

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FARKLI ORANLARDA KIRMIZI PANCAR İLAVE EDİLMİŞ EKŞİ MAYALI
EKMEĞİN RENK VE ANTİOKSİDAN ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS

Tuğba DEMİRBAŞ

OCAK-2023
GÜMÜŞHANE



T.C.

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FARKLI ORANLARDA KIRMIZI PANCAR İLAVE EDİLMİŞ EKŞİ MAYALI
EKMEĞİN RENK VE ANTİOKSİDAN ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**INVESTIGATION OF COLOUR AND ANTIOXIDANT PROPERTIES OF
SOURDOUGH BREAD WITH DIFFERENT PROPORTIONS OF RED BEET
ADDED**

YÜKSEK LİSANS

Tuğba DEMİRBAŞ

**OCAK-2023
GÜMÜŞHANE**



T.C.

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FARKLI ORANLARDA KIRMIZI PANCAR İLAVE EDİLMİŞ EKŞİ MAYALI
EKMEĞİN RENK VE ANTİOKSİDAN ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**INVESTIGATION OF COLOUR AND ANTIOXIDANT PROPERTIES OF
SOURDOUGH BREAD WITH DIFFERENT PROPORTIONS OF RED BEET
ADDED**

YÜKSEK LİSANS

Tuğba DEMİRBAŞ

Danışman: Doç. Dr. Fevzi TOPAL

**OCAK-2023
GÜMÜŞHANE**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**Farklı Oranlarda Kırmızı Pancar İlave Edilmiş Ekşi Mayalı Ekmeğin Renk ve Antioksidan Özelliklerinin Araştırılması**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi’nin lisanslı kullanıcısı olduğum intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlediği kıstaslara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği’nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

27/01/2023

.....
Tuğba DEMİRBAŞ

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek lisans eğitimim boyunca çalışmanın düzenlenmesi, gerçekleştirilmesi ve değerlendirilmesinde katkılarıyla beni yönlendiren ve yol gösteren, bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım, danışman hocam Sayın Doç. Dr. Fevzi TOPAL' a teşekkür ederim.

Gıda Mühendisliği bölümümüzün bütün imkanlarından faydalanmamı sağlayan bölüm başkanı ve aynı zamanda jüri üyesi olan Sayın Prof. Dr. Sevim Beyza ÖZTÜRK SARIKAYA'ya ve diğer jüri üyesi Sayın Doç. Dr. Ahmed MENEVŞEOĞLU'na katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca bana destek olan, yüreklendiren arkadaşım Elif Şeyma CÜCE'ye, hayatımın her alanında olduğu gibi tez çalışmam boyunca tüm desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen motivasyon kaynağım olan meslektaşım, sevgili eşim Dr. Öğr. Üyesi Muhammet DEMİRBAŞ'a, desteklerini daima hissettiğim ve varlıklarıyla huzur bulduğum sevgili anneme, babama, kardeşlerime ve son olarak tez çalışmam sırasında bana küçük fırsatlar veren canım kızım, biricğim Nil'e sonsuz teşekkür ederim.

Tuğba DEMİRBAŞ
GÜMÜŞHANE- 2023

ÖZET

Bu çalışmada insan sağlığı açısından önemi anlaşılan ve tüketimi yaygınlaşan ekşi mayalı ekmekte kırmızı pancar (*Beta vulgaris* L.) kullanılarak fonksiyonel bir ürünün hazırlanması amaçlanmaktadır.

Araştırma kapsamında mikrodalga, kurutma kabini ve sıcak hava kurutma yöntemleriyle kurutulup öğütülen pancar tozları %0 (kontrol), %4, %8 ve %12 oranlarında ekşi mayalı hamura katıldı. Örneklerin pH, kuru madde ve kül miktarları tespit edildi. Antioksidan aktivitesi; Cu^{2+} - Cu^{+} indirgeme kapasitesi, Fe^{3+} - Fe^{2+} indirgeme kapasitesi, 1,1-difenil-2-pikril-hidrazil radikal (DPPH $\cdot$) giderme aktivitesi, 2,2'-azino-bis(3-etilbenztiyoazolin-6-sülfonik asit) radikal (ABTS $^{+}$) giderme aktivitesi, total fenolik bileşik miktarı, total flavonoid bileşik miktarı ve toplam betalain miktarı tayini yöntemleri ile belirlendi. Standart antioksidanlardan BHA, BHT, α -tokoferol ve troloks ile karşılaştırma yapıldı. Renk değişimleri için Hunter L*, a*, b* değerleri ölçülerek Hue, Chroma ve Browning İndeks parametreleri hesaplandı.

ABTS inhibisyonu %12 pancar tozu ilave edilen örneklerde en yüksek düzeydedir. Total flavonoid miktarı, mikrodalga kurutma yöntemiyle elde edilmiş pancar tozlu ekmeklerde $24.74 \mu\text{g KE mg}^{-1}$ değeri ile diğer kurutma yöntemlerinden daha yüksek olduğu görüldü. En yüksek betalain miktarı 75.41 mg kg^{-1} mikrodalga ile kurutulmuş örneklerde görüldü. En yüksek a* , b*, kroma ve browning indeks değerleri mikrodalga tekniğiyle kurutulan pancar tozu ilave edilmiş ekmeklerde görüldü. Ekmeklere pancar tozu ilave edilmesi, ABTS radikali giderme aktivitesini ve total flavonoid miktarını yükselttiği görüldü.

Anahtar Kelimeler: ABTS, Betalain, DPPH, Ekşi hamur, Fonksiyonel gıda

SUMMARY

In this study, it is aimed to prepare a functional product by using red beet (*Beta vulgaris* L.) in sourdough bread, which is understood to be important for human health and its consumption has become widespread.

Within the scope of the research, beet powders dried and ground by microwave, drying cabinet and hot air drying methods were added to the sourdough dough at the rates of %0, 4%, 8% and 12%. The pH values, dry matter and ash amounts of the samples were determined. The antioxidant activity was determined by the methods of Cu^{2+} - Cu^{+} reducing capacity, Fe^{3+} - Fe^{2+} reducing capacity, 1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazil free radical (DPPH $\cdot$) scavenging activity, 2,2'-azino-bis(3 ethylbenzthioazoline-6- sulphonic acid) radical (ABTS $^{++}$) scavenging activity, total phenolic compound amount, total flavonoid compound and total betalain amount determination. BHA, BHT, α -tocopherol and trolox were used as reference antioxidants and compared. To determine the color changes, Hunter L*, a*, b* values were measured and Hue, Chroma and Browning Index parameters were calculated.

ABTS inhibition was highest in samples with 12% beet powder added. Total flavonoid content was found to be 24.74 $\mu\text{g KE/mg}$ in beet powder samples obtained by microwave drying method. The highest betalain content was determined in the microwave dried samples at 75.41 mg/kg. The highest a* , b*, chroma and browning index values were observed in breads with added beet powder dried by microwave technique. It was observed that the addition of beet powder increased the ABTS radical scavenging activity and the total flavonoid content.

Keywords: ABTS, Betalain, DPPH, Sourdough, Functional food

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET.....	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLolar DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1. GİRİŞ	1
1.1. Kırmızı Pancar	1
1.2. Antioksidanlar	3
1.3. Fenolik Bileşikler	5
1.4. Betalain	6
1.5. Renk	13
1.6. Kurutma	14
1.6. Ekşi Hamur Tekniği ile Ekmek Üretimi	15
1.7. Çalışmanın Amacı.....	17
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	19
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	21
3.1. Ekşi Hamur Üretimi	22
3.2. Örneklerin Analize Hazırlanması.....	25
3.3. Kullanılan Kimyasal Maddeler ve Cihazlar	25
3.4. Analiz Metodları	25
3.4.1. Peroksidaz Aktivitesi Testi (Haşlama Yeterliliğinin Saptanması).....	25
3.4.2. Kül Tayini	26
3.4.3. Kuru Madde Tayini.....	26
3.4.4. pH Tayini	26
3.4.5. Fe ³⁺ -Fe ²⁺ İndirgeme Kapasitesi Yöntemi.....	26
3.4.6. Cu ²⁺ -Cu ⁺ İndirgeme Kapasitesi Yöntemi (CUPRAC Metodu)	27
3.4.7. ABTS Radikal Giderme Aktivite Yöntemi	27
3.4.8. DPPH Serbest Radikal Giderme Aktivite Yöntemi	28

3.4.9. Total Flavonoid Miktarı Yöntemi	28
3.4.10. Total Fenolik Bileşik Yöntemi	29
3.4.11. Betalainler ve Toplam Betalain Miktarı Yöntemi.....	29
3.4.12. Renk Analizi.....	30
3.4.13. İstatistiksel Analiz.....	30
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	31
4.1. Kuru Madde, Kül Miktarları ve pH Değerine Ait Bulgular.....	31
4.2. Fe^{3+} - Fe^{2+} İndirgeme Kapasitesi Sonuçları	35
4.3. Cu^{+2} - Cu^{+} İndirgeme Kapasitesi Sonuçları	36
4.4. ABTS Radikal Giderme Aktivite Yöntemine Ait Bulgular	38
4.5. DPPH Serbest Radikal Giderme Aktivitesine Ait Bulgular.....	40
4.6. Total Flavonoid Miktarına Ait Bulgular	42
4.7. Total Fenolik Bileşik Miktarına Ait Bulgular	43
4.8. Betalainler ve Toplam Betalain Miktarlarına Ait Bulgular.....	45
4.9. Renk Analizine Ait Bulgular.....	48
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	55
KAYNAKÇA.....	57
ÖZGEÇMİŞ	67

