peng, 2023).

Pancar kvass örneklerinde bu grup içinde toplam 11 bileşik tanımlanmış ve en yüksek toplam alkol içeriği LP örneğinde (1386 µg/L) belirlenmiştir. 3-Metil-1-bütanol ve 2,3-bütanediol özellikle LP örneğinde yüksek seviyede bulunmuştur. Bu alkoller genellikle fermantasyon sırasında maya ve bakteriler tarafından üretilir ve "alkolik", "meyvemsi" ve "tatlı" aromalara katkı sağlar (Liu, Holland ve Crow, 2004). Ayrıca 3-metil-1-bütanol'ün yüksek düzeyde bulunması özellikle amino asit metabolizmasının aktifliğini göstermektedir ki bu da laktik asit bakteri suşlarına göre farklılık göstermektedir. Tablo 4.12'de de görüldüğü üzere kontrollü fermantasyonda alkol bileşikleri daha fazla üretilmiş, bu da aroma kompleksitesini artırmıştır.

Örnekler kendi arasında kıyaslandığında, toplam uçucu alkol içeriği K: 553, LC: 703, LD: 368 ve LP: 1386 µg/L olarak hesaplanmıştır. En yüksek uçucu alkol oluşumu LP örneğinde gözlenmiş ve bu durumun *Lactobacillus plantarum*'un amino asit metabolizmasındaki etkinliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Zabat, Sano, Wurster, Cabral, ve Belenky, 2018). Kontrole kıyasla LD ve LC örneklerinde de anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur. Ancak LP örneği hem alkol profili hem de konsantrasyon açısından oldukça yüksek bulunmuştur. Bu durum, seçilen bakteriyel türlerin metabolik kapasiteleriyle, özellikle alkol üretim yollarının genetik düzeyde regülasyonu ve şeker-asit-amino asit dengesine bağlı olarak açıklanabilir (Di Cagno ve diğerleri, 2013; Vanbeneden, Gils, Delvaux ve Delvaux, 2008).

Karboksilik asitler

Karboksilik asitler, fermente gıda ürünlerinde aroma ve tat üzerinde doğrudan etkili olan önemli uçucu bileşikler grubundandır. Özellikle kısa ve orta zincirli yağ asitleri, keskin, ekşi, terimsi ve tereyağ benzeri aroma özellikleriyle fermente içeceklerin duyuşsal özelliklerini şekillendirir (Gänzle, 2015). Bu bileşikler genellikle üç temel biyokimyasal yol üzerinden oluşur: Karbonhidratların fermentatif metabolizması, amino asitlerin deaminasyon ve dekarboksilasyon süreçleri ve lipidlerin hidrolizi ve β-oksidasyonu. Laktik asit bakterileri (LAB), bu yolların tamamında etkili olup, karboksilik asitlerin hem doğrudan sentezinde hem de prekürsörlerin dönüştürülmesinde önemli rol oynar (Liu ve diğerleri, 2004; Zabat ve diğerleri, 2018).

Bu çalışmada toplam 8 farklı karboksilik asit bileşiği tespit edilmiş ve bunların toplam konsantrasyonu bakımından en yüksek değer LD örneğinde (2448 µg/L) belirlenmiştir. LP örneği ise 2198 µg/L ile ikinci sırada yer alırken, kontrol örneği olan kontrol örneğinde toplam karboksilik asit miktarı 1381 µg/L ile sınırlı kalmıştır. Bu bulgu, kontrollü

fermantasyon ve kullanılan LAB suşlarının karboksilik asit üretimini belirgin şekilde artırdığını göstermektedir.

Özellikle asetik asit, tüm örneklerde en yüksek konsantrasyonda tespit edilen karboksilik asit bileşiği olmuş, örnekler arasında en yüksek LP örneğinde 1572 µg/L bulunmuştur. Asetik asit üretimi, LAB tarafından piruvatın asetil-CoA'ya dönüşmesi ve ardından asetat kinaz/aldehit dehidrogenaz yolları ile gerçekleştirilir (Pessione, 2012). Bu metabolik yol, özellikle heterofermentatif LAB türlerinde daha baskındır. *L. plantarum*, her ne kadar fakültatif heterofermentatif bir tür olsa da düşük pH ve spesifik karbon kaynakları altında asetat üretimini artırabilmektedir (Zabat ve diğerleri, 2018).

2-Metil-propanoik asit (izobütirik asit) ve 3-metilbütanoik asit (izovalerik asit) gibi dallanmış zincirli kısa zincirli yağ asitleri ise amino asit katabolizması sonucu ortaya çıkar. Özellikle lösin ve valin amino asitlerinin deaminasyon ve dekarboksilasyonu sonucu oluşan bu bileşikler, LAB suşlarının proteolitik aktiviteleriyle doğrudan ilişkilidir (Di Cagno ve diğerleri, 2013). Bu çalışmada, izobütirik asit en fazla kontrol örneğinde (73,4 µg/L) belirlenmişken, izovalerik asit LP örneğinde (55,9 µg/L) daha yüksek seviyede bulunmuştur. Bu durum, *L. plantarum*'un amino asit katabolizmasına katkıda bulunduğunu göstermektedir.

Hekzanoik asit, orta zincirli bir yağ asidi olarak, yağların mikrobiyal lipazlarla hidrolizi ve ardından β -oksidasyon sonucu oluşur. LP örneğinde hekzanoik asit 207 µg/L seviyesine ulaşırken, özellikle LD örneğinde 873 µg/L gibi dikkat çekici bir değere erişmiştir. Literatürde de *L. delbrueckii* suşlarının β -oksidasyon ve lipid metabolizması yoluyla orta zincirli yağ asitlerini artırdığı gösterilmiştir (Ravyts, Vuyst ve Leroyet, 2012).

Oktanoik asit ve nonanoik asit gibi daha uzun zincirli yağ asitleri de benzer şekilde lipid metabolizması yoluyla sentezlenir. Oktanoik asit LP örneğinde 186 µg/L ile maksimum seviyede tespit edilmiştir. Bu asitler, düşük algılanma eşik değerlerine sahip olduklarından kvass gibi içeceklerde belirgin tereyağımsı ve keskin aromalar oluşturur (Smit, Smit ve Engels, 2005). Bir diğer dikkat çekici bulgu ise dekanolik asidin yalnızca LD örneğinde saptanmış olmasıdır (34,0 µg/L). Bu bulgu, *Lactobacillus delbrueckii* suşunun lipid katabolizması yoluyla uzun zincirli asit üretme kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir.

Esterler

Esterler, fermente gıdalara ve özellikle meyve, sebze bazlı içeceklerde tatlı, meyvemsi, çiçeksi ve hoş aromalar veren uçucu bileşikler olarak bilinirler. Aroma üzerindeki etkileri genellikle düşük aroma eşiği değerlerinden kaynaklanır; bu da düşük konsantrasyonlarda dahi algılanmalarını sağlar. Bu özellikleri nedeniyle esterler, fermente kırmızı pancar kvass gibi içeceklerde aroma kompleksitesini ve tüketici beğenisini artırıcı rol oynar (Nicolotti, Cirlini, Del Vecchio, Hadj Saadoun, Bottari, Bernini, Gatti, Martelli, 2024).

Esterler mikroorganizmalar, özellikle laktik asit bakterileri (LAB), tarafından iki temel biyokimyasal yol üzerinden sentezlenir. Alkol ve asitlerin esterifikasyonu yolu özellikle etil esterlerin oluşumunda aktiftir. Alkol dehidrogenaz ve asit kinaz gibi enzimler aracılığıyla oluşan serbest yağ asitleri ve alkoller, esteraz veya transesteraz enzimleri ile esterleşerek ester bileşiklerine dönüşür (Liu ve diğerleri, 2004). Örneğin, etil alkol ile laktik asidin reaksiyonu sonucu etil laktat, hekzanol ile asetik asidin reaksiyonu sonucu hekzil asetat oluşur. Amino asit katabolizması ile ise bazı dallanmış zincirli esterler, amino asitlerin katabolik yıkımı sonucu oluşan kısa zincirli alkoller ve asitlerin birleşmesiyle sentezlenir. Bu süreçte lösin, valin ve izolösin gibi amino asitlerden türeyen metabolitler rol oynar (Di Cagno ve diğerleri, 2013).

Laktik asit bakterileri doğal olarak ester sentezi yapabilen mikroorganizmalardır. Özellikle *L. plantarum*, *L. casei* ve *L. delbrueckii* gibi türlerin fermantasyon sonucu ester oluşumuna katkıda bulunduğu literatürde yapılan çalışmalarda bildirilmiştir. Bu suşların hem doğal yollarla hem de optimize edilmiş fermantasyon koşullarında ester oluşumunu arttırdığı belirlenmiştir (Nicolotti ve diğerleri, 2018). Örneğin, *L. plantarum*'un güçlü esteraz ve transesteraz enzim aktivitesi gösterdiği, bu sayede fermente ürünlerde ester birikiminin arttığı bilinmektedir (Pessione, 2012).

Bu çalışmada kırmızı pancar kvass örneklerinde toplam 8 farklı ester tanımlanmış ve bunların konsantrasyonları arasında suşlara bağlı belirgin farklılıklar gözlemlenmiştir. Ester oluşumu açısından en zengin örnek *L. plantarum* fermantasyonu ile üretilen örnek (LP) olmuş, bu örneğin toplamda 2380 µg/L ester içerdiği belirlenmiştir. Bunu LC (940 µg/L) ve LD (299 µg/L) örnekleri izlemiş, kontrol grubunda ise toplam ester miktarı 617 µg/L olarak saptanmıştır.

Bu çalışmada *L. plantarum* ile fermente edilen kvass örneklerinde etil laktat düzeyleri diğer örneklerle kıyasla belirgin şekilde daha yüksek bulunmuştur (2048 µg/L). Bu bulgu, *L.*

plantarum'un laktik asit ve etanol kombinasyonunu yüksek esterifikasyon kapasitesiyle birleştirdiğini göstermektedir. Benzer şekilde Pozo-Bayón, G-Alegría, Polo, Tenorio, Martín-Álvarez, Calvo de la Banda, Ruiz-Larrea ve Moreno-Arribas (2005), malolaktik fermantasyon sonrası şaraplarda etil laktatın *Oenococcus oeni* ve *Lactobacillus plantarum* suşlarına bağlı olarak farklı konsantrasyonlara ulaştığını, *L. plantarum* kullanılan şaraplarda bu değerin 4 kattan fazla arttığını bildirmiştir.

Bir diğer dikkat çeken ester olan hekzil asetat LP örneğinde 137 µg/L olarak bulunmuştur. Bu bileşik, kontrol örneğinde ise hekzil asetatın miktarı daha yüksek bulunmuştur (252 µg/L). Bu durum, bazı esterlerin doğal pancarın doğal yapısından geliyor olabileceğini ve farklı LAB suşlarıyla fermantasyonu sonucunda kısmi hidrolize uğrayabileceğini göstermektedir (Liu ve diğerleri, 2004).

İzoamil laktat, LP'de 103 µg/L ile en yüksek seviyede bulunmuş, LD ve LC örneklerinde ise ya düşük konsantrasyonlarda bulunmuş ya da hiç saptanamamıştır. Bu durum, izoamil laktat gibi bileşiklerin belirli LAB suşlarına özgü bir metabolik yol üzerinden üretildiğine işaret etmektedir.

Benzer şekilde feniletil asetat, LC ve LD örneklerinde daha belirgin olup LP'de düşük seviyelerde kalmıştır. Feniletil asetat, hoş çiçeksi ve bal benzeri aroması ile bilinir ve fenilalanin metabolizması yoluyla oluşur (Di Cagno ve diğerleri, 2013). Bu farklılıklar, LAB türlerinin amino asit metabolizma yollarındaki çeşitliliğin ester profiline doğrudan yansıdığını göstermektedir.

Ketonlar

Ketonlar, fermente gıdalarda önemli aroma bileşenleri arasında yer almakta olup genellikle tereyağ, kremisi, meyvemsi veya mavi peynir benzeri karakteristik aromalar kazandırır (Pico, Bernal ve Gómez 2015). Özellikle kırmızı pancar kvass gibi sebze bazlı fermente içeceklerde, ketonlar aroma profilinin kompleksliğini artırarak ürüne hoş bir derinlik ve zenginlik katar.