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Kırmızı pancarın besinsel bileşimi ve enerji değeri.....	3
Tablo 2. Betalainlerin stabilitesini etkileyen faktörler	8
Tablo 3. Hazırlanan ekşi hamur ekmeklerinin reçeteleri	23
Tablo 4. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin kuru madde, kül miktarları ve pH değeri.....	31
Tablo 5. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin kuru madde, kül miktarları ve pH değerlerinin pancar tozu oranına göre Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları	32
Tablo 6. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin kuru madde, kül miktarları ve pH değerlerinin pancar tozu kurutma yöntemlerine göre Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları	33
Tablo 7. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin Fe^{3+} - Fe^{2+} İndirgeme ve Cu^{+2} - Cu^{+} İndirgeme kapasitelerinin pancar tozu oranına göre Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları	36
Tablo 8. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin Fe^{3+} - Fe^{2+} İndirgeme ve Cu^{+2} - Cu^{+} İndirgeme kapasitelerinin kurutma yöntemlerine göre Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları	36
Tablo 9. $20 \mu g mL^{-1}$ konsantrasyonlarında standart antioksidanlar ve ekşi mayalı ekmek örneklerinin Fe^{3+} - Fe^{2+} İndirgeme ve Cu^{+2} - Cu^{+} İndirgeme kapasitelerinin karşılaştırılması	38
Tablo 10. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin DPPH ve ABTS radikali giderme aktivitelerinin pancar tozu oranına göre Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları	40
Tablo 11. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin DPPH ve ABTS radikali giderme aktivitelerinin kurutma yöntemlerine göre Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları	40
Tablo 12. Standart antioksidanlar ve ekşi mayalı ekmek örneklerinin DPPH ve ABTS radikali giderme aktivitelerinin karşılaştırılması.....	41
Tablo 13. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin Total Flavonoid ve Total Fenolik miktarlarının pancar tozu oranına göre Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları	43

Tablo 14. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin Total Flavonoid ve Total Fenolik miktarlarının pancar tozuna göre Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları..	43
Tablo 15. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin ($750 \mu\text{g mL}^{-1}$) Total Fenolik ve Total Flavonoid miktarlarının karşılaştırılması	45
Tablo 16. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin betalain, betaksantin ve toplam betalain miktarlarının karşılaştırılması.....	45
Tablo 17. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin betasiyanin, betaksantin ve toplam betalain miktarlarının pancar tozu oranına göre Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları	47
Tablo 18. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin betasiyanin, betaksantin ve toplam betalain miktarlarının kurutma yöntemlerine göre Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları	47
Tablo 19. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin L^* , a^* , b^* , hue, kroma ve browning indeks değerleri.....	48
Tablo 20. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin L^* , a^* , b^* , hue, kroma ve browning indeks değerlerinin pancar tozu oranına göre Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları	49
Tablo 21. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin L^* , a^* , b^* , hue, kroma ve browning indeks değerlerinin kurutma yöntemlerine göre Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları	50

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Kırmızı pancarın biyoaktif bileşikleri.....	2
Şekil 2. Betalainlerin kimyasal yapıları (a betalamik asit b betasiyanin c betaksantin).12	
Şekil 3. Kırmızı pancar tozu üretimi akış şeması.....	22
Şekil 4. Kırmızı pancar tozlu ekşi mayalı ekmeğin üretim akış şeması.....	24
Şekil 5 .Hue açısı değerlerinin renk şeması.	30
Şekil 6. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin kuru madde miktarlarının karşılaştırılması... 32	
Şekil 7. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin kül miktarlarının karşılaştırılması.....	34
Şekil 8. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin pH değerlerinin karşılaştırılması.....	35
Şekil 9. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin Fe^{3+} - Fe^{2+} indirgeme kapasitelerinin karşılaştırılması	35
Şekil 10. Standart antioksidanların ve ekşi mayalı ekmek örneklerinin Cu^{+2} - Cu^{+} indirgeme kapasitelerinin karşılaştırılması	37
Şekil 11. Standart antioksidanlar ve ekşi mayalı ekmek örneklerinin ABTS radikali giderme aktivitesinin karşılaştırılması	39
Şekil 12. Standart antioksidanlar ve ekşi mayalı ekmek örneklerinin DPPH radikali giderme aktivitesinin karşılaştırılması	41
Şekil 13. Total flavonoid miktarı için hazırlanan standart grafik	42
Şekil 14. Total fenolik miktarı için hazırlanan standart grafik	44
Şekil 15. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin betalain miktarlarının karşılaştırılması	46
Şekil 16. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin L^* değerlerinin karşılaştırılması	49
Şekil 17. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin a^* değerlerinin karşılaştırılması.....	50
Şekil 18. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin b^* değerlerinin karşılaştırılması	51
Şekil 19. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin Hue açısı değerlerinin karşılaştırılması	52
Şekil 20. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin Kroma değerlerinin karşılaştırılması	53
Şekil 21. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin Browning Index değerlerinin karşılaştırılması	54

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

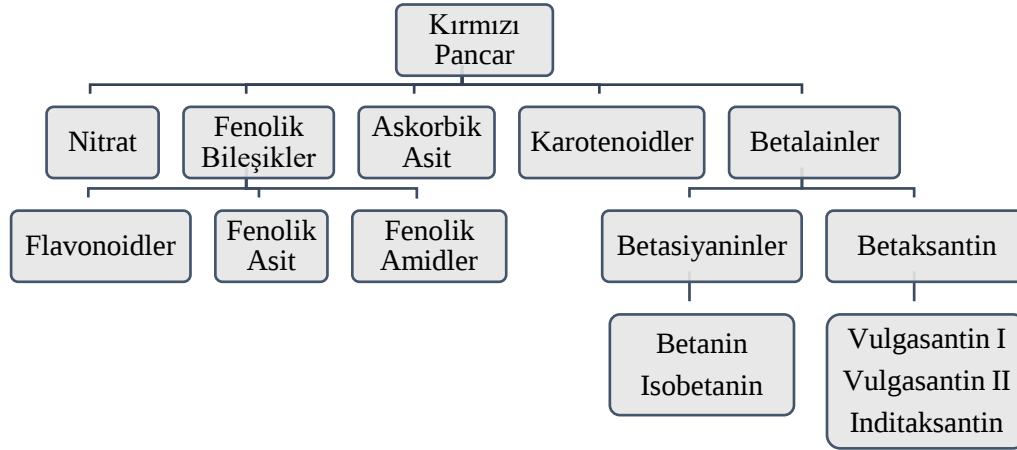
°C	: Santigrat
α^*	: Hunter a^*
abs	: Absorbans
ABTS	: 2,2-azinobis(3-etilbenzothiazolin-6-sulfonikasit)
BI	: Browning İndeks
b^*	: Hunter b^*
BHA	: Bütillenmiş Hidroksianisol
BHT	: Bütillenmiş Hidroksitoluen
DPPH	: 2-2-difenil-1-pikrilhidrazil
g	: Gram
GAE	: Gallik asit eşdeğeri
IC ₅₀	: %50'sini inhibe eden madde konsantrasyonu
kg	: Kilogram
KE	: Kuersetin eş değeri
KM	: Kuru madde
KP	: Kırmızı pancar
KPT	: Kırmızı pancar tozu
KY	: Kurutma yöntemi
L*	: Hunter L*
LAB	: Laktik asit bakterileri
mg	: Miligram
mL	: Mililitre
µg	: Mikrogram
ppm	: Milyonda kısım
ppb	: Milyarda kısım
ROS	: Reaktif oksijen türleri
TFM	: Toplam fenolik madde

1. GİRİŞ

1.1. Kırmızı Pancar

Kazayağıgiller familyasından kırmızı pancar (*Beta vulgaris* L.) yaygın olarak yetiştirilen bir sebzedir (Bangar vd. 2022). Taze, pişirilerek, salatalarda, tatlılarda, turşu ve meyve sularında kullanıldığı gibi dondurulmuş veya kurutulmuş ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca doğal kırmızı gıda pigmentleri içeren, biyoaktif bileşikler açısından son derece zengin bir sebzedir (Ramirez-Melo vd. 2022). Kırmızı pancar betasiyaninler ve betaksantinlerden oluşan, betalainler adı verilen sağlık üzerinde olumlu etkileri bulunan, suda çözünür, azotlu pigmentlerin potansiyel bir kaynağıdır (Pavlov vd. 2002).

Kırmızı pancar antioksidan özelliği en yüksek olan ilk on sebze arasındadır. Kansere ve kardiyovasküler hastalıkları önlemek için tüketilmesi önerilir. Güçlü anti-enflamatuar ve antibakteriyel etkiler gibi olumlu fizyolojik faydalara sahiptir. Kan basıncını düşürme ve düşük yoğunluklu lipoprotein (LDL) seviyelerini düşürme gibi önemli özellikleri vardır. Karaciğer yağlanması azalması, karaciğer hasarının iyileşmesinde önemli rol oynar (Bangar vd. 2022). Ek olarak pancar sağlığı geliştiren bileşiklerin önemli bir kaynağıdır. Doğuştan gelen sakatlıklara karşı koruyan folat, anemiyi önlemeye ve tedavi etmeye yardımcı olan demir ve kolon sağlığının iyileştirilmesinde çok önemli bir rol oynayan diyet liflerini içerir (Lazar vd. 2022). Besin değeri yüksek olmasına rağmen pancarın tüketimi diğer kök bitkileri kadar fazla değildir. İçinde bulunan "pirazin" ve "geosmin" adı verilen bileşikler nedeniyle topraksı tada sahip olan pancar spesifik duyu özelliklerinden dolayı tüketici tarafından pek kabul görmeyen bir sebzedir (Duqueyrox vd. 2022; Kaur vd. 2022).



Şekil 1. Kırmızı pancarın biyoaktif bileşikleri (Clifford vd. 2015).

Kırmızı pancarın çeşitli yerlerinde sentezlenen hammaddelerdeki biyoaktif bileşiklerin insan sağlığı üzerinde olumlu etkileri olması nedeniyle gıda endüstrisinde değerlendirilmesinin önemi artmıştır (Takács-Hájos vd. 2022). Pancarın fitokimyasal çeşitliliği onu fonksiyonel gıdalar oluşturmak için kullanılabilecek potansiyel bir kaynak yapar. Farmakolojik olarak pancar, antioksidan, antimikrobiyal, antikanseröz, hipokolesterolemik ve antiinflamatuvar ajan olma potansiyeline sahiptir (Bangar vd. 2022; Takács-Hájos vd. 2022). Proteinler, sükroz, karbonhidratlar, vitaminler (B kompleksi ve C vitamini), mineraller, lif dahil olmak üzere mükemmel bir besin bileşiğidir. Önemli miktarda fenolik bileşikler ve kumarinler, karotenoidler, seskiterpenoidler, triterpenler, flavonoidler (astragalin, tiliroside, rhamnositrin, kaempferol, rhamnetin) gibi bileşenleri içeren zengin bir besin kaynağıdır (Bangar vd. 2022; Takács-Hájos vd. 2022). Ayrıca kırmızı pancar, demir, çinko, fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum, mangan ve bakır gibi insan sağlığına faydalı önemli mineraller içerir. Kırmızı pancarın besinsel bileşimi ve enerji değeri Tablo 1’de verilmiştir (Vaitkevičienė vd. 2022). Kırmızı pancarın kimyasal bileşimi ve besin değeri bitkinin genotipine, büyüme koşullarına ve bitkinin anatomik kısmına (gövde, yaprak, kök, et, kabuk) bağlı olarak farklılık gösterir (Sawicki vd. 2016). Kırmızı pancara rengini veren betalain pigmenti E-162 kodu ile Avrupa Birliği tarafından yasal bir gıda katkı maddesi olarak onaylanmıştır (Ravichandran vd. 2013). Bu renklendiricinin kullanımı için sınırlama yoktur, ancak ABD ve Avrupa’daki İyi Üretim Uygulamalarına uyulmalıdır (Ravichandran vd. 2013; Duqueyroi vd. 2022).