Ketonların oluşumu çeşitli biyokimyasal yollarla gerçekleşir ve bu süreçler genellikle hem substrat kaynaklı doğal reaksiyonlar hem de mikroorganizmaların metabolik aktiviteleri ile ilişkilidir. Ketonlar özellikle lösin, izolösin gibi dallanmış zincirli amino asitlerin transaminasyon ve dekarboksilasyon gibi yıkım reaksiyonları sırasında ara ürün olarak oluşabilir. Bu yol Strecker bozunması ile benzerlik gösterir ve genellikle alkol ve aldehytlerle

birlikte keton sentezi de gerçekleşir (Di Cagno ve diğerleri, 2013; Zabat ve diğerleri, 2018). Ayrıca, doymuş ve doymamış yağ asitlerinin β -oksidasyonu sonucu oluşan asetoasetat gibi ara metabolitler, redoks reaksiyonlarıyla metil ketonlara dönüşebilir. Bu süreçte özellikle orta zincirli ketonlar olan 2-nonanon ve 2-heptanon gibi bileşikler sentezlenebilir (Pico ve diğerleri, 2015). Bunun yanı sıra, özellikle şekerlerin ve laktatın fermentasyonu sırasında ortaya çıkan metabolitler de keton oluşumuna katkı sağlayabilir. Laktik asit bakterilerinin karbonhidrat metabolizması sırasında pirüvat üzerinden asetoin (3-hidroksi-2-bütanon) ve diasetil gibi keton yapıları bileşikler üretildiği bilinmektedir (Gänzle, 2015).

Laktik asit bakterilerinin (LAB) keton üretim kapasitesi oldukça çeşitlidir ve suş düzeyinde farklılık gösterebilir. *L. plantarum*, *L. casei* ve *L. delbrueckii* gibi türlerin özellikle amino asit ve yağ asidi metabolizmasındaki etkinlikleri sayesinde keton üretiminde rol oynadığı gösterilmiştir (Zabat ve diğerleri, 2018; Marco ve diğerleri, 2017).

Bu çalışmada kırmızı pancar kvass örneklerinde toplam 6 farklı keton belirlenmiş ve miktarları bakımından örnekler arasında önemli farklılıklar saptanmıştır. Toplam keton miktarları açısından sıralama $LP > LD \approx LC > K$ şeklindedir. En yüksek keton içeriği *L. plantarum* (LP) örneğinde 7970 $\mu\text{g/L}$ olarak belirlenmiş, bu da bu suşun keton üretim kapasitesinin diğer suşlara kıyasla daha yüksek olduğunu göstermektedir.

En baskın keton bileşiği tüm örneklerde 3-hidroksi-2-bütanon (asetoin) olup, LP örneğinde en yüksek konsantrasyonda bulunmuştur (7477 $\mu\text{g/L}$). Asetoin, laktik asit bakterileri tarafından pirüvatın asetolaktat yolu ile metabolize edilmesi sonucu sentezlenen bir bileşiktir ve tereyağ aromasının temel taşıdır (Pico ve diğerleri, 2015; Gänzle, 2015). Bir diğer önemli keton bileşiği ise 4-hidroksi-4-metil-2-pentanon olup, LP örneğinde 452 $\mu\text{g/L}$, LC ve LD'de daha düşük seviyelerde tespit edilmiştir. Bu bileşik, genellikle amino asit metabolizmasından türeyen ve kremamsı aromalar kazandıran bir bileşiktir (Zabat ve diğerleri, 2018). 1-Hidroksi-2-propanon ve 3-hidroksi-3-metil-2-bütanon gibi diğer ketonlar ise LP örneğinde daha yüksek konsantrasyonlarda tespit edilmiştir, bu da *L. plantarum*'un keton üretim yollarında daha aktif olduğunu düşündürmektedir. Benzer şekilde yapılan çalışmalarda, meyve fermentasyonlarında LAB'nin farklı ketonları seçici olarak ürettiğini belirtilmiştir (Pozo-Bayón ve diğerleri, 2005).

Terpenler

Terpenler, karakteristik olarak narenciye, çiçeksi, baharatımsı, odunsu ve balzamik notalar sağlayarak fermente ürünün duyu kalitesini belirgin şekilde etkiler (Tanguler, Selli, Sen, Cabaroğlu ve Erten, 2017). Bitkilerde terpenlerin biyosentezi, iki temel metabolik yol üzerinden gerçekleşir: Mevalonat (MVA) Yolu: Sitozolde gerçekleşir ve özellikle seskiterpenlerin sentezinde rol oynar. Metil Eritritol Fosfat (MEP) Yolu: Plastitlerde işleyen bu yol, monoterpenler ve diterpenlerin sentezinden sorumludur (Vranová, Coman ve Gruissemet, 2013). Her iki yol da izopentenil pirofosfat (IPP) ve dimetilalil pirofosfat (DMAPP) öncüllerinin oluşumuna dayanır. Bu öncüller, farklı kombinasyonlarla çeşitli terpen sınıflarını oluşturur.

Fermantasyon sürecinde ise doğrudan terpen biyosentezi LAB tarafından sınırlı düzeyde gerçekleştirilirken, var olan terpenlerin metabolize edilerek modifiye edilmesi veya öncül bileşiklerin dönüştürülmesi mümkündür. Ayrıca LAB'nin hücre duvarı enzimleri, bitkisel hücre yapılarından bağlı formdaki (glikozitlenmiş) terpenleri serbest hale getirebilir (Liu ve diğerleri, 2004).

Bu çalışmada kırmızı pancar kvass örneklerinde toplam 4 farklı terpen belirlenmiştir: limonen, linalol, anetol ve geranial. Tespit edilen terpenlerin konsantrasyonları örnekler arasında anlamlı farklılık göstermiştir. Narenciye benzeri aroma karakteristiğine sahip bir monoterpen olan limonen, en yüksek 35,8 µg/L seviyesinde LC örneğinde saptanmıştır. LC örneğinde limonenin yüksekliği, bu bakterinin muhtemelen bağlı formdaki limoneni serbestleştirme kapasitesi ile açıklanabilir. Çiçeksi ve tatlı aromalar sağlayan bir monoterpen alkol olan linalol, yalnızca LP örneğinde (45,1 µg/L) tespit edilmiştir. Linalol, LAB'nin özellikle glikozit hidrolaz aktivitesi sayesinde serbest hale gelebilen bir bileşiktir (Liu ve diğerleri., 2004). Baharatımsı ve tatlı aromasıyla bilinen bir seskiterpen türevidir olan anetol, LP ve LC örneklerinde yüksek seviyelerde tespit edilmiştir. Özellikle LC örneğinde 189 µg/L seviyesinde bulunmuş olup, bu değer kontrol örneğine göre istatistiksel açıdan anlamlı ölçüde yüksektir. Örneklerde belirlenen diğer bir terpen bileşiği olan ve narenciye ve çiçeksi notalar kazandıran geranial, LP örneğinde 33,6 µg/L ile en yüksek seviyede belirlenmiştir. Bu bulgular, özellikle LP ve LC suşlarının terpen profiline katkı sağladığını göstermektedir. Zabat ve diğerleri (2018), LAB'nin meyve-sebze fermantasyonlarında aroma belirleyici bileşikler arasında terpenleri de dönüştürebileceğini göstermiştir.

Diğer bileşikler

Pancar kvassın aroma profili, kükürtlü bileşikler, aldehytler, furanlar, furanonlar ve piranonlar gibi diğer çeşitli uçucu bileşik gruplarını da içermektedir. Bu bileşikler, fermantasyon sırasında mikroorganizmaların metabolik aktiviteleri sonucu ortaya çıkmakta ve ürünün duyuusal özelliklerini belirlemektedir (Smid ve Kleerebezem, 2014).

Kükürtlü bileşikler, genellikle düşük algılanma eşik değerleri nedeniyle güçlü kokulara sahiptir ve fermantasyon ürünlerinde istenmeyen aromalara neden olabilir (Mestres, Busto ve Guasch, 2000). Aldehytler, lipid oksidasyonu ve amino asit metabolizması sonucu oluşur; keskin, meyvemsi veya yağlı notalar katabilir (Wu, Liu, Yang, Zhang, Yang, Liu, Zhenzhen, Zhang ve Jiao, 2021). Furan ve furanonlar, şekerlerin termal bozunması veya Maillard reaksiyonlarıyla ilişkilidir ve karamelize, tatlı aromalar sağlar (Belitz, Grosch, Schieberle, 2009). Piranonlar ise genellikle hafif tatlı ve kavrulmuş notalara sahiptir (Cerny, 2008).

Çalışmada incelenen mikroorganizmalar (*Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus delbrueckii* ve *Lactobacillus casei*), aroma bileşiklerinin miktar ve dağılımını önemli ölçüde etkilemiştir. Kükürtlü bileşiklerden olan dimetil silfon, LD örneğinde en yüksek seviyede ($26,6 \pm 1,3$ µg/L) tespit edilirken, kontrol örneğinde bulunmamıştır. Bu durum, laktik asit bakterilerinin (LAB) kükürt metabolizmasını artırdığını göstermektedir (Liu ve diğerleri, 2004). Metionol bileşiği ise sadece kontrol örneğinde ($4,1 \pm 0,2$ µg/L) tespit edilmiş olup, LAB'ların bu bileşiği parçalayabildiği düşünülmektedir (Smit ve diğerleri, 2005). Bir aldehyt bileşiği olan 2-metil-2-bütenal, LP örneğinde ($16,1 \pm 0,7$ µg/L) belirgin şekilde yüksek bulunmuştur. Bu, *L. plantarum*'un lipid oksidasyonunu teşvik etmesiyle açıklanabilir (Gänzle, 2015). LC ve LD örneğinde daha düşük seviyeler gözlenmesi, farklı LAB türlerinin aldehyt degradasyon yeteneklerinden kaynaklanabilir (Smit ve diğerleri, 2005). Furan grubuna ait furfuril alkol, kontrol ($21,3 \pm 0,5$ µg/L) ve LP ($15,1 \pm 0,9$ µg/L) örneğinde tespit edilmiş, ancak diğer örneklerde bulunmamıştır. Bu, *L. plantarum*'un şeker metabolizmasının furan türevlerini etkilediğini göstermektedir (Chen, Zhao, Hao, Yu, Tian ve Zhao, 2017). Dihidro-2-metil-3(2H)-furanon, kontrol örneğinde en yüksek ($150,3 \pm 2,6$ µg/L), LP ve LD'de ise daha düşük seviyelerde bulunmuştur. Bu durum, fermantasyon sürecinin furanon oluşumunu azalttığını düşündürmektedir.

Piranonlar bileşiği 3-Hidroksi-2-metil-4H-piran-4-on, LP örneğinde ($63,3 \pm 0,9$ µg/L) en yüksek seviyede olup, LC'de ($3,2 \pm 0,2$ µg/L) en düşük seviyede tespit edilmiştir. Bu

farklılık, *L. plantarum*'un şeker yıkım yollarının piranon sentezini artırdığını göstermektedir (Smit ve diğerleri, 2005).

Duncan testi ($p < 0.05$) sonuçlarına göre LP örneği, genel toplam aroma bileşikleri açısından ($14874,1 \pm 122 \mu\text{g/L}$) diğer örneklerden istatistiksel olarak anlamlı ölçüde yüksek bulunmuştur. Kontrol örneği ($4493,5 \pm 56,7 \mu\text{g/L}$) en düşük toplam aroma konsantrasyonuna sahip olup, bu bulgu mikroorganizmaların aroma oluşumundaki kritik rolünü doğrulamaktadır. Bu çalışmanın bulguları, literatürde bulunan diğer çalışmalarla uyumlu görülmüştür (Di Cagno ve diğerleri, 2015; Foss ve diğerleri, 2023). Ayrıca, LAB'ların kükürtlü bileşikleri parçalayarak istenmeyen kokuları azalttığı bilinmektedir (Liu ve diğerleri, 2004). *L. plantarum*'un aldehit ve furanon sentezini artırdığı, benzer çalışmalarda da gözlenmiştir (Gänzle, 2015). Pيرانonların fermantasyon süresince azalması, Maillard reaksiyonlarının baskılanmasıyla ilişkilendirilebilir (Cerny, 2008). Farklı laktik asit bakterileri, pancar kvassın aroma profilini önemli ölçüde değiştirmektedir. *L. plantarum*, en yüksek aroma çeşitliliği ve yoğunluğu sağlarken, kontrol grubu daha sınırlı bir aroma profiline sahiptir. Bu bulgular, starter kültür seçiminin fermantasyon ürünlerinin duyu kalitesi için kritik olduğunu göstermektedir (Foss ve diğerleri 2023).