Renklendirici kaynağı olarak yararlanılan kırmızı pancarın ana pigmenti olan betalain gıda, ilaç ve kozmetik endüstrilerinde toz şeklinde doğal bir gıda boyası olarak kullanılmaktadır (Pedreno ve Escribano, 2001). Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) istatistiklerine göre 2018 yılı dünya pancar üretimi 274 milyon ton civarındadır (El-Beltagi vd. 2002). Gıda endüstrisi kırmızı pancarların farmakolojik etkilerinin yanı sıra, antioksidan kapasitelerini de korumak için kurutma ve dondurma dahil olmak üzere çeşitli yöntemler kullanmaktadır (Thiruvengadam vd. 2022).

Tablo 1. Kırmızı pancarın besinsel bileşimi ve enerji değeri (Deshmukh vd. 2010).

Bileşenler	%	Bileşenler	%
Su	87.5	Fosfor	40 mg
Enerji	43 kcal	Kalsiyum	16 mg
Yağ	0.17	Magnezyum	23 mg
Protein	1.61	Demir	0.80 mg
Karbonhidrat	9.56	Çinko	0.35 mg
Lif	2.8	C Vitamini	4.9 mg
Potasyum	325 mg	B2 Vitamini	0.04 mg
Sodyum	78 mg	B6 Vitamini	0.067 mg
A Vitamini	36 IU	Folik asit	109 mcg
E Vitamini	0.30 mg	Niasin	0.334 mg

Pancar iki yıllık bir bitki olup, döngünün üreme aşaması için yoğun bir soğuk dönemi gereklidir (Ravichandran vd. 2013). Pancar çimlenmesi için gerekli minimum toprak sıcaklığı 5 °C, optimum sıcaklık aralığı 10 ila 30 °C, optimum sıcaklık 30 °C ve maksimum sıcaklık 35 °C'dir. Pancarların çiçek açması için 4 ila 10 °C ve 2 haftalık bir soğuğa ihtiyacı vardır. Donları ve hafif donları tolere edebilirler. Pancar, toprakta 1 m veya daha fazla aşağıya doğru uzanan oldukça geniş bir kök sistemi bulundurur. Aynı zamanda, toprak yüzeyinde gelişen, tatlı, küresel şekilli, yumrulu, morumsu kırmızı bir parçaya sahiptir (Sediyama vd. 2011; Mudgal, 2022).

1.2. Antioksidanlar

Antioksidanlar, gıdada veya vücutta çok düşük konsantrasyonlarda bulunduklarında, gıda kalitesinin bozulmasına veya dejeneratif hastalıkların başlamasına ve yayılmasına yol açan oksidatif süreçleri geciktiren, kontrol eden ve önleyen maddelerdir (Gülçin vd. 2011a; Shahidi ve Zhong, 2015). Bitkilerde, hayvanlarda ve mikroorganizmalarda doğal olarak bulunabilir veya kimyasal yollarla sentezlenebilirler. Yüksek rakım bitkilerde, baharatlarda, meyvelerde, sebzelerde, tahıllarda, tohumlarda, çaylarda ve yağlarda bulunan tokoferoller ve polifenoller zengin bir doğal antioksidan kaynağıdır (Amarowicz vd. 1999; 2000). Antioksidanlar oksidasyon süreçlerini

engelledikleri için gıdaların muhafazasında önemli rol oynamaktadırlar. Gıda takviyeleri, nutrosotikler ve fonksiyonel gıdalarda yer alarak insan sağlığına olumlu katkılarından dolayı kullanımı yaygınlaşmaktadır (Shahidi ve Zhong, 2015).

Antioksidanlar serbest radikalleri pasifleştirerek biyolojik yapılardaki oksidatif hasarı önlerler. Gıdalarda bozulmayı engellemek için gıda katkı maddesi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadırlar. Lipidlere ve lipid içeren gıdalara eklendiklerinde lipid peroksidasyon sürecini geciktirerek raf ömürlerini arttırmaktadır. Ayrıca reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşumu ve lipid peroksidasyonu ile yakından ilişkili olarak, yaşam tarzıyla ilgili birçok hastalığın ve yaşlanmanın önlenmesinde önemli bir rol oynamaktadırlar (Gülçin vd. 2011b). Antioksidan moleküller ise canlı organizmayı serbest radikallere ve türlerine karşı savunur. Serbest radikal, bir dış kabukta tek bir eşlenmemiş elektrona sahip olan herhangi bir atom veya moleküldür. Serbest radikaller oldukça kararsız moleküllerdir (Gülçin vd. 2011a). Serbest radikal kaynaklı oksidatif stres, protein ve DNA'ya oksidasyon hasarı, membran lipid oksidasyonu, enzim inaktivasyonu ve karsinogeneze yol açabilen gen mutasyonu dahil olmak üzere birçok toksik hücresel süreçle ilişkilendirilmiştir (Gülçin vd. 2011b). Hücrede pro-oksidan-antioksidan dengesi mevcuttur. Ancak antioksidanların düzeyi düştüğünde veya oksijen radikallerinin miktarı arttığında denge pro-oksidanlara doğru kayar ve oksidatif stres meydana gelir (Antolovich vd. 2002; Topal vd. 2021). Hücrelerin yapısal bütünlüğünü korumak ve görevlerini yerine getirebilmesi için sistemler arasındaki bu dengenin bozulmaması gerekmektedir (Gülçin vd. 2011b). ROS, normal fizyolojik olaylar sırasında sürekli olarak oluşmaktadır. Hücre metabolizması sırasında ROS üretimi, önemli fizyolojik fonksiyonları sağlayan normal ve gerekli bir süreçtir (Gülçin vd. 2010a; 2011a) ROS üretimi ve antioksidan savunmalar arasındaki dengesizlik, yaşa bağlı ve kronik hastalıklara, nörodejeneratif ve kardiyovasküler hastalıklara neden olduğu kabul edilen oksidatif strese neden olur. Oksidatif stres lipid peroksidasyonuna yol açarak membran lipidlerinin peroksidasyonunu kolaylıkla başlatabilir (Topal vd. 2021). ROS, endojen antioksidan savunmalar yetersiz kaldığında oluşur. ROS ve antioksidan mekanizmaları arasındaki dengenin bozulması, hücre zarında veya hücre içinde oksidatif modifikasyona yol açar (Gülçin vd. 2010b). Endojen savunmalar arasında süperoksit dismutaz, katalaz ve glutatyon peroksidaz gibi enzimlerin yanı sıra E vitamini, ürik asit ve serum albuminleri bulunur. Bu savunmaların yanı sıra serbest radikal kaynaklı oksidatif stresi önlemek için yeterli miktarda antioksidan alımı gereklidir. Günlük beslenmede antioksidan ihtiyacının önemli bir kısmı meyve ve sebzeler ile karşılanmaktadır (Antolovich vd. 2002; Gülçin vd. 2011a). Meyve ve sebzelerin

antioksidan kapasitesinin çoğunun toplam fenolikler, antosiyaninler ve flavonoidlerden geldiği bilinmektedir (Gülçin vd. 2011a). Sebzeler, flavonoidler ve diğer pigmentler dahil olmak üzere sekonder metabolitler açısından zengindir. Fenolik asitler β -karoten, tokoferoller, flavonoller, askorbat ve polifenoller gibi fitokimyasalların çoğu, antioksidan özellikler de dahil olmak üzere biyolojik aktiviteleri ile tanımlanırlar (Topal vd. 2016).

Antioksidanlar substratından daha düşük konsantrasyonlarda olduğunda bile oksidasyonu önemli ölçüde önler ve geciktirirler. Antioksidanlar çoğunlukla oksidasyon sürecinde radikal zincir tepkimelerini önlemek için besin maddelerine eklenirler ve reaksiyona neden olan adımları engelleyerek oksidasyonu geciktirirler. Bu önemli sebeplerden dolayı doğal ürünlerin yapay antioksidanlara göre daha sağlıklı ve güvenli olduğu görülmektedir (Gülçin vd. 2010b; Topal vd. 2021). Günümüzde kullanımı yaygınlaşan antioksidanlar bütillenmiş hidroksianisol (BHA), bütillenmiş hidroksitoluen (BHT), propilgallat ve tert-bütill hidrokinondur (Gülçin vd. 2010). BHA ve BHT düşük maliyetleri, yumuşak tatları sayesinde gıda muhafazasında en yaygın kullanılan güçlü antioksidanlardır. Ancak tüketicilerin “temiz etiket” yani tamamen doğal içeriklere olan talebi ve son zamanlarda toksisite, karaciğer hasarı, olası kanserojen etkileri nedeniyle güvenilirlikleri sorgulanmaktadır. Sentetik antioksidanlar hakkında güvenlik endişeleri ortaya çıktıktan sonra, bunların kullanımı Gıda ve İlaç İdaresi (FDA) tarafından sınırlandırılmış. Bu düzenlemeler doğal kaynaklardan elde edilen antioksidanlara yönelmeye sebep olmuştur (Gülçin vd. 2010b).

1.3. Fenolik Bileşikler

Fenolik bileşikler, basit fenolik moleküllerden yüksek kompleks polimer moleküllere kadar değişen farklı formlara sahip, aromatik amino asit fenilalanin türevleridir. Çoğunlukla konakçılarına pigment veren bitki dokularında lokalize olurlar. UV radyasyonu ve enfeksiyonlara karşı bitki direncini korurlar. Aromatik sekonder metabolitler olarak fenolik bileşikler aşağıdaki özelliklerle bilinirler; antioksidan, antikanserojenik, antimikrobiyal, antialerjik, antimutajenik, antitrombotik ve antiinflamatuvar aktiviteler. Biyolojik özellikleri yapılarına, çözünürlüklerine ve moleküler boyutlarına göre değişir. Yine fenolik bileşiklerin spesifik yapısı, işleme ve depolama sırasındaki stabilitelerini etkileyebilir (Zin vd. 2022).