4.3.6. Aroma-aktif (AEDA) sonuçları

Fermente içeceklerdeki aroma profili, mikrobiyel kompozisyonun ve fermantasyon koşullarının etkisiyle önemli ölçüde farklılık göstermektedir (Sasmaz ve diğerleri, 2024). Aroma aktif bileşiklerin belirlenmesiyle birlikte, hem duyu hem de kimyasal veriler üzerinden örnekler arasındaki karakteristik farklar daha net bir şekilde ortaya konmuştur. Bu çalışmada GC-MS/O ile elde edilen veriler Tablo 4.13'de verilmiştir. Bu bulgulara göre, LP örneği, genel olarak en zengin ve kompleks aromatik profile sahip örnek olarak öne çıkmaktadır. Aroma aktivite değerleri (FD - seyreltme faktörü) açısından en fazla bileşiğin LP'de yüksek seviyede algılanabilir olduğu görülmüştür. Özellikle 3-metil-1-bütanol, 3-hidroksi-2-bütanon ve etil laktat gibi meyvemsi, tereyağımsı ve kremsi karakter sağlayan bileşikler LP'de sırasıyla 802, 7477 ve 2048 $\mu\text{g/L}$ düzeylerinde tespit edilmiştir; bu bulgular söz konusu bileşiklerin sadece varlıklarıyla değil, aynı zamanda düşük algılanma eşik değerleri nedeniyle aroma üzerinde baskın etkiye sahip olduğunu göstermektedir. LP'de ayrıca hekzil asetat, anetol, 2-feniletanol ve 2-hidroksi-3-metil-2-siklopenten-1-on gibi meyvemsi, anasonumsu, çiçeksi ve yanık tatlı karakterler taşıyan bileşiklerin yüksek düzeyde

bulunması, duyuşal olarak tatlı, meyvemsi ve fermente notaların yoğun algılanmasına neden olmuştur. Benzer şekilde, Dongmo Tsafack, Spiteri, Reva ve Mugoša (2023), *L. plantarum* ile fermente edilmiş malt bazlı içeceklerde diğler suşlara göre daha yüksek FD faktörleri ve meyvemsi tatlarla ilişkilendirilen bileşiklerin baskın olduğunu bildirmiştir. Bu bulgu, çalışmamızdaki LP örneğinde de *L. plantarum*'un uçucu aroma bileşikleri üretiminde belirgin bir etki gösterdiğini desteklemektedir. LC örneğinde tanımlanmış olup aroma tablosunda (Tablo 4.12) baskın olduğu görünen 3-hidroksi-2-bütanon (4955 µg/L), etil laktat (894 µg/L) ve asetik asit (880 µg/L) gibi bileşikler, aroma aktif analizde de yüksek FD değerleri göstermiştir. Bu durum örnekte peynirimsi, baharatlı ve fermente-sirke karakterin baskın olarak algılandığını desteklemektedir. Aynı zamanda 4-hidroksi-4-metil-2-pentanon ve 2,3-bütanediol gibi topraksı-kremsi karakter sağlayan bileşiklerin LC'de de yüksek seviyede olması, örneğe özgü yoğun fermente-proteolitik aroma profilini açıklar niteliktedir.

Tablo 4.13. Pancar kvass örneklerinin aroma-aktif bileşikleri*

NO	LRI	Bileşikler	Koku tanımlayıcısı	K	LC	LD	LP
1	1025	Tanımlanamayan	Yeşil, fermente	16	16	16	32
2	1165	3-Metil-1-bütanol	Meyvemsi	8	36	36	128
3	1265	3-Hidroksi-2-bütanon	Peynirimsi	64	1024	512	2048
4	1276	Etil laktat	Meyvemsi	8	128	32	512
5	1360	4-Hidroksi-4-metil-2-pentanon	Topraksı	32	32	4	32
6	1368	Hekzil asetat	Meyvemsi, yeşil	8	4	S	4
7	1415	Asetik asit	Sirke, keskin	128	64	128	64
8	1530	2-Metil-propanoik asit	Yağımsı, peynirimsi	32	4	8	8
9	1495	Bütirolakton	Yağımsı	64	4	4	32
10	1556	Bütanoik asit	Terimsi	32	32	64	64
11	1582	Metionol	Haşlanmış patates	S	S	S	16
12	1593	3-Metilbütanoik asit	Terimsi, keskin	16	4	4	16
13	1633	Tanımlanamayan	Metalik	16	4	8	8
14	1716	Anetol	Anason	16	S	S	32
15	1731	Hekzanoik asit	Terimsi	16	32	64	32
16	1764	Benzil alkol	Çiçeksi	8	8	S	8
17	1864	2-Feniletanol	Çiçeksi, tatlı	S	4	4	8
18	1845	Oktanoik asit	Peynirimsi, terimsi	4	8	16	16
19	1936	2-Hidroksi-3-metil-2-siklopenten-1-on (Akçaağaç laktonu)	Tatlı, yanık	S	16	4	8
20	2561	Tanımlanamayan	Biber, baharat	32	8	8	64

*FD: Dilüsyon faktörü; K: Kontrol (spontan fermentasyon), LC: *Lactobacillus casei* ile fermente edilen örnek, LD: *Lactobacillus delbrueckii* ile fermente edilen örnek,

LP: *Lactobacillus plantarum* ile fermente edilen örnek

Dongmo ve diğeri (2023), farklı LAB suşlarının aroma profili üzerinde spesifik etkiler yarattığını ve özellikle bazı asidik ve ketonik bileşiklerin konsantrasyonlarında anlamlı farklılıklar gözlemlendiğini raporlamıştır. LC örneğinde tespit edilen yüksek keton ve asetik asit düzeyi de bu bulgularla paralel olup, kullanılan suşun metabolik özelliğine bağlı olarak gelişen özgün aromatik profili göstermektedir.

LD örneği, LC ve LP'ye göre daha sınırlı ancak dengeli bir aroma profiline sahiptir. 3-hidroksi-2-bütanon, butanoik asit, oktanoik asit ve 2-metil-1-propanol gibi bileşikler orta düzeyde bulunurken, aroma aktiflik değerleri de genel olarak düşük-orta seviyede seyretmiştir. Bu durum, LD örneğinin daha az karakteristik ve yumuşak bir aroma yapısına sahip olmasına neden olmuştur.

Kontrol (K) örneği ise aroma aktiflik açısından daha az zengin bir profile sahip olmakla birlikte, bazı bileşiklerin yüksek seviyeleri dikkat çekmektedir. Özellikle asetik asit (938 µg/L), bütanolakton (783 µg/L) ve 3-hidroksi-2-bütanon (343 µg/L) gibi bileşikler K örneğine sirke-yagimsi-tereyağimsi karakterler kazandırmıştır. Bununla birlikte, aroma aktiflik tablosunda yer alan ancak sadece K örneğinde tespit edilen bazı bileşikler (örneğin dihidro-2-metil-3(2H)-furanon), kavrulmuş-karamel notaların oluşumuna işaret etmektedir ve bu durum K örneğinde oksidatif reaksiyonların veya ısı işlem kalıntılarının etkili olabileceğini düşündürmektedir.

Aroma profili ile aroma-aktiflik uyumu değerlendirildiğinde, LP örneği, yüksek miktarda ester (2380 µg/L), alkol (1386 µg/L), keton (7970 µg/L) ve asit (2198 µg/L) içeriğiyle birlikte duyuşal eşik değerlerinin altında kalan bileşenlerin aroma üzerinde maksimum etki yarattığı bir örnek olarak öne çıkmaktadır. Bu bileşenlerin hem miktar hem de algılanabilirlik düzeyinin yüksek olması, LP örneğinin duyuşal açıdan daha zengin, meyvemsi ve tatlı karakterini açıklamaktadır. Benzer şekilde, LC örneğindeki yüksek keton ve ester düzeyi, 3-hidroksi-2-bütanon gibi baskın bileşiklerle yoğun peynirimsi ve fermente karakteri desteklemektedir.

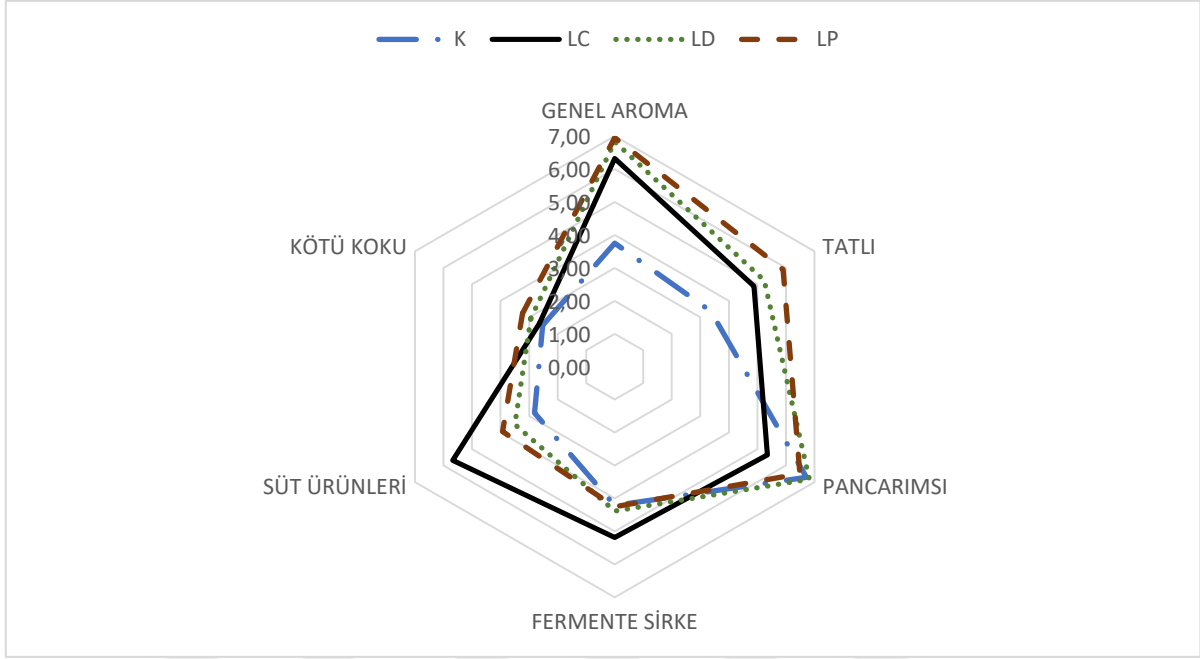
Mevcut çalışmadaki bulguları destekler nitelikte Pan, Zhang, Xu, Lao ve Wu (2023), karışık LAB fermentasyonu uygulanan hünnap posasında, başlıca aldehit, alkol ve keton sınıfı bileşiklerde artış gözlemlenmiş ve aroma aktif bileşik olarak butanoik asit, (*E*)-2-nonenal, (*E*)-2-heptenal, 1-okten-3-ol, trans-damasenon, feniletil alkol ve benzoik asit metil ester

bileşiklerini tanımlamışlardır. Araştırmacılar bu bulgularla, fermantasyonun aroma profili üzerinde anlamlı etkiler yarattığını ve amino asit ile lipid metabolizmasıyla ilişkili bileşiklerin üretimini tetikleyebileceğini ortaya koymuşlardır.