Günümüze kadar 8000’den fazla fenolik madde tanımlanmıştır. Bunların çoğunluğu flavonoidlerdir. Fenolik bileşikler bitkilerin yaprak, çiçek ve meyvelerinde glikozit, odunsu kısımlarında aglikon yapısında bulunmaktadır. Fenolik maddeler çoğu

meyve ve sebzede az veya çok miktarda bulunur. Düşük konsantrasyonlarda gıdaları oksidatif bozulmalardan korurlar. Fenolik maddelerin meyve ve sebzelerde tadın oluşmasında, acı ve buruk tatların ortaya çıkmasında rol oynarlar. Bir kısmı ise bitkilerde sarı, kırmızı mavi gibi renklerden sorumludur. Fenolik maddelere, sağlık üzerindeki olumlu etkileri nedeniyle aynı zamanda biyoflavonoid denmektedir. Ayrıca fenolik bileşikler bazı gıdalarda kalite kontrol kriteri olmaları ve enzim inhibisyonuna sebep olmaları nedeniyle önem taşımaktadırlar (Mammadov, 2014).

Fenolik bileşikler bitkilerin ikincil metabolitleridir ve bitkinin büyümesine, pigmentasyonuna ve üremesine katkıda bulunmanın yanı sıra, bitkisel gıda ürünlerinin duyu niteliklerini (lezzet, tat ve renk) ve fonksiyonel özelliklerini etkiler (Vaitkevičienė vd. 2022). Fenolik bileşikler gibi doğal gıda katkı maddeleri gıda kalitesini ve stabilitesini etkileyebilir (Takács-Hájos vd. 2022).

Flavonoidler, genellikle bitki hücresinin vakuollerinde suda çözünür glikozitler olarak yapraklarda bulunan fenolik bileşiklerin ve ikincil bitki metabolitlerinin ana sınıfıdır. Bitkilerde yaygın olarak bulunurlar ve birçok işlevi yerine getirirler. Flavonoidler sadece bitkilerde yapı maddesi olarak bulunmazlar, aynı zamanda mikrobiyal saldırılara yanıt olarak bitki dokularında toplanırlar. Çiçek renklendirme, sarı üretme veya tozlayıcı hayvanları çekmek için tasarlanmış yapraklarda pigmentasyon gibi farklı işlevler için en önemli bitki pigmentleridir (Bimpilas vd. 2015).

1.4. Betalain

Betalainler, klorofiller, antosiyaninler (diğer flavonoidler) ve karotenoidler ile birlikte bitki organlarına çarpıcı renkler sağlayan başlıca pigment sınıflarından birini oluşturan azotlu, suda çözünür, kırmızı-mor ve sarı pigmentlerdir (Tanaka vd. 2008). Betasiyaninler ve betaksantinler olarak iki alt grubu vardır (Lazar vd. 2022). Betaksantinler, canlı organizmalarda sarı-turuncu pigmentlerdir ve betasiyaninler kırmızı-mor renkten sorumludur. 200'den fazla doğal betasiyanin ve betaksantin örneği, çoğunlukla bitkilerde bulunan vakuollerin hücre özünde tanımlanmıştır. Betalain kompozisyonu sebzelerde birbirinden oldukça farklıdır. Nitekim kırmızı pancarda betasiyaninler fazla iken frenk incirinde betaksantinler daha fazladır. Yenebilir bitkilerde en fazla betalain içeren sebze kırmızı pancardır (Bastos ve Schliemann, 2022). Kırmızı pancarın betalain kompozisyonun ana bileşenini betanin oluşturmaktadır. Kırmızı ve sarı pancar, dikenli armut ve pitayadaki betalainlerin antioksidan özellikleri bu sebzelerin gıda olarak kullanımları nedeniyle çalışmalara konu olmaktadır (Sawicki vd. 2016).

Betalainler, *Caryophyllales* familyalarının çoğu bitkilerinin çiçeklerinde ve meyvelerinde bulunan antosiyaninlerin yerini alır. Bulunduğu bitkilerin çiçeklerinde, meyvelerinde ve bazen bitkisel dokularında birikir. Betalainler ayrıca bazı mantarlarda tespit edilmiştir. Örneğin sinek mantarında (*Amanita muscaria*) tespit edilmiştir. Betalainlerin bitki çiçek ve meyvelerde renk ve koruyucu işlevleri anlaşılabilirken, mantarlardaki rolleri bilinmemektedir (Strack vd. 2003).

Her yerde bulunan antosiyanin ve karotenoid pigment sınıflarının aksine, betalainler doğada oldukça nadirdir ve tek bir bitki takımı olan *Caryophyllales* ile sınırlıdır. Betasiyaninler ve antosiyaninler arasındaki ayrım, yalnızca betanin kristalleştirildiğinde ve Wyler ve Dreidin tarafından tam olarak karakterize edildiğinde mümkün olmuştur. Pancardan elde edilen betasiyaninlere, Wyler ve Dreiding'in betaksantinler (Eski Yunancadan, xanthós: sarı) olarak sınıflandırdığı sarı betalainler adını verdiler (Bastos ve Schliemann, 2022). Betalainler ve antosiyaninler *in vivo* benzer işlevleri paylaşırlar da, farklı biyosentetik kökenlere sahiptirler, çarpıcı yapısal ve fizikokimyasal farklılıklar gösterirler ve asla aynı organizmada birlikte bulunmazlar (Polturak ve Aharoni, 2018; Bastos ve Schliemann, 2022). Her iki pigment türünü de üreten hiçbir bitki bulunmamıştır. Betalainlerin ve antosiyaninlerin bitkilerde birbirini dışlamasının ardındaki moleküler temel henüz tam olarak anlaşılamamıştır (Polturak ve Aharoni, 2018).

Betalainler ile ilgili ilk çalışma, 19. yy'nin başlarında rengini iyileştirmek için kırmızı şaraba katılarak literatüre geçmiştir (Petit-Paly vd. 1994). Yine 1918'de pancardan elde edilen kırmızı-macenta pigmentlerinin nitrojen içerdiği bulunmuş ve Willstätter ve Schudel tarafından betasiyaninler olarak adlandırılmıştır. Betasiyanin kelimesinin kökeni pancar için Latince 'beta' ve mavi için Yunanca kyanós olmasına rağmen, son ek, keşfedildikleri ilk günlerde betasiyaninler ve antosiyaninler arasındaki bağlantıdan kaynaklanıyor gibi görünmektedir.

Bugüne kadar, 17 bitki familyasından yaklaşık 75 betalainin yapısı açık bir şekilde tanımlanmıştır (Khan ve Gridhar, 2015). Doğadaki betalainlerin yaklaşık 50 tanesi kırmızı pigment betasiyanin, 20 tanesi sarı pigment betaksantin içerdiği belirlenmiştir (Cai vd. 2005). Nihayetinde, betasiyaninlerin ve betaksantinlerin nispi oranlarındaki değişkenlik, bitkilerdeki muazzam renk yelpazesinin kaynağıdır (Bastos ve Schliemann, 2022).

Betalainlerin gıda ve ilaç endüstrisinde kullanımları açısından başlıca dezavantajları vardır (Sutor-Świeży vd. 2022). Yüksek sıcaklıktan, 3'ten düşük veya 7'den yüksek pH değerinden, ışık, oksijen, metal iyonları ve yüksek su aktivitesinin

varlığından etkilenir. Enzimatik aktivitelere maruz kalmaya duyarlıdır (Ravichandran vd. 2013; Juric vd. 2020). Bununla birlikte sıcaklık ve optimum pH betalain ayrışması için en belirleyici faktördür. Bu nedenle betalainlerin yukarıda belirtilen faktörlere duyarlılığı, gıda boyası olarak kullanımlarını kısıtlamaktadır (Stintzing ve Carla, 2006; Ravichandran vd. 2013). Ayrıca, betalainlerin stabilitesi, kimyasal yapılarından güçlü bir şekilde etkilenir. Betalain kaynaklarının kırmızı renginin yoğunluğu ve doygunluğu, betasiyaninler ve betaksantinlerin oranına bağlıdır. Yapısal grupları nedeniyle, betasiyaninler yüksek sıcaklıkta ve asidik pH'ta daha iyi stabilite gösterirler ve betaksantinlere göre oksidasyona daha az eğilimlidirler. Ancak betaksantinler pH 7'de ve hidrolitik enzimlere karşı daha yüksek stabilite gösterirler (Bangar vd. 2022). Betasiyaninlerin betaksantinlere göre daha yüksek stabilitesi, bazılarının yüksek oksidasyon-redüksiyon potansiyeline sahip glikosile edilmiş bir yapıya sahip olmasından kaynaklanmaktadır (Castro-Enríquez vd. 2020). Betasiyaninler, hem oda sıcaklığında hem de ısıtıldığında betaksantinlerden daha fazla stabilite gösterir (Sutor-Świeży vd. 2022).

Tablo 2. Betalainlerin stabilitesini etkileyen faktörler (Herbach vd. 2006).

Betalainlerin stabilitesini etkileyen faktörler	
Pozitif (+)	Negatif (-)
Yüksek pigment içeriği	Düşük pigment konsantrasyonu
Düşük su aktivitesi	Yüksek su aktivitesi
pH 3-7	Enzimler (peroksidaz, polifenol oksidaz)
Antioksidan maddeler	Metal katyonları
Düşük sıcaklık	Yüksek sıcaklık
Karanlık	Işık
Azot	Oksijen
Yüksek derecede asilasyon	Hidrojen peroksit

pH 3.5'in altında, absorpsiyon maksimumu daha düşük dalga boylarına doğru kayar ve pH 7'nin üzerinde değişim üst dalga boylarına doğru olur; 3.5-7.0 pH aralığının dışında, görünür spektrumların yoğunluğu azalır. Maksimum betanin stabilitesi için optimum pH aralığı 5-6'dır. Betasiyanin bozunması için aktivasyon enerjisi pH ile azalsa da, bu, sıradan ısıl işlemlerden geçen çoğu gıdaya pigment uygulamasını bozmaz. Örnek olarak, pH 4'e asitleştirilmiş pitaya suyundaki betasiyanin kayıpları, 80°C'de 5 dakika

pastörizasyon sırasında %10'dan azdır. Bazı faktörler, pH üzerine betalain stabilitesini etkiler (Azeredo, 2009).

Betalainler, 3 ila 7 pH aralığında iyi stabilite gösterirler, ancak onlar için en uygun koşullar, pH'ı 4-6 aralığında olan ortamlardır ve anaerobik koşullarda stabiliteleri artar. Kidon ve Czapski, pancarın 90°C'de 3 dakikadan fazla ağartılması sırasında kırmızı pigment içeriğinde %25'lik bir azalma olduğunu bulmuşlardır; ancak, bu süreyi 10 dakikaya uzatmak daha fazla kayıpları önemli ölçüde etkilemez (Kidon ve Czapski, 2007).

Fenolik bileşiklerin yer aldığı her meyve ve sebze polifenoloksidaz (PFO) enzimi bulunur. İşlem görmemiş meyve ve sebze hücre içerisinde fenolik bileşenler vakuollerde, polifenoloksidaz enzimi de sitoplazmada bulunduğu için birbirlerine temas edemezler. Ancak kesme, doğrama işlemleri ile fenolik bileşenler ve PFO enzimi yaklaşır, bunun sonucunda esmerleşme reaksiyonlarını başlatırlar. Kırmızı pancarda ki betalainler oksidatif yolla parçalanmaktadır. O₂ bulunan ortamda oluşan siklodopa-5-O-glukozid bileşiği, enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarına katıldığında melanoidinlere dönüşmektedirler. Betalainlerin renginin azalmasına neden olan bir başka etken enzim aktiviteleridir. Özellikle kırmızı pancarda bulunan peroksidaz enziminin sebzenin dokusunda doğal olarak bulunan hidrojen peroksit içeriğine bağlı olarak betasiyanin ve betaksantinlerin rengini ağarttığı belirtilmiştir. Enzimlerin etkisiyle oluşan bu rengin ağarması asidik ortamda hız kazanabilmektedir (Cemeroğlu, 2004). Bu nedenle turşuya işlenecek, kavanozlanacak ve kurutulacak kırmızı pancarların betanin miktarının depolanma sırasında azalmaması için enzim aktivitesinin haşlama işlemi ile inaktif duruma getirilmesi gerekmektedir.

Ayrıca kırmızı pancar, b-glukosidazlar, polifenoloksidazlar ve peroksidazlar gibi birkaç endojen enzime sahiptir, bunlar ağartma ile uygun şekilde inaktive edilmezse betalain bozulmasına ve renk kayıplarına neden olabilir. Hem betasiyaninlerin hem de betaksantinlerin enzimatik bozunması için optimum pH, 3.4 civarında olduğu bildirilmiştir (Shih ve Wiley, 1982). Bozunma ürünleri termal, asit veya alkali bozunma ürünlerine benzerdir. Betasiyaninler, betaksantinlerden daha duyarlıdır (Azeredo, 2009).

Betasiyaninlerin termal bozunması, öncelikle siklo-DOPA türevlerine ve betalamik asit türevlerine parçalanmalarının sonucudur ve çoğu durumda geri dönüşümlüdür (Sutor-Świeży vd. 2022). Betalain stabilitesini iyileştiren faktörler arasında askorbik asit, sitrik asit gibi izoaskorbik asit şelatlayıcı maddeler ve EDTA yer alır (Herbach vd. 2006). Serbest suyu adsorbe ederek ve çözünmüş oksijeni uzaklaştırarak etki gösteren β -

siklodekstrin ve glikoz oksidaz da etkili olabilir. Fenolik antioksidanlar ve tokoferol herhangi bir dengeleyici etki göstermemiştir (Attoe ve Von Elve, 1982).

Kırmızı pancardaki betalain en kararlı kırmızı renk bileşiğidir ve gıda renklendiriceleri içinden ticari olarak kullanılan tek betalain kaynağıdır (Rodriguez, 2019). Gıdaların renginin bozulmasını önleyen veya gıdaların renginin iyileştirilmesinde gıda katkı maddeleri olarak kullanılırlar. Betalainlerin gıda boyası olarak kullanımı Avrupa Birliği tarafından onaylanmış ve betalainler E162 olarak adlandırılmıştır (Ravichandran vd. 2013). Çoğunlukla betalainden (E162) oluşan kırmızı pancar birçok süt ürününde, meyve sularında, şekerlemelerde ve sığır ürünlerinde (pişmiş, tütülenmiş, yarı kuru veya fermente edilmiş soslar) renklendirici olarak kullanılmaktadır (Georgiev vd. 2010). Betasiyaninler, antioksidan ve radikal süpürücü aktivitelere sahip bir bileşik sınıfıdır. İnsanlarda birçok dejeneratif hastalığın başlamasına katkıda bulunan oksidatif süreçleri önledikleri bilinmektedir. Ayrıca nöroprotektif etkiye sahip olduğu, oksidatif stresi azalttığı, bilişsel yetenekleri geliştirdiği ve DNA'yı hasardan koruduğu iddia edilmiştir (Ravichandran vd. 2013). Gıdada doğal olarak bulunan antioksidanlar besin takviyesi olarak alındıklarında sağlık etkilerini desteklediği gösterilmiştir (Kanner vd. 2001; Georgiev vd. 2010; Bastos ve Schliemann, 2022; Zin vd. 2022).

Günümüzde pancar özü ve bileşenleri, diyet takviyesi olarak kullanılmaktadır. *In vivo* ve *in vitro* çalışmalar, pancar ekstraktının antioksidan ve antiinflamatuvar özelliklerinin kronik enflamasyon, karaciğer hastalıkları, artrit ve hatta kanserle ilişkili hastalıklarda kullanımı için umut vaat ettiğini göstermiştir. Birçok bağımsız çalışma, betasiyaninlerin yüksek antioksidan aktivitesini doğrulamıştır ve bazı veriler, pancar suyundaki antioksidan aktivite ile betasiyanin içeriği arasında bir korelasyon olduğunu öne sürmektedir (Kanner vd. 2001). Ayrıca sıçanlarda yapılan klinik çalışmalarda 28 gün boyunca 1 kg vücut ağırlığı başına yaklaşık 8 mL pancar suyu tüketiminin lipid peroksidasyonunu ve protein oksidasyonunu azaltarak ksenobiyotik kaynaklı karaciğer DNA hasarını iyileştirdiği gösterilmiştir (Sutor-Świeży vd. 2022). Sağlığı teşvik edici özelliklerine ek olarak, sarı betaksantinler ve kırmızı-mor betasiyaninlerin çeşitli kombinasyonları, yapay renklendiriciler kullanılmadan yeni gıda ürünlerinin geliştirilmesine olanak sağlayabilir (Stintzing vd. 2005).

Betalainlerin, temel biyosentetik enzimlerinin hücre altı lokalizasyonuna dayalı olarak sitoplazmada ve endoplazmik retikulumda sentezlendiği düşünülmektedir. Diğer birçok bitki sekonder metabolitinde olduğu gibi, bunlar da sonunda vakuolde glikozitler olarak depolanır (Grotewold, 2006).

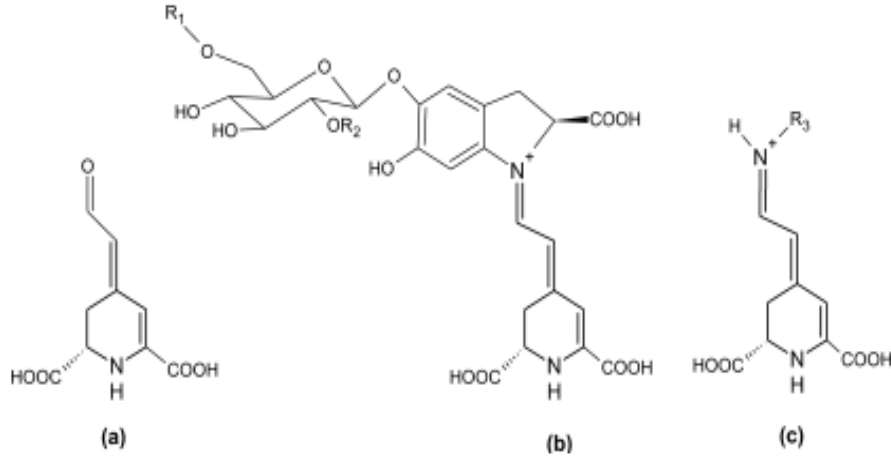
Betalainler, esas olarak bitkilerde aromatik bir amino asit olan tirozinden sentezlenir. Tirozin başlangıçta 3,4-dihidroksi-L-fenylanini (L-DOPA) oluşturmak için hidroksile edilir. L-DOPA ardından DOPA 4,5-dioksijenaz enzimi tarafından başlatılan iki aşamalı bir reaksiyonda tüm betalain bileşiklerinin çekirdek omurgası olan betalamik aside dönüştürülür (Christinet vd. 2004). Betalamik asidin çeşitli bileşiklerle yoğunlaştırılmasının ardından elde edilen yapısal farklılıklar, iki betalain alt grubunun farklı görünümünü belirler; betasiyaninler, yaklaşık 535-538 nm’de maksimum bir absorpsiyon sergilerken, betaksantinler, moleküler yapıya ve çözücünün türüne bağlı olarak tipik olarak 460-480 nm aralığında en yüksek absorpsiyonu gösterir (Khan ve Gridhar, 2015).

Yapısal farklılıklar, betalain alt gruplarının değişen görünümüne yansır. Betasiyaninler, bir siklo-3,4-dihidroksifenilalanin (siklo-DOPA) kalıntısı içerir. Siklo-DOPA’nın kapalı yapısı ile yoğunlaşma, elektronik rezonansı difenolik aromatik halkaya kadar uzatır. Bu ekstra konjugasyon emilim maksimumunu 480 nm’den (sarı, betaksantinler) yaklaşık 540 nm’ye (mor, betasiyaninler) kaydırır (Strack vd. 2003; Azeredo, 2009).

Betasiyaninler, biri siklo-DOPA nedeniyle UV aralığında (270-280 nm) ve ikincisi görünür aralıkta (solvente bağlı olarak 535-540 nm) olmak üzere iki absorpsiyon maksimumu gösterir. Kırmızı ve mor renkler, betasiyaninlerin farklı ikame modellerinden kaynaklanır. Betanidinin glikosilasyonu genellikle yaklaşık 6 nm’lik bir hipokromik kayma ile birlikte gelirken, birincisine bağlı ikinci bir şeker parçası görünüşe göre rengi büyük ölçüde etkilememiştir (Cai ve Corke, 1999).

Alternatif olarak, L-DOPA oksitlenir ve siklo-DOPA’ya siklize edilir, bu da betasiyanin öncüsü betanidin oluşturan betalamik asit ile kendiliğinden yoğunlaşır. Betanidin daha sonra 5’O veya 6’O pozisyonunda glukozile edilerek sırasıyla betanin veya gomfrenin oluşturulur, bu da ek glikosilasyon ve asilasyon reaksiyonlarından geçerek çok çeşitli betasiyanin bileşiklerinin sentezine yol açar (Strack vd. 2003).