Sonuç olarak, aroma aktif bileşiklerin analitik verilerle birlikte değerlendirilmesi, her bir örneğin özgün aroma profilinin hem bileşik konsantrasyonu hem de bu bileşiklerin duysal eşikleri ile olan ilişkisini anlamada kritik bir rol oynamaktadır. Özellikle LP ve LC örnekleri, hem kimyasal hem de duysal olarak öne çıkan örnekler olmuş; farklı mikrobiyal metabolizmaların uçucu aroma bileşikleri üzerindeki seçici etkisi, aroma farklılıklarının temelini oluşturmuştur.

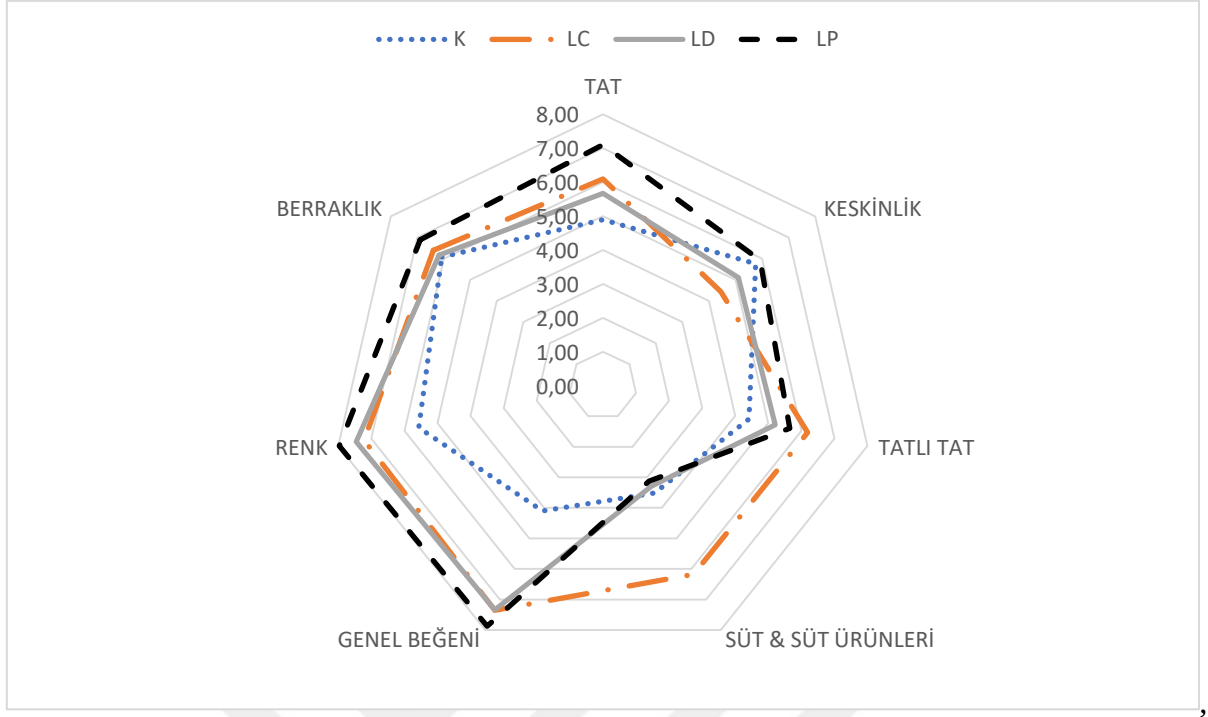
4.3.7. Duyusal analiz sonuçları

Aroma ekstraktlarının temsili duysal analiz sonuçları, farklı LAB suşlarıyla fermente edilen pancar kvass örneklerinin duysal özellikleri üzerinde anlamlı etkiler yarattığını ortaya koymuştur. Örneklerde yapılan duysal analiz sonuçları Şekil 4.8, 4.9 ve 4.10’da verilmiştir. LP örneği, 6,95 ile genel aroma yoğunluğu bakımından en yüksek skoru alırken, onu sırasıyla LD (6,83) ve LC (6,32) takip etmiş; kontrol örneği (K) ise 3,75 ile belirgin şekilde daha düşük bir değerlendirme almıştır. Panelistler, LP örneğini hem “tatlı” (5,90) hem de “pancarımsı” (6,49) özellikler açısından en dengeli ve karakteristik örnek olarak tanımlamışlardır. LC örneği ise özellikle “süt ürünleri” aroması açısından öne çıkmış (5,68) ve aroma karakteristiği açısından fermente süt benzeri bir profil oluşturmuştur. Buna karşın, “kötü koku” parametresinde tüm örnekler 3,5’in altında kalmış; bu da aromatik bozulma veya istenmeyen aroma karakterlerinin düşük düzeyde olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, LP örneği hem kompleks hem de doğal olarak algılanan aromatik yapısı ile panelistlerce en yüksek aroma skorunu almıştır. Mevcut sonuçlarımızda olduğu gibi, literatürde de LAB suşları kullanılarak yapılan kontrollü fermantasyonun kırmızı pancar suyu fermente ürünlerinin aroma profili üzerinde önemli etkileri olduğu sıkça rapor edilmiştir. Örneğin Foss ve diğerleri (2023) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, *Lactobacillus plantarum* ile yapılan fermantasyonun kırmızı pancar suyu içindeki uçucu bileşikler (VOCs) sayısını ve çeşitliliğini anlamlı şekilde artırdığı; özellikle LP suşu ile fermente edilen örneklerin en yüksek uçucu bileşik sayısına ulaştığı belirtilmiştir. Bu durum, incelenen LP örneğinin genel aroma yoğunluğu (6,95) ve “tatlı-pancarımsı” karakteri yönünden en yüksek değerlendirmeyi almasıyla doğrudan örtüşmektedir.



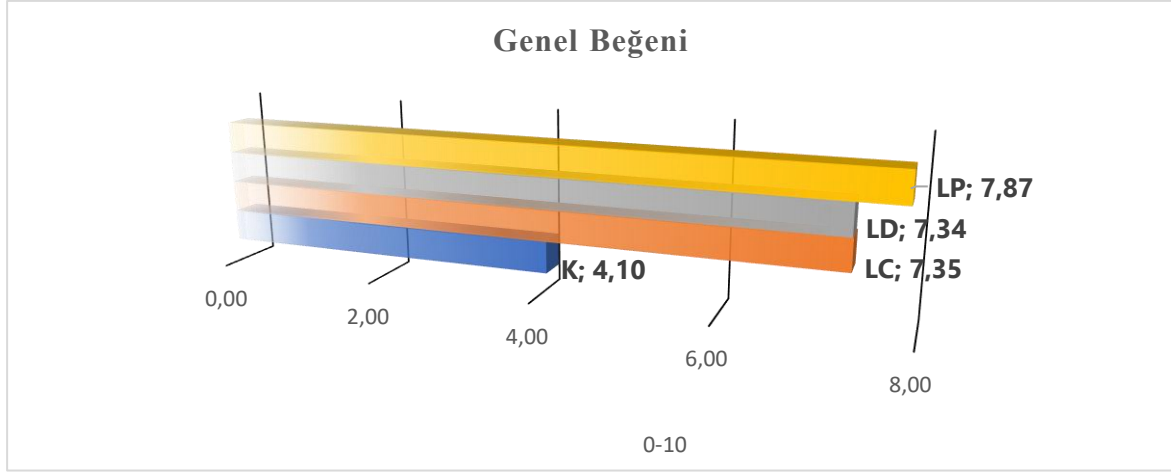
Şekil 4.8. Duyusal analizde aroma örümcek ağı diyagramı

Tat değerlendirmelerinde LP örneği, 7,10 ile en yüksek genel tat skoruna sahip olmuş ve bu değeriyle tat kalitesi bakımından da en beğenilen örnek olmuştur. Tatlılık (5,65) ve keskinlik (5,93) parametreleri dengeli seviyelerde kalmış; bu da LP örneğinin fermente bir içeceğe özgü asidik ve tatlı tatlar arasında hoş bir denge sağladığını göstermektedir. LC örneği ise “tatlı tat” (6,19) ve “süt & süt ürünleri” (6,17) skorlarıyla daha yumuşak ve kremamsı bir içim karakteri sunmuştur. Literatürde, *Lactobacillus casei* ile fermente edilen bitki temelli içeceklerin tat profilinde belirgin bir yumuşama ve tatlı-süt benzeri aroma karakteri kazandığı sıkça rapor edilmiştir. Örneğin, Hindistan cevizi suyu esaslı bir probiyotik içekte LAB suşu ile fermente edilen örneklerin tat, koku ve genel kabul edilebilirlik bakımından pozitif etkilendiği, örneklerin tatlılık ve aromasının tüketici tarafından olumlu karşılandığı belirtilmiştir (Sib, Sukumaran, Sen ve Park, 2018). LD örneği de LP'ye benzer şekilde yüksek tat skorları almasına rağmen (genel tat: 5,67), özellikle süt benzeri notalarda zayıf kalmıştır (3,29). K örneği ise hem keskinlik (5,76) hem de genel tat (4,89) açısından daha düşük değerlere sahip olmuş, bu da spontan fermentasyonun tat profiline olumsuz etkilerinin olabileceğini düşündürmektedir.



Şekil 4.9. Duyusal analizde genel izlenim ve tat örümcek ağı diyagramı

Duyusal analiz sonuçlarının genel beğeni boyutunda LP örneği, 7,87 puanla tüm örnekler arasında en çok tercih edilen örnek olmuştur. Bu değerin yüksekliği, hem aroma hem de tat parametrelerinin uyum içinde algılandığını ve içeceğin tüketilebilirliğinin yüksek olduğunu göstermektedir. Renk (7,97) ve berraklık (6,89) değerleri de LP örneğinde en yüksek puanları almış ve görsel kalite açısından da avantaj sağlamıştır. LC ve LD örnekleri de yüksek genel beğeni puanlarına (sırasıyla 7,35 ve 7,34) sahip olmakla birlikte, LP örneği hem duysal hem de görsel nitelikleriyle en ön planda yer almıştır (Şekil 4.12). Kontrollü (spontan) örnek olan K ise tüm parametrelerde daha düşük puanlar almış ve duysal olarak panelistlerce daha az tercih edilmiştir. Bu durum, kontrollü fermantasyonun ürün kalitesini artırma potansiyelini ve özellikle *L. plantarum*'un aromatik kaliteyi zenginleştirme kabiliyetini bir kez daha ortaya koymuştur.



Şekil 4.10. Duyusal analizde panelin genel beğenisi örümcek ağı diyagramı

4.3.8. Mineral Madde Analizleri Sonuçları

Fermente sebze içeceklerinde özellikle kırmızı pancar kvass gibi doğal ürünlerde, hem makro hem de mikro elementlerin düzeyi ürünün besinsel değerini doğrudan etkilemektedir. Fermantasyon sürecinde kullanılan mikroorganizmalar, ortamda bulunan iyonlarla etkileşime geçerek bazı elementlerin çözünürlüğünü artırabilir veya biyoyararlanımlarını değiştirebilir (Wruss ve diğerleri, 2015). Bu çalışmada ICP-MS yöntemiyle pancar kvass örneklerinin makro mikro elementleri belirlenmiş, elde edilen bulgular Tablo 4.14'te verilmiştir. Çalışmada belirlenen potasyum (K), magnezyum (Mg), sodyum (Na) ve demir (Fe) gibi temel minerallerin düzeyleri, fermantasyon sürecinin mikrobiyal dinamizmini ve substrat-mikroorganizma etkileşimini yansıtmaktadır. Özellikle LP örneğinde gözlenen yüksek Zn ve Cu konsantrasyonları, muhtemelen *Lactobacillus plantarum* suşunun hücre duvarı geçirgenliği ve metal iyonlarını bağlama kapasitesi ile ilişkilidir (Mohd Yusof, Mohamad, Zaidan ve Rahman, 2020). Aynı zamanda, LD örneğindeki yüksek Mg ve K düzeyleri, *L. delbrueckii*'nin metabolik aktivitesi sonucu pancar dokusundan bu iyonların daha fazla ekstrakte edilmesiyle açıklanabilir.

Literatürde yer alan benzer fermente pancar veya sebze sularının mineral seviyeleri (Wruss ve diğerleri, 2015) ile kıyaslandığında, bu çalışmada üretilen fermente pancar kvass örneklerinin mineral seviyeleri daha yüksek bulunmuştur. Çalışmalar arasında görülen farklılıkların; kullanılan pancar cinsine, yetiştirme koşullarına veya başlangıç matrisindeki kuru madde oranına bağlı olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, demir ve çinko gibi eser elementlerin

düzeyleri oldukça yüksektir. Bu durum, hem örneğin kendi doğal zenginliği hem de fermantasyon sonrası mikrobiyal lizis sonucu elementlerin serbestleşmesi ile ilişkilendirilebilir (Gan, Kong, Wang, Chen, Du, Xu, Wang, Cheng ve Yu, 2023). Effect of fermentation using different lactic acid bacteria strains on the nutrient components and mineral bioavailability of soybean yogurt alternative. Bununla birlikte, LC ve LD örneklerinde gözlenen demir düşüklüğü, kullanılan *L. casei* ve *L. delbrueckii* suşlarının demir bağlama veya tutma yeteneğinden kaynaklanıyor olabilir (Kot, Furmanov ve Bezkorovainy, 1996).

Tablo 4.14. Pancar kvass örneklerinin mineral madde içeriği

Parametre*/**	K	LC	LD	LP
Al*	0.80 ± 0.05 ^c	0.51 ± 0.03 ^b	1.04 ± 0.07 ^b	0.86 ± 0.06 ^a
K*	1294.70 ± 48.94 ^c	2815.60 ± 106.43 ^b	3458.20 ± 113.79 ^b	2614.82 ± 191.69 ^a
Mg*	63.79 ± 3.83 ^c	74.46 ± 4.87 ^b	81.50 ± 2.53 ^b	65.77 ± 5.16 ^a
Na*	20.70 ± 1.48 ^c	22.48 ± 0.91 ^b	25.32 ± 0.99 ^b	31.07 ± 1.22 ^a
Co**	0.60 ± 0.03 ^c	0.95 ± 0.05 ^b	0.55 ± 0.03 ^b	1.20 ± 0.05 ^a
Cr**	8.75 ± 0.53 ^c	16.20 ± 0.60 ^b	3.75 ± 0.17 ^b	15.45 ± 0.75 ^a
Cu**	87.35 ± 4.61 ^c	250.90 ± 17.38 ^b	119.30 ± 4.77 ^b	272.65 ± 15.19 ^a
Fe**	800.10 ± 47.70 ^c	518.30 ± 16.75 ^b	441.25 ± 26.64 ^b	571.50 ± 22.02 ^a
Mn**	96.10 ± 0.87 ^c	153.60 ± 11.90 ^b	110.50 ± 8.65 ^b	205.30 ± 14.46 ^a
Zn**	625.10 ± 28.27 ^c	900.90 ± 31.43 ^b	1073.65 ± 68.94 ^b	2229.20 ± 115.94 ^a

* mg/L cinsindendir, ** µg/L cinsindendir

Dört örnek arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar ($p < 0.05$) saptanmıştır. Elde edilen bulgular, spontan fermantasyonda mineral içeriğin LAB suşlarıyla fermente edilen örneklerin mineral madde içeriğine göre daha düşük değerlere sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum, LAB suşlarıyla kontrollü fermantasyon işleminin mineral içerik üzerindeki zenginleştirici etkisini desteklemektedir. LP örneği, hem makro hem mikro elementler açısından en yüksek değerlere ulaşarak, bu suşun biyotransformasyon kapasitesinin en yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Toplam mineral konsantrasyonuna bakıldığında $LP > LC > LD > K$ sıralaması belirgin bir şekilde gözlenmiştir. Bu sıralama, aynı zamanda aromatik profillerde gözlenen eğilimlerle de paralellik göstermektedir ve belirli suşların sadece aroma değil, aynı zamanda besin içeriği üzerine de etkili olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, seçilen mikroorganizma türleri, sadece aromatik kalite değil, mineral içeriğin artırılması yönünden de

önemli bir rol oynamakta olup, fonksiyonel fermente içeceklerin geliştirilmesinde stratejik olarak kullanılabilir.



5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, doğal fermantasyonla elde edilen kırmızı pancar bazlı içeceklerde uygulanan farklı mikrobiyal starter kültürlerin (*L. casei*, *L. delbrueckii* ve *L. plantarum*) uçucu aroma bileşenleri, aroma aktif bileşikler, mineral madde kompozisyonu, fenolik profil ve duyusal kalite üzerindeki etkileri kapsamlı şekilde değerlendirilmiştir. Bulgular, her bir örnekte kullanılan farklı LAB suşlarının sahip olduğu kendine özgü metabolit üretim yönelimlerinin, ürün kalitesi ve işlevselliği açısından belirleyici olduğunu göstermiştir.

Örneklerin fenolik profili incelendiğinde LP örneğinin, 528,62 µg/L toplam betasiyanin ve 220,92 µg/L toplam betaksantin konsantrasyonlarıyla en yüksek pigment içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir. Betanin, izobetanin ve 2-dekarboksil izobetanin gibi betasiyanin türevleri LD ve LP'de, K ve LC örneklerine göre anlamlı ölçüde yüksek konsantrasyonda bulunmuştur. Ayrıca LP örneği, fenolik yapıda yer alan feruloil-tiramin ve (epi)kateşin glukozit gibi antioksidan etkili bileşiklerde de ön plana çıkmıştır. Bu sonuçlar, *L. plantarum*'un laktik asit fermantasyonunda fenolik maddelerin serbest hale gelmesini ve doğal pigment oluşum mekanizmasına olan pozitif etkisini ortaya koymaktadır.

Uçucu aroma bileşikleri bakımından, *L. plantarum* ile fermente edilen örnek, toplamda 14874 µg/L ile en yüksek uçucu bileşik içeriğine sahip olmuş; özellikle izoamil alkol, nonanol, 1-hekzanol ve trans-3-penten-2-ol gibi alkoller yüksek konsantrasyonlarda bulunmuştur. Aroma aktif bileşik analizleri, LP örneğinin genel olarak en zengin ve kompleks aromatik profile sahip örnek olduğunu göstermektedir. Özellikle 3-hidroksi-2-bütanon, etil laktat, 3-metil-1-bütanol ve anetol gibi meyvemsi, tereyağımsı ve anasonumsu karakter sağlayan bileşiklerin LP'de yüksek seviyelerde bulunması, bu örneğin tatlı, meyvemsi ve fermente notalarının duyusal olarak yoğun algılanmasına neden olmuştur. LC örneği, başta 3-hidroksi-2-bütanon, etil laktat ve 4-hidroksi-4-metil-2-pentanon gibi bileşikler olmak üzere, peynirimsi, kremi ve topraksı karakterlerin baskın olduğu bir aromatik yapı sergilemiştir. LD örneği ise daha dengeli ancak düşük aroma aktiflik düzeyine sahip bir profil sunmuş; özellikle butanoik asit, hekzanoik asit ve 3-metilbütanoik asit gibi keskin notaların öne çıktığı gözlemlenmiştir. Kontrol örneğinde ise asetik asit, bütanolakton ve bazı tanımlanamayan pirol bileşiklerinin yüksekliği, örneğin kendine has sirke, yağsı ve kavrulmuş-karamel karakterlerinin oluşumuna işaret etmektedir. Bu bulgular, kullanılan laktik asit bakteri suşlarının aroma gelişimi üzerinde belirleyici rol oynadığını ortaya koymaktadır. Duyusal

değerlendirmelerde de LP örneği, genel aroma, tat dengesi, ferahlık ve doğallık kriterlerinde en yüksek beğeni puanını alarak panelistler tarafından en tercih edilen örnek olarak öne çıkmıştır.

Mineral madde analizlerinde, LP örneği özellikle çinko, demir ve mangan gibi mikro elementler yönünden zenginleşmiş olup, örnekler arasında en yüksek mineral içeriğine sahip olmuştur. Bu durum, mikrobiyal aktivitenin mineral çözünürlüğünü artırıcı etkisini ve fermantasyon ortamında oluşan düşük pH'nın iyon mobilitesini kolaylaştırmasını destekler niteliktedir. LC ve LD örnekleri de kontrol örneğine kıyasla belirgin mineral zenginleşmesi göstermiştir. Makro elementlerde potasyum ve magnezyum öne çıkarken, mikro elementlerde özellikle çinko ve demir artışları dikkat çekmiştir.

Sonuç olarak, *L. plantarum* ile fermente edilen pancar içeceği; besin içeriği, fenolik bileşenler, aroma zenginliği, duyu kalite ve mineral maddeler bakımından en kompleks ve işlevsel örnek olarak öne çıkmıştır. Bu durum, laktik asit fermantasyonun sadece mikrobiyal stabilite değil, aynı zamanda duyu çekicilik ve fonksiyonel değer açısından da önemli bir biyoteknolojik araç olduğunu desteklemektedir.

KAYNAKÇA

- Alwazeer, D., Elnasanelkasim, M. A., Çiçek, S., Engin, T., Çiğdem, A., & Karaoğul, E. (2023). Comparative study of phytochemical extraction using hydrogen-rich water and supercritical fluid extraction methods. *Process Biochemistry*, 128, 218–226.
- Ambigaipalan, P., & Shahidi, F. (2015). Antioxidant potential of date (*Phoenix dactylifera* L.) seed protein hydrolysates and carnosine in food and biological systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(3), 864-871.
- Amjad, S., Akhtar, B., Shahzadi, M., Shahzadi, N., Raza, H., & Rehman, A. (2025). Beetroot and Its Therapeutic Effects on Hypertension: A Natural Remedy for Blood Pressure Management. *Multidisciplinary Surgical Research Annals*, 3(2), 228-254.
- AOAC. (2005). Official Methods of Analysis. 18th Edition, Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg.
- Azeredo, H.M.C. (2009). Betalains: Properties, sources, applications, and stability – A review. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(12), 2365–2376. doi:10.1111/j.1365-2621.2009.02094.x
- Bach, V., Mikkelsen, L., Kidmose, U. & Edelenbos, M. (2015). Culinary preparation of beetroot (*Beta vulgaris* L.): The impact on sensory quality and appropriateness. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(9), 1852–1859. doi:10.1002/jsfa.6886
- Barańska, A., Jedlińska, A., Wołosiak, R., Witrowa-Rajchert, D., & Derewiaka, D. (2024). Volatile and Antioxidant Compounds of Beetroot Powder Obtained by Dehumidified Air Spray Drying of Cloudy Juice. *Applied Sciences*, 14(16), 7316. doi:10.3390/app14167316
- Barbu, V., Cotârlet, M., Bolea, C. A., Cantaragiu, A., Andronoiu, D. G., Bahrim, G. E., & Enachi, E. (2020). Three types of beetroot products enriched with lactic acid bacteria. *Foods*, 9(6), 786.
- Baruah, R., Ray, M., & Halami, P. M. (2022). Preventive and therapeutic aspects of fermented foods. *Journal of Applied Microbiology*, 132(5), 3476-3489.

Baysal, T., Demirdöven, A., & Ergün, A. R. (2013). Kara havuç suyu üretiminde elektroplazmoliz, ve mikrodalga uygulamalarının, verim, ve kalite özellikleri üzerine etkileri. *Gıda*, 38(5), 291-298.

Bazhenova, I., Chernova, E., Bazhenova, T., & Bychenkova, V. (2021). National beverages in a healthy diet system. In E3S Web of Conferences (Vol. 296, p. 07004). *EDP Sciences*. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202129607004>

Belitz, H. D., Grosch, W., ve Schieberle, P. (2009). *Food Chemistry*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-69934-7_4

Ben Haj Koubaier, H., Snoussi, A., Essaidi, I., Chaabouni, M. M., Thonart, P., & Bouzouita, N. (2014). Betalain and phenolic compositions, antioxidant activity of Tunisian red beet (*Beta vulgaris* L. conditiva) roots and stems extracts. *International Journal of Food Properties*, 17(9), 1934–1945. doi:10.1080/10942912.2014.892767

Calvo, T. R. A., Perullini, M., & Santagapita, P. R. (2018). Encapsulation of betacyanins and polyphenols extracted from leaves and stems of beetroot in Ca (II)-alginate beads: A structural study. *Journal of Food Engineering*, 235, 32-40.