Bu bileşiklerin yapısının temeli, DOPA’nın aromatik halkasının bölünmesinden elde edilen [4-(2-oksoetiliden)-1,2,3,4-tetrahidropiridin-2,6-dikarboksilik asit] betalamik asittir (Bangar vd. 2022).



Şekil 2. Betalainlerin kimyasal yapıları (a betalamik asit b betasiyanin c betaksantin) (Strack vd. 2003).

Ek olarak, betalainlerin çeşitli biyotik ve abiyotik stres işaretlerine karşı bitki savunmasına katıldığı düşünülmektedir. Ancak antosiyanin muadillerine kıyasla bu açıdan literatürde çalışmalar azdır. Betalainlerin abiyotik stresten korunmadaki rolü, Karanfilgillerde ortaya çıkmalarıyla örtüşür; Bu takımın en belirgin özelliklerinden biri kurak ve yarı kurak bölgelerde hakim olması, tuzlu ve alkali topraklarda yaşamasıdır. *Aizoaceae* (buz bitkisi ailesi), *Portulacaceae* (semizotu ailesi) ve en önemlisi *Cactaceae* (kaktüs ailesi) dahil olmak üzere birçok ailenin üyeleri özellikle kurak veya tuzlu bölgelerde yaşamaya uyarlanmıştır. Abiyotik strese karşı savunmada betalain aktivitesi, antosiyaninlerde olduğu gibi, güçlü antioksidan kapasiteleri aracılığıyla gerçekleşir (Jain ve Gould, 1999).

Pancardaki fenolik bileşiklerin önde gelen grubu, heterosiklik ve suda çözünür azotlu pigmentler olan betalainlerdir (Pavlov vd. 2002; Lazar vd. 2022). Betalainler, doğada göreceli olarak az bulunmaları nedeniyle, biyoaktif bileşikler olarak pek araştırılmamıştır, ancak yapılan çalışmalar onların antioksidan pigmentler olarak potansiyellerini göstermiştir (Azeredo, 2009).

Çoğu betalain ve betalamik asidin antioksidan performansı birçok flavonoid, askorbik asit ve tokoferolden daha üstündür. Bu nedenle yapay boyalara alternatif olarak kullanımları yaygınlaşmaktadır. Özellikle betasiyaninler, kısmen siklo-3-(3,4-dihidroksifenil)-L-alanin (siklo-L) öncülünden türetilen bir fenolik parçanın varlığından dolayı yeşil çaydan elde edilen epikateşin galat kadar güçlü antioksidanlardır (Bastos ve Schliemann, 2022).

Amaranthus betasiyaninleri ve ticari renklendiricileri, model gıda sistemlerinde renk özellikleri ve farklı sıcaklıklardaki stabiliteleri açısından karşılaştırdı.

Betasiyaninler, kırmızı turp antosiyanininden daha parlak kırmızı renk sergilemiştir. Her iki pigment de 14°C ve 25°C’de benzer renk kararlılığı göstermiştir. Ancak betasiyanin rengi, 37°C’de kırmızı turp antosiyanininden daha az kararlılık göstermiştir (Cai ve Corke, 1999).

1.5. Renk

Renk, gıdaların tüketici tarafından kabul edilmesini belirleyen kalite göstergesi ve gıdanın en önemli duyuşsal özelliklerinden biridir (Ravichandran vd. 2013). Aynı zamanda lezzet, besin değeri ve güvenlik ile de ilişkilidir. Bu nedenle, tüketicilerin kabulünü önemli ölçüde etkiler. Bir ürünün pazar başarısında hayati bir rol oynar (Azeredo, 2009; Juric vd. 2020).

Meyve ürünleri gibi birçok doğal renkli gıda işleme sırasında renk kayıplarına maruz kalır. Renklerini eski haline getirmek için renklendiricilerin kullanılması gerekir. Bitkiler doğal renklendirici kaynaklarıdır. Bununla birlikte doğal renklendiriciler birçok sentetik renklendirici ile karşılaştırıldığında daha yüksek kullanım maliyeti ve daha düşük kararlılık gibi dezavantajlara sahiptir (Azeredo, 2009; Ravichandran vd. 2013). Sentetik renklendiricilere karşı son zamanlarda tüketicilerde kaygı oluşmaktadır. Bu nedenle doğal gıda renklendiricilerinin kullanımına ilgi gün geçtikçe artmaktadır (Koul vd. 2002; Azeredo, 2009). Gıda üretiminde doğal pigmentlerin kullanımı, esas olarak tüketicilerin sentetik gıda renklerinin sağlık güvenliği konusunda endişe duymaları nedeniyle çok popüler hale geliyor (Juric vd. 2020). Bu gereksinimler, dünya çapında çok sayıda düzenlemeyi zorunlu kıldı ve sentetik renklendiricilerin uygulama pazarı doğal renklendiriciler lehine azaldı (Azeredo, 2009; Ravichandran vd. 2013). Örneğin, ABD’de izin verilen sentetik renklendiriciler listesi, 21. yüzyılın başına kadar 700’den yediye düşürülmüştür (Downham ve Collins, 2000).

Pigmentler, hem hayvan hem de bitki dokusunda bol miktarda bulunan doğal renklendirici maddelerdir. Yapraklarda, meyvelerde, sebzelerde ve çiçeklerde olduğu kadar deride, gözlerde ve diğer hayvan yapılarında, bakteri ve mantarlarda da bulunabilirler (Juric vd. 2020). Doğal pigmentlerin stabilitesi temel olarak pH, metal iyonlarının varlığı, ışığa maruz kalma, yüksek sıcaklıklar ve oksijen gibi çevresel ve kimyasal faktörlerin bir kombinasyonuna bağlıdır, ancak aynı zamanda ürünün enzimatik aktivitelerinden de önemli ölçüde etkilenir (Khazaei vd. 2014). Gıda ürünleri doğal olarak dört ana doğal pigment grubu tarafından renklendirilir: kırmızı-mavi-mor antosiyaninler, kırmızı betalainler, yeşil klorofiller ve sarı-turuncukırmızı karotenoidler (Juric vd. 2020).

Antosiyaninler kırmızı mor renk aralığını kapsayan en yaygın ve en çok kullanılan doğal pigmentler olsa da, betalainler pH ve sıcaklığa karşı daha karardır. Betalainler, genellikle antosiyaninlerle renklendirmenin mümkün olmadığı düşük asitli gıdalar için uygun olan geniş bir pH stabilitesi sergiler. Sarı turuncu renk aralığı için karotenoidler doğal pigmentlerdir, ancak suda çözünürlüğü zayıf olduğundan, yerine betaksantin sarı turuncu gıda boyası olarak kullanılabilir (Stintzing ve Carle, 2004).

Gıda işlemede, antosiyaninler ve karotenoidlerle karşılaştırıldığında, betalainler daha az kullanılır bunun sebebi betalainin suda çözünür pigmentleri pH 3 ile 7 arasında karardır. Sağlığı teşvik edici özelliklerine ek olarak, sarı betaksantinler ve kırmızı-mor betasiyaninlerin çeşitli kombinasyonları, domates salçalarının, sosların, çorbaların, tatlıların, reçellerin, jölelerin kırmızı rengini iyileştirmek için dondurmalar, tatlılar ve kahvaltılık gevrekler, taze pancar/pancar tozu veya ekstrakte edilmiş pigmentler olarak kullanılmaktadır (Koul vd. 2002; Stintzing vd. 2005). Doğal renklendirici olan betalainler yapay renklendiriciler kullanılmadan yeni gıda ürünlerinin geliştirilmesine olanak sağlayabilir (Stintzing vd. 2005).

1.6. Kurutma

Gıdaların kurutulması en eski muhafaza yöntemlerindendir. Kurutmanın amacı, gıdalardaki serbest suyun %85-90'ını uzaklaştırmaktır. Suyun varlığında meydana gelebilecek biyokimyasal tepkimelerin ve mikroorganizma faaliyetinin durdurulması ile gıdanın uzun süre depolanması sağlanır (Yıldız ve Gökçen, 2020). Kurutma işleminde, gıda maddesine belirli şartlar altında ısı verilerek gıdadan fazla su uzaklaştırılır. Kurutmanın etkinliğini belirleyen faktörler; gıda maddesinin yüzey alanı, kurutma süresi, kurutma sıcaklığı, kurutma hızı, havanın kuruluğu ve atmosfer basıncı tayin etmektedir (Cemeroğlu, 2004). Bu sayede gıda maddeleri, hasat sezonu dışında ve üretilmedikleri yerler de erişilebilir hale gelir. Ayrıca kurutulmuş gıdalarda hacim ve ağırlık azaldığı için paketlenme ve nakliye süreçlerinin maliyetleri azalmaktadır (Yıldız ve Gökçen, 2020).

Meyve ve sebzelerin kurutulması ile besleyici içerik açısından taze meyve ve sebzeye oranla daha zengin olabilmektedir. Özellikle konsantre edilen ürünlerde, kurutulmuş ürünlerde bu durum oldukça yüksektir. Birçok kurutulmuş meyve ve sebzede C vitamini dışında, besleyici içeriğin yoğun halde bulunduğu belirtilmiştir (Cemeroğlu, 2004). Meyve ve sebzelerin yüksek nem içeriği, raf ömürlerini sınırlandıran önemli bir faktördür; bu nedenle; kurutma gibi basit ve pahalı olmayan tekniklerin kullanılması bu sorunun üstesinden gelmek için etkili bir araç olarak kullanılabilir (Kaur vd. 2022).

Kurutulan ürünlerin besin içeriği, kurutma koşullarına ve uygulanan kurutma metoduna bağlıdır. Güneşte kurutmada C vitamini ve fenolik kaybının diğer yöntemlere göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Sebze de enzimler inaktive edilmemişse, bazı durumlarda kayıplar % 80'in üzerine çıkabilmektedir (Cemeroğlu vd. 2001).