Cano-Lamadrid, M., Hernández, F., Corell, M., Burló, F., Legua, P., Moriana, A., ve Carbonell-Barrachina, Á. A. (2017). Antioxidant capacity, fatty acids profile, and descriptive sensory analysis of table olives as affected by deficit irrigation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(2), 444–451.

Casciano, F., Mayr, H., Nissen, L., Putti, A., Zoli, F., Gianotti, A., ve Conterno, L. (2022). Red beetroot fermentation with different microbial consortia to develop foods with improved aromatic features. *Foods*, 11(19), 3055. <https://doi.org/10.3390/foods11193055>

Cerny, C. (2008). The aroma side of the Maillard reaction. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1126(1), 66-71.

Chen, C., Zhao, S., Hao, G., Yu, H., Tian, H., ve Zhao, G. (2017). Role of lactic acid bacteria on the yogurt flavour: A review. *International journal of food properties*, 20(sup1), S316-S330.

- Chhikara, N., Kushwaha, K., Sharma, P., Gat, Y., ve Panghal, A. (2019). Bioactive compounds of beetroot and utilization in food processing industry: A critical review. *Food Chemistry*, 272, 192-200. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.022>
- Clifford, T., Howatson, G., West, D. J., ve Stevenson, E. J. (2015). The potential benefits of red beetroot supplementation in health and disease. *Nutrients*, 7(4), 2801-2822. <http://doi.org/10.3390/nu7042801>
- Czapski, J. (1985). The effect of heating conditions on losses and regeneration of betacyanin. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung A*, 180(1), 21–25.
- Czyżowska, A., Klewicka, E., ve Libudziś, Z. (2006). The influence of lactic acid fermentation process of red beet juice on the stability of biologically active colorants. *European Food Research and Technology*, 223(1), 110–116. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0159-y>
- Czyżowska, A., Siemianowska, K., Sniadowska, M., & Nowak, A. (2020). Bioactive compounds and microbial quality of stored fermented red beetroots and red beetroot juice. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 70(1).
- da Silva, D. V. T., Baião, D. dos S., de Oliveira Silva, F., Alves, G., Perrone, D., Del Aguila, E. M., ve Paschoalin, V. M. F. (2019). Betanin, a natural food additive: Stability, bioavailability, antioxidant and preservative ability assessments. *Molecules*, 24(3), 458. <https://doi.org/10.3390/molecules24030458>
- Dagli, M. M., Yeldan, P. A., Sevindik, O., Guclu, G., Kelebek, H., & Selli, S. (2022). Investigation of aroma compounds of queen anne's pocket melon (*Cucumis melo* L. ssp. *dudaim*) juice. *Journal of Raw Materials to Processed Foods*, 3(2), 74-82.
- Data Insights Market. (2023). Beet Red Colour Market Report. Erişim adresi: <https://www.datainsightsmarket.com/reports/beet-red-colour-1248803>
- Desseva, I., Stoyanova, M., Petkova, N., & Mihaylova, D. (2020). Red beetroot juice phytochemicals bioaccessibility: An in vitro approach. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 70(1). <https://doi.org/10.31883/pjfn/116590>

- Di Cagno, R., Coda, R., De Angelis, M., & Gobbetti, M. (2013). Exploitation of, vegetables and fruits through lactic acid fermentation. *Food Microbiology*, 33(1), 1-10.
- Di Cagno, R., Filannino, P., & Gobbetti, M. (2015). Vegetable and fruit fermentation by lactic acid bacteria. *Biotechnology of lactic acid bacteria: Novel Applications*, 216-230.
- Dongmo, S. N., Sacher, B., Kollmannsberger, H., & Becker, T. (2017). Key volatile aroma compounds of lactic acid fermented malt based beverages—impact of lactic acid bacteria strains. *Food Chemistry*, 229, 565-573.
- Ekin, H. N., & Orhan, D. D. (2019). Kvass: a fermented traditional beverage. In *Fermented Food Products* (pp. 287-294). *CRC Press*.
- Engel, W., Bahr, W., & Schieberle, P. (1999). Solvent assisted flavour evaporation—a new and, versatile technique for the careful and direct isolation of aroma compounds from complex food matrices. *European Food Research and Technology*, 209(3), 237–241.
- Ersoyak, N. (2024). Ön işlemlerin kırmızı pancar (*Beta vulgaris* L.) pestilinin kurutma kinetiği, ve kalite parametreleri üzerindeki etkilerinin araştırılması. Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Yüksek Lisans Tezleri / Master Degree,
- Eussen, S. J., van Dongen, M. C., Wijckmans, N., den Biggelaar, L., Oude Elferink, S. J., Singh-Povel, C. M., Schram, M. T., Sep, S. J. S., van der Kallen & Dagnelie, P. C. (2016). Consumption of dairy foods in relation to impaired glucose metabolism and type 2 diabetes mellitus: the Maastricht Study. *British Journal of Nutrition*, 115(8), 1453-1461.
- FAOSTAT. 2022. Available online: (accessed on 2 February 2024).
- Fickert, A., & Schieberle, P. (1999). Importance of methional as a character impact compound in boiled potatoes: Results of a molecular sensory science study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(7), 2260–2265.
- Fissore, E. N., Ponce, N. M. A., Matkovic, L., Stortz, C. A., Rojas, A. M., & Gerschenson, L. N. (2011). Isolation of pectin-enriched products from red beet (*Beta vulgaris* L. var. conditiva) wastes: composition and functional properties. *Food Science and Technology International*, 17(6), 517-527.

- Foss, K., Starowicz, M., Kłębukowska, L., & Sawicki, T. (2023). Effect of lactic acid fermentation of red beetroot juice on volatile compounds profile and content. *European Food Research and Technology*, 249(9), 2401–2418. doi:10.1007/s00217-023-04123-5
- Fraga, C. G., Croft, K. D., Kennedy, D. O., & Tomás-Barberán, F. A. (2019). The effects of polyphenols and other bioactives on human health. *Food & Function*, 10(2), 514-528.
- Fu, Y., Shi, J., Xie, S. Y., Zhang, T. Y., Soladoye, O. P., & Aluko, R. E. (2020). Red beetroot betalains: Perspectives on extraction, processing, and potential health benefits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(42), 11595–11611. doi:10.1021/acs.jafc.0c05053
- Gan, J., Kong, X., Wang, K., Chen, Y., Du, M., Xu, B., Wang, Z., Cheng, Y., & Yu, T. (2023). Effect of fermentation using different lactic acid bacteria strains on the nutrient components and mineral bioavailability of soybean yogurt alternative. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1198456.
- Gandía-Herrero, F., & García-Carmona, F. (2012). Characterization of recombinant *Beta vulgaris* 4,5-DOPA-extradiol-dioxygenase active in the biosynthesis of betalains. *Planta*, 236(1), 91–100.
- Gänzle, M. G. (2015). Lactic metabolism revisited: metabolism of lactic acid bacteria in food fermentations and food spoilage. *Current Opinion in Food Science*, 2, 106-117. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.03.001>
- Gassem, M. A. (2002). A microbiological study of Sobia: a fermented beverage in the Western province of Saudi Arabia. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 18(3), 173–177.
- Gençdağ, E., Görgüç, A., Birişik, M., Genç, E., Başkurt, C., & Yılmaz, F. M. (2019). Enzymatic pre-treatment in red beet juice production: The effect of process variables on juice yield, betanin content, total phenolic compound and antioxidant capacity. *Journal of Food Science and Technology*, 56(3), 1536–1545. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3552-7>
- Gengatharan, A., Dykes, G. A., & Choo, W. S. (2015). Betalains: Natural plant pigments with potential application in functional foods. *LWT - Food Science and Technology*, 64(2), 645–649. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.052>

- Georgiev, V. G., Weber, J., Kneschke, E. M., Denev, P. N., Bley, T., & Pavlov, A. I. (2010). Antioxidant activity and phenolic content of betalain extracts from intact plants and hairy root cultures of the red beetroot *Beta vulgaris* cv. Detroit Dark Red. *Plant Foods for Human Nutrition*, 65(2), 105–111. <https://doi.org/10.1007/s11130-010-0156-6>
- Guiné, R. P., Gonçalves, F., Lerat, C., El Idrissi, T., Rodrigo, E., Correia, P. M., & Gonçalves, J. C. (2018). Extraction of phenolic compounds with antioxidant activity from beetroot (*Beta vulgaris* L.). *Current Nutrition & Food Science*, 14(4), 350–357. doi:10.2174/1573401314666180727122839
- Gülbandılar, A., Okur, M., & Dönmez, M. (2017). Fonksiyonel gıda olarak kullanılan probiyotikler, ve özellikleri. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 10(1), 44-47.
- Guldiken, B., Toydemir, G., Memis, K. N., Okur, S., Boyacioglu, D., & Capanoglu, E. (2016). Home processed red beetroot (*Beta vulgaris* L.) products: Changes in antioxidant properties and bioaccessibility. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(6), 858. doi:10.3390/ijms17060858
- Halkman, A. K. (2005). *Merck Practise of Food Microbiology*. Başak Matbaacılık Ltd. Şti., Ankara, Turkey, pp. 1–358.
- Harrigan, W. F. (1998). *Laboratory Methods in Food Microbiology* (3rd ed.). Academic Press.
- Hegazi, F. Z., & Abo-Elnaga, I. G. (1987). Factors affecting the caseinolytic activity of *Lactobacillus casei* and *Lactobacillus plantarum*. *Food/Nahrung*, 31(3), 199–206.
- Herbach, K.M., Stintzing, F.C., & Carle, R. (2006). Betalain stability and degradation – Structural and chromatic aspects. *Journal of Food Science*, 71(8), R41–R50.
- Hilimire, M.R., et al. (2015). Probiotic supplementation reduces social anxiety symptoms. *Psychosomatic Medicine*, 77(6), 724–731.
- Hing, A. (2020). Effects of Salt and Garlic Concentration on the Microbial Safety, Biochemical Properties, and Sensory Acceptance of Spontaneously Fermented Beet Kvass. The University of Maine. ProQuest Dissertations & Theses, 2020. 28218251.

Jafar, N. B., Ghaleb, Z. T., & Fadhil, Z. H. (2019). Production of fermented red beet juice using probiotic lactobacilli bacteria. *Annals of Tropical Medicine and Public Health*, 22, 73–75.

Jakubczyk, K., Melkis, K., Janda-Milczarek, K., & Skonieczna-Żydecka, K. (2023). Phenolic compounds and antioxidant properties of fermented beetroot juices enriched with different additives. *Foods*, 13(1), 102.

Kamel, S. M., Alqurashi, R. M., Alshebly, A. M., Saleh, F. A., Alnemr, T. M., Ali, H. F., Salim A. A., Saeed A., Marwa E. I., ve Alqahtani, N. K. (2024). Effect of drying method and coating with gum Arabic on physicochemical properties, Betalain content, LDL oxidation, and storage stability of dried red beetroot slices. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2024(1), 8471292.

Kawa-Rygielska, J., Pietrzak, W., Regiec, P., & Stencel, P. (2013). Utilization of concentrate after membrane filtration of sugar beet thin juice for ethanol production. *Bioresource Technology*, 133, 134–141. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.01.072>

Kazimierczak R, Hallmann E, Lipowski J, Drela N, Kowalik A, Püssa T, Rembiałkowska E (2014) Beetroot (*Beta vulgaris* L.) and naturally fermented beetroot juices from organic and conventional production: metabolomics, antioxidant levels and anticancer activity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(13), 2618–2629.

Kebede, B. T., Grauwet, T., Mutsokoti, L., Palmers, S., Vervoort, L., Hendrickx, M., & Van Loey, A. (2014). Comparing the impact of high pressure high temperature and thermal sterilization on the volatile fingerprint of onion, potato, pumpkin and red beet. *Food Research International*, 56, 218–225. doi:10.1016/j.foodres.2013.11.013

Kelebek, H., & Selli, S. (2011). Evaluation of chemical constituents and antioxidant activity of sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars. *International Journal of Food Science and Technology*, 46(12), 2530–2537. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02772.x>

Kelebek, H., Jourdes, M., Selli, S., & Teissedre, P. L. (2013). Comparative evaluation of the phenolic content and antioxidant capacity of sun-dried raisins. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(12), 2963–2972.

- Kelebek, H., Selli, S. (2011). Determination of volatile, phenolic, organic acid and sugar components in a Turkish Cv. Dortyol (*Citrus sinensis* L. Osbeck) orange juice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(10), 1855–1862.
- Khan, A., & Kang, S.H. (2016). Antimicrobial activity of probiotic strains against pathogens: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 53, 4051–4064.
- Kiczorowski, P., Kiczorowska, B., Samolińska, W., Szmigielski, M., & Winiarska-Mieczan, A. (2022). Effect of fermentation of chosen, vegetables on the nutrient, mineral, and biocomponent profile in human and animal nutrition. *Scientific reports*, 12(1), 13422.
- Kırca, A., Özkan, M., & Cemeroğlu, B. (2007). Effects of temperature, solid content and pH on the stability of black carrot anthocyanins. *Food Chemistry*, 101(1), 212-218.
- Kırlangıç, O., Ilgaz, C. & Kadiroğlu, P. (2021). Influence of pasteurization and storage conditions on microbiological quality and aroma profiles of shalgam. *Food Bioscience*, 44, 101350. doi:10.1016/j.fbio.2021.101350
- Klewicka, E., Zduńczyk, Z., & Juśkiewicz, J. (2009). Effect of *Lactobacillus*-fermented beetroot juice on composition and activity of cecal microflora of rats. *European Food Research and Technology*, 229(1), 153–157. <https://doi.org/10.1007/s00217-009-1032-6>
- Knafelz, P., Stopar, M., & Vidrih, R. (2020). Fermentation of beetroot juice with different lactic acid bacteria strains and its effect on the pigment stability and antioxidant potential. *LWT - Food Science and Technology*, 133, 110088. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110088>
- Knez, E., Kadac-Czapska, K., Dmochowska-Ślęzak, K., & Grembecka, M. (2022). Root, vegetables—Composition, health effects, and contaminants. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(23), 15531.
- Koc, F., Aksoy, S. O., Okur, A. A., Celikyurt, G., Korucu, D., & Özduven, M. L. (2017). Effect of pre fermented juice, *Lactobacillus plantarum* and *Lactobacillus buchneri* on the fermentation characteristics and aerobic stability of high dry matter alfalfa bale silage. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 27(5), 1426–1431. doi:10.3168/jds.2017-13909

- Kot, E., Furmanov, S., & Bezkorovainy, A. (1996). Hydrogen peroxide production and oxidation of ferrous iron by *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*. *Journal of Dairy Science*, 79(5), 758-766.
- Koyande, A. K., Chew, K. W., Rambabu, K., Tao, Y., Chu, D. T., & Show, P. L. (2019). Microalgae: A potential alternative to health supplementation for humans. *Food Science and Human Wellness*, 8(1), 16-24.
- Kujala, T. S., Loponen, J. M., Klika, K. D., & Pihlaja, K. (2000). Phenolics and betacyanins in red beetroot (*Beta vulgaris*) root: Distribution and effect of cold storage on the content of total phenolics and three individual compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(11), 5338-5342.
- Kujala, T. S., Vienola, M. S., Klika, K. D., Loponen, J. M., & Pihlaja, K. (2002). Betalain and phenolic compositions of four beetroot (*Beta vulgaris*) cultivars. *European Food Research and Technology*, 214, 505–510.
- Kujala, T., Loponen, J., & Pihlaja, K. (2001). Betalains and phenolics in red beetroot (*Beta vulgaris*) peel extracts: extraction and characterisation. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 56(5-6), 343-348.
- Kumari, V. C., Huligere, S. S., Ramu, R., Naik Bajpe, S., Sreenivasa, M. Y., Silina, E., Stupin, V., & Achar, R. R. (2022). Evaluation of probiotic and antidiabetic attributes of lactobacillus strains isolated from fermented beetroot. *Frontiers in Microbiology*, 13, 911243.
- Kumorkiewicz-Jamro, A., Świergosz, T., Sutor, K., Spórna-Kucab, A., & Wybraniec, S. (2021). Multi-colored shades of betalains: Recent advances in betacyanin chemistry. *Natural Product Reports*, 38(12), 2315–2346.
- Laitila, A., Alakomi, H. L., Raaska, L., Mattila-Sandholm, T., & Haikara, A. (2002). Antifungal activities of two *Lactobacillus plantarum* strains against *Fusarium* moulds in vitro and in malting of barley. *Journal of Applied Microbiology*, 93(4), 566-576.
- Liu, S. Q., Holland, R., & Crow, V. L. (2004). Esters and their biosynthesis in fermented dairy products: a review. *International Dairy Journal*, 14(11), 923-945.

López-Solórzano, E., Muro, C., Perez, Y. A., Guadarrama-Lezama, A. Y., Gutiérrez-Cortez, E., & Urrieta, J. M. (2025). Conservation analysis and colorimetric characterization of betalain extracts from the peel of red beetroot, golden beetroot, and prickly pear applied to cottage cheese. *Foods*, 14(2), 228.

Lu, G., Edwards, C. G., Fellman, J. K., Mattinson, D. S., & Navazio, J. (2003). Biosynthetic origin of geosmin in red beets (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(4), 1026–1029. doi:10.1021/jf020714w

Lu, X., Yang, C., Yang, Y., & Peng, B. (2023). Analysis of the formation of characteristic aroma compounds by amino acid metabolic pathways during fermentation with *Saccharomyces cerevisiae*. *Molecules*, 28(7), 3100. <https://doi.org/10.3390/molecules28073100>

Majcher, M., & Jeleń, H. H. (2009). Comparison of suitability of SPME, SAFE and SDE methods for isolation of flavor compounds from extruded potato snacks. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(6), 606-612.

Manchali, S., Murthy, K. N. C., Nagaraju, S., & Neelwarne, B. (2012). Stability of betalain pigments of red beet. In *Red beet biotechnology: food and pharmaceutical applications* (pp. 55-74). Boston, MA: Springer US.

Marco, M. L., Heeney, D., Binda, S., Cifelli, C. J., Cotter, P. D., Foligné, B., Gänzle, M., Kort, R., Pasin, G., Pihlanto, A., Smid, E. J., & Hutkins, R. (2017). Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond. *Current Opinion in Biotechnology*, 44, 94–102.

Martinez, R. M., Melo, C. P. B., Pinto, I. C., Mendes-Pierotti, S., Vignoli, J. A., Verri, W. A., & Casagrande, R.(2024). Betalains: A narrative review on pharmacological mechanisms supporting the nutraceutical potential towards health benefits. *Foods*, 13(23), 3909. <https://doi.org/10.3390/foods13233909>

Melo, M. J., Martins, N., Paiva, A., & Lima, C. F. (2019). Stability of betanin and related betalains in food systems and biological models. *Phytochemistry Reviews*, 18(5), 1285–1306. <https://doi.org/10.1007/s11101-019-09625-3>

Mestres, M., Busto, O., & Guasch, J. (2000). Analysis of organic sulfur compounds in wine aroma. *Journal of Chromatography A*, 881(1-2), 569-581. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(00\)00220-X](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(00)00220-X)

Mohd Yusof, H., Mohamad, R., Zaidan, U. H., & Rahman, N. A. A. (2020). Sustainable microbial cell nanofactory for zinc oxide nanoparticles production by zinc-tolerant probiotic *Lactobacillus plantarum* strain TA4. *Microbial Cell Factories*, 19(1), 10.

Mohsen, S., Alsaman, M., & Mahrous, H. (2018). A study of the effect of lactic acid bacteria on antioxidant content of beetroot (*Beta vulgaris*). *Biotechnological Research*, 4(3), 103-108.

Montoro, P., Cortés-Giraldo, I., & Hernández, I. (2018). Identification and quantification of phenolic compounds in red beet (*Beta vulgaris*) by UHPLC-Q-Orbitrap-MS. *Food Chemistry*, 268, 252-261.

Mousavi, Z. E., Mousavi, S. M., Razavi, S. H., Hadinejad, M., Emam-Djomeh, Z., & Mirzapour, M. (2013). Effect of Fermentation of Pomegranate Juice by *Lactobacillus plantarum* and *Lactobacillus acidophilus* on the Antioxidant Activity and Metabolism of Sugars, Organic Acids and Phenolic Compounds. *Food Biotechnology*, 27(1), 1–13.

Mozaffarian D., Hao T., Rimm E.B., Willett W.C., Hu F.B. (2011). Changes in diet and lifestyle and long-term weight gain in women and men. *The New England Journal of Medicine*, 364(25), 2392-2404.

Neelwarne, B. (Ed.). (2012). Red beet biotechnology: *Food and Pharmaceutical Applications*. Springer Science, & Business Media.

Nicolotti, C., Cirlini, M., Del Vecchio, L., Hadj Saadoun, J., Bernini, V., Gatti, M., Bottari, B., & Martelli, F. (2025). Lactic Acid Fermentation of *Chlorella vulgaris* to Improve the Aroma of New Microalgae-Based Foods: Impact of Composition and Bacterial Growth on the Volatile Fraction. *Foods*, 14(9), 1511.

Ninfali, P., & Angelino, D. (2013). Nutritional and functional potential of *Beta vulgaris* cicla and rubra. *Fitoterapia*, 89, 188-199.

Özcan, K., & Bilek, S. E. (2018). Kırmızı pancardan renk maddesi üretimi, ve stabilitesinin sağlanması. *Akademik Gıda Dergisi*, 16(4), 439–449.

Özcan, M. M., & Uslu, N. (2023). Changes in bioactive compounds, antioxidant activity, and polyphenols of red beetroots dehydrated in oven, microwave, and infrared systems. *JSFA Reports*, 3(11), 582-587.

Özdestan, Ö., & Üren, A. (2010). Biogenic amine content of kefir: a fermented dairy product. *European Food Research and Technology*, 231(1), 101-107.

Özer, N., & Çoksöyler, F. N. (2015). Şalgam suyunun bazı kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri. *Gıda*, 40(1), 31-38.

Pahumunto, N., ve Teanpaisan, R. (2023). Anti-cancer properties of potential probiotics and their cell-free supernatants for the prevention of colorectal cancer: An in vitro study. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 15(5), 1137-1150.

Pan, X., Zhang, S., Xu, X., Lao, F., & Wu, J. (2022). Volatile and non-volatile profiles in jujube pulp co-fermented with lactic acid bacteria. *LWT*, 154, 112772.

Panghal, A., VirKAr, K., KumAr, V., Dhull, S. B., Gat, Y., & Chhikara, N. (2017). Development of probiotic beetroot drink. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 5(3).

Park, K., Starowicz, M., Kłębukowska, L., & Sawicki, T. (2024). Effect of ascorbic acid treatment on taste intensity and volatile compound profile of red beetroot (*Beta vulgaris* L.). *European Food Research and Technology*, 250(1), 112–122. doi:10.1007/s00217-024-04600-3

Parliment, T. H., Kolor, M. G., & Maing, I. Y. (1977). Identification of the major volatile components of cooked beets. *Journal of Food Science*, 42(6), 1592–1593. doi:10.1111/j.1365-2621.1977.tb13159.x

Pessione, E. (2012). Lactic acid bacteria contribution to gut microbiota complexity: lights and shadows. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 2, 86.

Petruzzi, L., Corbo, M. R., Sinigaglia, M., & Bevilacqua, A. (2017). Microbial spoilage of foods: Fundamentals. In *The Microbiological Quality of Food* (pp. 1-21). Woodhead Publishing.

Pico, J., Bernal, J., & Gómez, M. (2015). Wheat bread aroma compounds in crumb and crust: A review. *Food Research International*, 75, 200-215.

Pihlsgård, P., Leufvén, A., & Lingnert, H. (2001). Aroma compounds in the production of liquid beet sugar. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(8), 3875–3880. doi:10.1021/jf001387s

Platosz, N., Sawicki, T., & Wiczowski, W. (2020). Profile of phenolic acids and flavonoids of red beet and its fermentation products. Does long term consumption of fermented beetroot juice affect phenolics profile in human blood plasma and urine? *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 70(1).