Mikrodalga kurutmada ısı, materyalin içerisinde, mikrodalga enerjisinden termal enerjiye dönüşmektedir. Mikrodalga ile kurutmada ısı, gıdanın içerisinde oluşmaktadır. Normal fırınlarda ısı transferinin yönü gıdanın dış kısmından iç kısmına doğrudur. Bu nedenle normal fırınlarda kurutma işlemi uzun sürmektedir. Mikrodalga kurutma yönteminde sıcaklık değişiminin yönü dışarıya doğru olduğundan iç taraftaki suyun uzaklaşması daha kolaydır. Gıda yüzeyinde kabuk oluşmadığından kütle transferinde herhangi bir yavaşlama görülmez ve sabit hızda kuruma süresi uzar. Böylece mikrodalgada kurutma sürecinin geleneksel kurutma yöntemlerine göre, gıda kalitesi ve maliyeti açısından avantajlı oldukları söylenebilir (Yıldız ve Gökçen, 2020).

Kurutma kabini kurutma tipinde tabanı delikli veya ızgaralı tepsilere kurutulacak ürün raflara dizilir. Sıcak hava delikli tepsilere fan sayesinde verilir. Raflar ve tepsiler hava sirkülasyonunu engelleyemeyecek şekilde konumlandırılmalıdır. Gıdaların dış kısımlarını dolaşan hava gıdadan aldığı su ile beraber dışarı atılır. Kabin tipi kurutucularda havanın kabin içindeki sirkülasyonu sırasında izlediği akış yönüne göre paralel ve çapraz akış şeklinde farklı kurutma metotları tasarlanabilir (Kartal, 2011).

Pancar taze haliyle yüksek su içeriğine sahiptir, bu nedenle raf ömrünü uzatmak için toz haline getirilebilir. Taze ürünlere göre sebze tozları mevsimden bağımsız olarak bulunur ve raf ömrü daha uzundur (Mudgal, 2022). Önceki çalışmalarda kırmızı pancarın toz haline getirilmesi ile ilgili kurutma çalışmaları yapılmış ancak bu tekniklerle üretilen kırmızı pancar tozlarından hangilerinin ekmek üretimi için daha uygun olduğu belirlenmemiştir.

1.6. Ekşi Hamur Tekniği ile Ekmek Üretimi

Ekmek, iyi bir mikro besin, lif ve protein kaynağı olan tahıl bazlı temel bir gıda maddesidir. Karbohidrat içeriği yüksektir, ancak protein ve diğer mikro besin içeriği düşüktür (O'connor, 2012; Ani vd. 2022). Ekmek de dahil olmak üzere unlu mamuller, dünyanın her yerindeki insanların diyetinin önemli bileşenleridir (Raczyk vd. 2022). Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) tavsiyelerine göre, sağlıklı bir diyet sebzelere ve tam tahıllı ürünlere dayanmalıdır. Buğday unu, içerdiği depolama proteinlerinin ıslanıp yoğrulduktan sonra viskoelastik bir hamur oluşturma kabiliyetine sahip olması nedeniyle ekmek üretiminde en çok tercih edilen undur (Hoseney ve Rogers, 1990).

Ekmek yapımı için temel malzemeler un, su, tuz, yağ ve şekerlerdir. Bir ekmek tarifindeki en önemli bileşenler olan su ve un, tekstür ve ekmek içi yapısının en çok bu bileşenlerden etkilenmesine neden olur. Kabartma maddeleri (mikroorganizmalar veya kimyasal), geliştiriciler, stabilizatörler, emülgatörler, oksidanlar, zamlar ve enzimler (lipazlar, lipoksijenazlar) da sıklıkla eklenir. Taze ekmeğin karakteristik özellikleri, çekici bir altın kahverengi kabuk, hoş bir kavrulmuş aroma, ince dilimleme, yüksek hacim, yumuşak ve elastik bir kırıntı dokusu ve nemli bir ağız hissi olarak açıklanabilir (Selomulyo ve Zhou, 2007).

Ekmek ve diğer unlu mamullerin üretiminde daha çok beyaz un kullanılır; bununla birlikte, buğdayda (*Tritium aestivum* L.) fenolik bileşikler çözünür-serbest, çözünür-konjuge ve çözünmez-bağlı formlarda bulunur. Fenolik bileşikler çoğunlukla (toplam içeriğin %80'inden fazlası) kepek ve öz fraksiyonlarında bulunur. Bu nedenle beyaz un fenolik bileşik içeriğince zayıftır (Okarter vd. 2010).

Buğdayın tadı ve üretilen ürünlerin hafif, mayalı dokusu, diğer gıdalardan daha fazla tercih edilmesinin nedenlerinden biridir. Ekmek dışında diğer tahıl bazlı ürünler aynı hafif dokuya sahip değildir (Ani vd. 2022). Ekmek ürünleri ve üretim teknikleri, kültürel alışkanlıklara bağlı olarak dünya çapında büyük farklılıklar göstermektedir. Ekmek yapımının amacı, tahıl unlarını çekici, lezzetli ve sindirilebilir gıdaya dönüştürmektir (Cauvain ve Young, 2011). Araştırmalar, ekmek yapımında istikrarlı ve etkileyici bir ilerleme sağlarken, daha kaliteli ekmek üretmek için yeni malzemeler, içerikler ve ekipmanlar piyasaya sürüldükçe ekmek yapım teknolojisi yıllar içinde sürekli olarak gelişmektedir (Selomulyo ve Zhou, 2007).

Buğday ekmeğinin tüm dünyada tüketilen temel gıdalardan biri olması göz önünde bulundurulduğunda, sebzelerin ekmek yapım sürecine dahil edilmesi ile ürünün kalitesi artacaktır. Ekmek, yüksek oranda kabul gören, uygun bir gıda olduğundan, biyoaktif bileşiklerin iyi bir taşıyıcısı olabilir. Fırınlanmış ürünlere eklenen sebzeler ürünün fiziksel ve kimyasal özelliklerini önemli ölçüde değiştirmektedir (Raczyk vd. 2022). Ekmek ve diğer unlu mamullerde antioksidan kaynağı ve fonksiyonel katkı maddesi olarak doğal içeriklerin kullanımı küresel bir akımdır (Dziki vd. 2014).

Fırıncılık endüstrisindeki son eğilimler, minimum düzeyde işlenmiş ve kimyasal koruyucu içermeyen yüksek kaliteli gıdalara olan talebi içermekte ve bu nedenle doğal koruma sistemlerine olan ilgiyi artırmaktadır (Ryan vd. 2008). Doğal koruma sistemleri arasında, ekşi maya kullanımı uzun bir geleneğe sahiptir ve raf ömrünü uzatmanın yanı sıra ekmeğin besleyici özellikleri ve organoleptik özelliklerinde hala önemli bir rol oynamaktadır (Ganzle, 2014).

Ekşi hamur, laktik asit bakterileri (LAB) ve mayalar ile kendiliğinden veya ters mayalama içersin veya içermesin bir ekşi hamur başlatıcı kültürünün eklenmesiyle başlatılan bir un ve su karışımıdır. Ekşi maya mikroflorası genellikle undan, çevreden veya aşı olarak kullanılan bir maddeden (örn. meyveler ve yoğurt) kaynaklanır (Catzeddu, 2011).

Ekşi hamurlardan çok çeşitli laktik asit bakterileri izole edilmiş olmasına rağmen, yalnızca birkaç *Lactobacillus* türü ekşi hamur ortamına yüksek düzeyde adapte olmuştur ve genellikle endüstriyel ve esnaf fermentasyonlarına hakimdir. Özellikle *Lactobacillus sanfranciscensis*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus pontis*, *Lactobacillus rossiae* türleri ekşi hamurlarda anahtar organizmalar olarak kabul edilmektedir. Geleneksel ekşi hamurlar, genellikle baskın ekşi hamur mikroorganizmalarının büyüme gereksinimlerini karşılayan bir pH aralığına (3.5-4.3) sahiptir (Minervini vd. 2014). Ekşi maya büyümesi için optimum sıcaklıklar LAB suşa bağlı olarak 30 ila 40°C ve mayalar için 25 ila 27°C'dir. Un, su ve muhtemelen diğer bileşenlerden oluşan ve kendiliğinden fermente edilen ana hamurlar, tanımlanmış hazırlama döngülerine göre taze bir un-su grubuna istenen miktarda hamur eklenerek sonraki hamurlar için bir aşı olarak kullanılır (Huys vd. 2013). Belirli bir zaman aralığı için uygulandığında, bu tür bir işlem, çevreye iyi adapte olmuş laktik asit bakterilerinin ve mayaların büyümesine bağlı olarak sürekli ve tekrarlanabilir mayalama ve asitleştirme performanslarına sahip bir ekşi hamur sağlar (Paslı, 2015).

1.7. Çalışmanın Amacı

Sürekli olarak tükettiğimiz temel gıda maddelerinden olan ekmeğin bileşim olarak içeriği zayıf ve insan beslenmesi için yetersizdir. Kırmızı pancar, antioksidan bileşiklerin zengin bir kaynağıdır. Önemli miktarda betalain ve fenolik bileşiklerin yanı sıra askorbik asit içermektedir. Günümüze kadar kırmızı pancarın kurutulması, reçele işlenmesi, sebze suyu turşusu gibi birçok farklı teknikle değerlendirmesi konusunda çalışılmıştır. Son yıllarda sağlığa olan ilginin artmasıyla birlikte birçok araştırmacı fonksiyonel gıdaların fırıncılıkta kullanımını araştırmaktadır. Ancak literatüre bakıldığında kırmızı pancarın ekşi hamur tekniği ile ekmeğe işlenmesine dair bir çalışma bulunamamıştır.

Renk gıdaların tercih edilmesini önemli derecede etkileyen kalite kriterlerinden biridir. Göz alıcı ve doğal olan renkli gıdalar tüketicilerin gün geçtikçe ilgisini çekmektedir. Tüketicinin raflardan sofraya benzersiz ve besleyici ürünler getirmeye olan ilgisi ürün çeşitliliğinin artmasını sağlamaktadır. Bu nedenle bu çalışmada iki farklı gıda

maddesini birbiri ile uyum içerisinde birleştirmek, zenginleştirmek ve fonksiyonel bir gıda ürünü haline getirmek amaçlanmıştır.

Günlük beslenmede büyük öneme sahip temel gıda olan ekmeğin aynı zamanda antioksidan kaynağı olarak kullanılabilir olması büyük önem taşımaktadır. Uygulaması olmasına rağmen kırmızı pancarlı ekmeğin ile ilgili yapılan bilimsel çalışmalar yeterli değildir. Bu çalışmada kırmızı pancar tozlu ekşi mayalı ekmeğin renk ve antioksidan özellikleri üzerine işlem koşullarının etkisini belirlemek amaçlanmıştır.