Pothakos, V., Samapundo, S., & Devlieghere, F. (2012). Total mesophilic counts underestimate contamination levels of psychrotrophic lactic acid bacteria in chilled-stored foods. *Food Microbiology*, 30(1), 86–93. doi:10.1016/j.fm.2012.07.011

Pozo-Bayón, M. A., G-Alegría, E., Polo, M. C., Tenorio, C., Martín-Álvarez, P. J., Calvo de la Banda, M. T., Ruiz-Larrea, F., & Moreno-Arribas, M. V. (2005). Wine volatile and amino acid composition after malolactic fermentation: Effect of *Oenococcus oeni* and *Lactobacillus plantarum* starter cultures. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(22), 8729–8735.

Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. (2005). Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(10), 4290–4302. <https://doi.org/10.1021/jf0502698>

Rahelić, D., Kovačević Ganić, K., Sarić, G., & Brnčić, M. (2021). Polyphenol content and antioxidant capacity of beetroot juice fermented with lactic acid bacteria. *Food Technology and Biotechnology*, 59(2), 235–243.

Ravichandran, K., Ahmed, A. R., Knorr, D., & Smetanska, I. (2012). The effect of different processing methods on phenolic acid content and antioxidant activity of red beet. *Food Research International*, 48(1), 16–20. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.01.011>

Ravyts, F., Vuyst, L. D., & Leroy, F. (2012). Bacterial diversity and functionalities in food fermentations. *Engineering in Life Sciences*, 12(4), 356-367. <https://doi.org/10.1002/elsc.201100119>

Reij, M. W., & Van Schothorst, M. (2000). Critical notes on microbiological risk assessment of food. *Brazilian Journal of Microbiology*, 31, 01-08.

Richardson, F. R. (2013). Identification of potent odorants in fermented foods by AEDA GCO supported by GC MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(12), 3206–3214.

Rizzello, C. G., Cavoski, I., Turk, J., Ercolini, D., Nionelli, L., Pontonio, E., De Angelis, Francesca D. F., Gobbetti, M., & Di Cagno, R. (2015). Organic cultivation of *Triticum turgidum* subsp. durum is reflected in the flour-sourdough fermentation-bread axis. *Applied and Environmental Microbiology*, 81(9), 3192–3204. <https://doi.org/10.1128/AEM.04141-14>

Salar, R. K., Yahia, E. M., & Orak, H. H. (2023). Impact of lactic acid fermentation on aroma compounds of red beetroot juice. *LWT – Food Science and Technology*, 181, 115199. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115199>

Santos, A. D. O. D., Ávila, C. L. D. S., Soares, C., Carvalho, B. F., Schwan, R. F., & Lima, N. (2019). Lactic acid bacteria diversity in corn silage produced in Minas Gerais (Brazil). *Annals of Microbiology*, 69(13), 1445–1459. <https://doi.org/10.1007/s13213-019-01496-7>

Sasmaz, H. K., Guclu, G., Sevindik, O., Selli, S., & Kelebek, H. (2024). Decoding the changes of volatiles and key odorants of fresh garlic and black garlic produced with different parameters by GC-MS-Olfactometry. *ACS Food Science & Technology*, 4(12), 2946-2957.

Sawant, S. S., Park, H. Y., Sim, E. Y., Kim, H. S., & Choi, H. S. (2025). Microbial Fermentation in Food: Impact on Functional Properties and Nutritional Enhancement—A Review of Recent Developments. *Fermentation* (Basel), 11(1).

Sawicki, T., Bączek, N., & Wiczowski, W. (2016). Betalain profile, content and antioxidant capacity of red beetroot dependent on the genotype and root part. *Journal of Functional Foods*, 27, 249–261. doi:10.1016/j.jff.2016.08.015

Sawicki, T., Jabłońska, M., Starowicz, M., Kłębukowska, L., & Błaszczak, W. (2024). The effects of fermentation by different species of lactic acid bacteria on betalains and polyphenol profile and in vitro bioactive potential of red beetroot juice. *Journal of Food and Drug Analysis*, 32(4), 482.

Sawicki, T., Martinez-Villaluenga, C., rias, J., Wiczowski, W., Peñas, E., Bączek, N., & Zieliński, H. (2019). The effect of processing and in vitro digestion on the betalain profile and ACE inhibition activity of red beetroot products. *Journal of Functional Foods*, 55, 229–237.

Sevindik, O., Amanpour, A., Tsouli Sarhir, S., Kelebek, H., & Selli, S. (2019). Characterization of key odorants in Moroccan argan oil by aroma extract dilution analysis. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 121(5), 1800437. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201800437>

Sevindik, O., Güçlü, G., Ağrman, B., Selli, S., Kadiroğlu, P., Bordiga, M., Capanoglu, E., & Kelebek, H. (2022). Impacts of selected lactic acid bacteria strains on the aroma and bioactive compositions of fermented gilaburu (*Viburnum opulus*) juices. *Food Chemistry*, 378, 132079. doi:10.1016/j.foodchem.2022.132079

Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages, and spices: Antioxidant activity and health effects—A review. *Journal of Functional Foods*, 18, 820- 897.

Sib, G., Sukumaran, V., Sen, S., & Park, S. C. (2018). Use of a potential probiotic, *Lactobacillus casei* L4, in the preparation of fermented coconut water beverage. *Frontiers in Microbiology*, 9, 1976.

Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2015). Novel functional food ingredients from marine sources. *Current Opinion in Food Science*, 2, 123-129.

Silva, D. V. T. D., Baião, D. D. S., Ferreira, V. F., & Paschoalin, V. M. F. (2021). Betanin as a multipath oxidative stress and inflammation modulator: A beetroot pigment with protective effects on cardiovascular disease pathogenesis. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(2), 539–554.

Slatnar, A., Stampar, F., Veberic, R., & Jakopic, J. (2015). HPLC-MSⁿ identification of betalain profile of different beetroot (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris*) parts and cultivars. *Journal of Food Science*, 80(9), C1952–C1958. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12982>

Smid, E. J., & Kleerebezem, M. (2014). Production of aroma compounds in lactic fermentations. *Annual Review of Food Science and Technology*, 5(1), 313-326.

- Smit, G., Smit, B. A., & Engels, W. J. (2005). Flavour formation by lactic acid bacteria and biochemical flavour profiling of cheese products. *FEMS Microbiology Reviews*, 29(3), 591-610.
- Spano, G., Rinaldi, A., Ugliano, M., Moio, L., Beneduce, L., & Massa, S. (2005). A β -glucosidase gene isolated from wine *Lactobacillus plantarum* is regulated by abiotic stresses. *Journal of Applied Microbiology*, 98(4), 855-861.
- Stoica, F., Râpeanu, G., Rațu, R. N., Stănciuc, N., Croitoru, C., Țopa, D., & Jităreanu, G. (2025). Red Beetroot and Its By-Products: A Comprehensive Review of Phytochemicals, Extraction Methods, Health Benefits, and Applications. *Agriculture*, 15(3), 270. <https://doi.org/10.3390/agriculture15030270>
- Tanguler, H., Selli, S., Sen, K., Cabaroglu, T., & Erten, H. (2017). Aroma composition of shalgam: a traditional Turkish lactic acid fermented beverage. *Journal of Food Science and Technology*, 54(7), 2011-2019. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2637-1>
- Tillisch, K., Labus, J., Kilpatrick, L., Jiang, Z., Stains, J., Gupta, A., Naliboff, B., Mayer, E. (2013) Consumption of fermented milk product with probiotic modulates brain activity. *Gastroenterology*. 144(6), 1394-401.e4.
- United States Department of Agriculture. (2022). FoodData Central: Beets, raw (FDC ID: 168153). Retrieved from
- Vanbeneden, N., Gils, F., Delvaux, F., & Delvaux, F. R. (2008). Formation of 4-vinyl and 4-ethyl derivatives from hydroxycinnamic acids: Occurrence of volatile phenolic flavour compounds in beer and distribution of Pad1-activity among brewing yeasts. *Food Chemistry*, 107(1), 221-230. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.08.008>
- Viña, S.Z., Chaves, A.R., and Roura, S.I. (2017). Changes in phenolic compounds during storage of beetroot (*Beta vulgaris* L.) under refrigeration. *Postharvest Biology and Technology*, 126, 91–99.
- Vranová, E., Coman, D., & Gruissem, W. (2012). Structure and dynamics of the isoprenoid pathway network. *Molecular plant*, 5(2), 318-333. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050312-120116>

- Wang, X., & Wang, P. (2023). Red beetroot juice fermented by water kefir grains: Physicochemical, antioxidant profile and anticancer activity. *European Food Research and Technology*, 249(4), 939–950. <https://doi.org/10.1007/s00217-023-04155-y>
- Wang, Y., Adekolurejo, O. O., Wang, B., McDermott, K., Do, T., Marshall, L. J., & Boesch, C. (2024). Bioavailability and excretion profile of betacyanins–Variability and correlations between different excretion routes. *Food Chemistry*, 437, 137663. doi:10.1016/j.foodchem.2023.137663
- Wibowo, S., Vervoort, L., Tomic, J., Santiago, J. S., Lemmens, L., Panozzo, A., Grauwet, T., Hendrickx, M., & Van Loey, A. (2015). Colour and carotenoid changes of pasteurised orange juice during storage. *Food Chemistry*, 171, 330–340.
- Wruss, J., Waldenberger, G., Huemer, S., Uygun, P., Lanzerstorfer, P., Müller, U., Höglinger, O., & Weghuber, J. (2015). Compositional characteristics of commercial beetroot products and beetroot juice prepared from seven beetroot varieties grown in Upper Austria. *Journal of Food Composition and Analysis*, 42, 46-55.
- Wu, B., Liu, J., Yang, W., Zhang, Q., Yang, Z., Liu, H., Zhenzhen L., Zhang C., & Jiao, Z. (2021). Nutritional and flavor properties of grape juice as affected by fermentation with lactic acid bacteria. *International Journal of Food Properties*, 24(1), 906-922. <https://doi.org/10.1080/10942912.2021.1942041>
- Wybraniec, S. (2005). Formation of decarboxylated betacyanins in heated purified betacyanin fractions from red beet root (*Beta vulgaris* L.) monitored by LC– MS/MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(9), 3483-3487. <https://doi.org/10.1021/jf048088d>
- Wybraniec, S., Starzak, K., Skopińska, A., Szaleniec, M., Słupski, J., Mitka, K., Kowalski, P., & Michałowski, T. (2013). Effects of metal cations on betanin stability in aqueous-organic solutions. *Food Science and Biotechnology*, 22(2), 353-363.
- Yilmaz-Ersan, L., & Turan, M. A. (2012). Major and Minor Element Concentrations in Fermented Shalgam Beverage. *International Journal of Food Properties*, 15(4), 903–911.
- Yoon, S., Hong, K.-B., Jeong, H., Hong, S. J., Jo, S. M., Park, H., Ban, Y., Youn, M., Cheon, G., Kim, J. S., Lee, Y., Park, S.-S., & Shin, E.-C. (2023). Flavor and taste of red beet (*Beta*

vulgaris L.) harvested in Jeju Island using the electronic nose, electronic tongue, and GC MS. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 52(9), 907–916.

Zabat, M. A., Sano, W. H., Wurster, J. I., Cabral, D. J., & Belenky, P. (2018). Microbial community analysis of sauerkraut fermentation reveals a stable and rapidly established community. *Foods*, 7(5), 77.

Zhang, M., Lu, Q., Bai, J., Gao, J., Wu, Z., Li, X., Tong, P., Chen, H., ve Yang, A. (2023). Evaluation of the potential anti-soybean allergic activity of different forms of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* based on cell model in vitro. *Food & Function*, 14(2), 746–758. <https://doi.org/10.1039/D2FO02910J>

Zhang, M., Wang, L., Wu, G., Wang, X., Lv, H., Chen, J., Liu, Y., Pang, H., ve Tan, Z. (2021). Effects of *Lactobacillus plantarum* on the fermentation profile and microbiological composition of wheat fermented silage under the freezing and thawing low temperatures. *Frontiers in Microbiology*, 12, 671287. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.671287>