Kırmızı pancarın ekmeğe katılması ile hem renk ve lezzet olarak daha cazip, hemde sağlık açısından daha faydalı ve beyaz ekmekten bileşen olarak daha zengin fonksiyonel bir temel gıda ürünü ortaya koymak amaçlanmıştır. Bu nedenle çalışmada, ekmeğin duyu özelliklerinin (renk) korunması veya artırılması ile birlikte beslenme parametrelerinin yani antioksidan kapasite, fenolik bileşik içeriğinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçla çalışmada farklı kurutma metodları kullanılarak üretilen pancar tozlarından, farklı oranlar kullanılarak yapılan kırmızı pancar tozlu ekmeklerin antioksidan ve radikal giderme aktivitelerini değerlendirmek amacıyla DPPH[•] giderme aktivitesi, ABTS^{•+} giderme aktivitesi, CUPRAC yöntemi kullanılarak (Cu⁺²) indirgeme yeteneği, potasyum ferriksiyanat indirgeme metodu ile Fe⁺³-Fe⁺² indirgeme kapasitesi, total fenolik ve flavonoid bileşik miktar tayininin yanı sıra Betalain miktarı için toplam betalain miktarı tayini yapıldı. Renk parametrelerini belirlemek kolorimetre cihazı kullanıldı. Elde edilen *L**, *a**, *b** değerleri kullanılarak Chroma (C), renk açısı parametreleri hesaplandı. Antioksidan analizleri için BHA, BHT, Troloks ve α - tokoferol standart antioksidanlar referans olarak kullanıldı.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Czapski (1985), kırmızı pancar suyunu 90°C’de ve farklı tamponlarda saf betanin solüsyonlarında betasiyaninlerin kayıpları ve ısıtma sonrası rejenerasyonları araştırmış ve ısıtılmış numunelerin depolanması sırasında pigmentlerin yenilenmesi 5°C’de 20°C’de daha yüksek olduğunu gözlemlemiştir. Pigmentlerin maksimum konsantrasyona ulaşma süresi, meyve suyu ve saf betanin çözeltileri için farklı bulunmuştur.

Koca ve arkadaşları (2007), haşlanarak kurutulan ve haşlanmadan kurutulan havuçların 27, 37, 47 ve 57°C’de depolanmasıyla karotenoid bozulması ve renk kaybını inceledikleri çalışmalarında, “karotenoid degradasyonu” ve “renk kaybı” arasında önemli korelasyon olduğunu belirtmişlerdir. Haşlanmamış havuç dilimlerinde renk ve karoten kaybının haşlama işlemi gören havuçlara göre depolama süresince daha fazla olduğunu bildirmişlerdir.

Nemzer ve diğerleri (2011), farklı metotlarda kuruttukları kırmızı pancarların içeriklerini kıyaslamışlardır. Kurutma metoduna göre bileşenlerin özellikleri uygulanan işlemlere göre farklılık göstermiştir. Kırmızı pancar aynı zamanda önemli aminoasit olan glutamik asitin de kaynağıdır.

Cardoso-Ugarte ve diğerleri (2014), çalışmalarında doğranmış kırmızı pancarlardan betalainlerin ekstraksiyonu için mikrodalga destekli ekstraksiyonun (MAE) kullanımını araştırmışlar. Seçilen güç koşulları (400, 800 ve 1200 W), zaman (0-160 saniye) ayarlanarak betanin ve betaksantin miktarlarını saptamışlardır. En yüksek betanin miktarını 400 W, %100 görev döngüsünde, 90 ve 120 saniyelerinde bulmuşlardır. Çalışmada, mikrodalga ekstraksiyon veriminin, 80°C’de yapılan klasik tekniğe göre 2 kat daha fazla olduğunu bulmuşlardır.

Kaimainen ve diğerleri (2015), sprey kurutucu ile püskürtülerek kurutulan kırmızı pancar tozlarıyla renklendirilmiş meyve sularının depolama boyunca stabilitelerini gözlemlemişler. İlk olarak sulu ekstrakt elde edip maltodekstrin ilave edip püskürtme metoduyla kurutmuşlardır. Bu metotla ürettikleri kırmızı pancar tozunu, kırmızı pancar ekstraktı ve antosiyaninle birlikte meyve suyunu renklendirmişlerdir. Çalışmada birbirinden ayrı 6 meyve suyu örneği elde etmiş ve meyve sularını -20, -4, 20 ve 60°C’de 6 ay depo etmişlerdir. Rengin en iyi 20°C’de korunmuş ve sulu ekstrakt yerine püskürtülerek kurutulanların kararlılığının daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Kavitkar ve diğerkleri (2017) kırmızı pancar ekstraktlarını Hint geleneksel içeceği olan lasside de gıda boyası olarak kullanmışlardır. Pancar ekstraktı katılan içeceklerin pancar katılmamış içeceklere göre duyusal olarak daha beğenildiğini ve 8 haftalık depolama boyunca rengin kararlı olduğunu kaydetmişlerdir.

Arruda Ramos ve diğerkleri (2017), farklı işlemlerin kırmızı pancarın biyoaktif bileşenleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada pancarları 5mm inceliğinde dilimleyip pişirme işlemine tabi tutmuşlardır. 1. gruba 30 dakika buharda, 2. gruba 10 dakika vakumlu pişirme, 3.grubu 40 dakika konveksiyonel fırınlama, 4. grubu 24 dakika haşlama uygulayıp biyoaktif bileşenleri karşılaştırmışlardır. Sonuçlarda en yüksek fenolik madde içeriğini fırında pişirilenlerde saptamışlardır.

Dirim ve arkadaşları (2019), püre haline getirdikleri kırmızı pancarı farklı mikrodalga güç seviyelerinde (180, 360, 540, 720, 900W), farklı gramajlarda (9, 12, 15, 18, 21 g) kurutup toz haline getirmişlerdir. Çalışmada renk özellikleri olan L, a, b değerlerini incelemişlerdir. 900W güç seviyesinde kurutma oranı en yüksek bulunurken, gramajı az olan ürünlerin daha hızlı kuruduğu belirtilmiştir. 18 gr ağırlığında ve 540 W güç seviyesinde işlem görmüş kırmızı pancarın Browning İndeks değerinin en düşük olduğunu belirtmişlerdir.

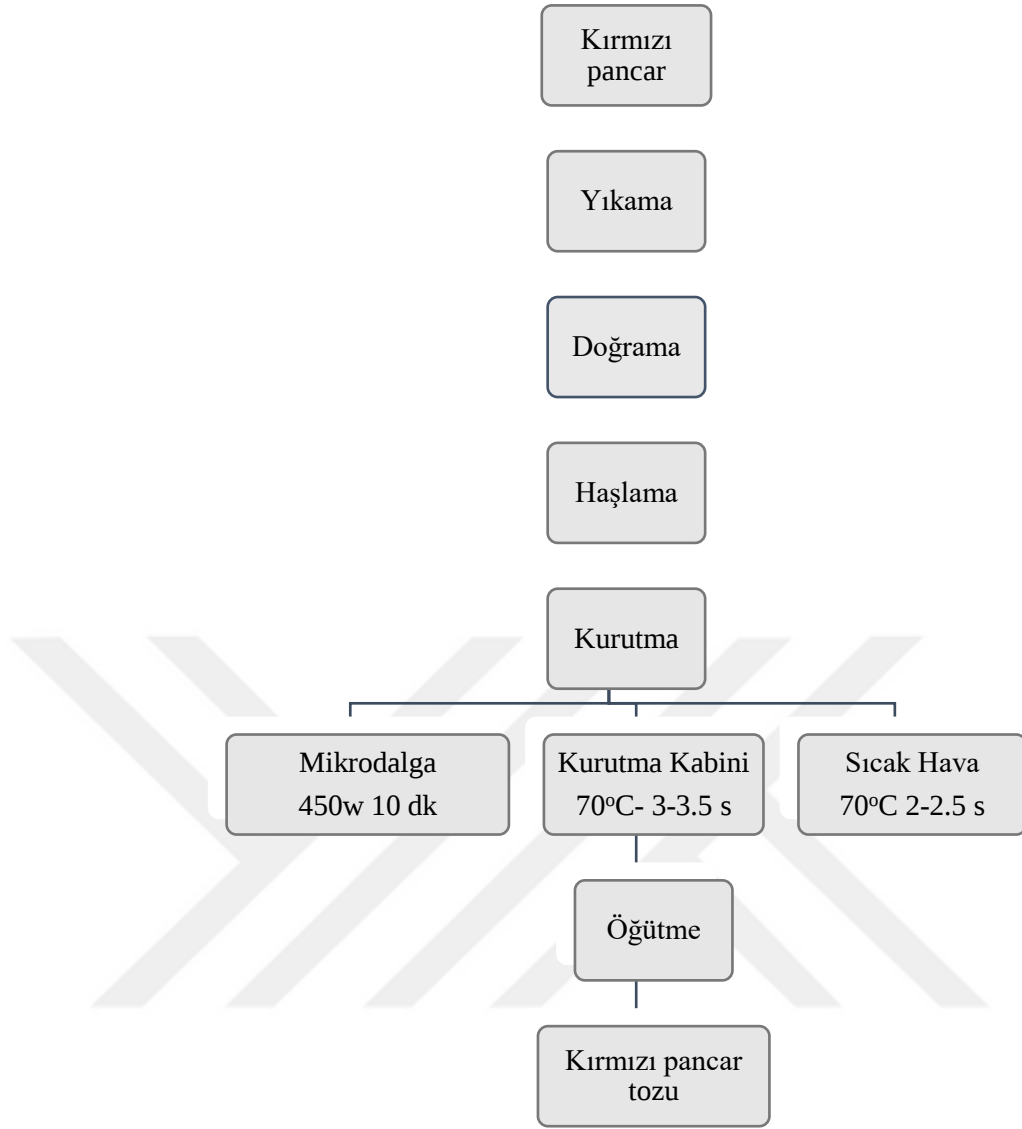
Dinçer ve diğerkleri (2021), sosis üretiminde dört renklendirici (kontrol, karmin, pancar özü ve pancar özü tozu) ve iki yöntem (fermantasyon ve ısıl işlem) kullanmışlardır. Çalışma, pancar özü ve tozu kullanımının, betalainler ve fenolik bileşikler prevalansı ile pancarın antioksidan özelliklerinden dolayı sosislerde lipid oksidasyonunun daha fazla gelişmesini önemli ölçüde önlediğini ortaya koydu. Ayrıca pancar ekstraktı ve tozunun kullanımı sosislerin duyusal görünüşünü, rengini, lezzetini ve genel kabulünü olumlu yönde etkilemiştir.

Mella ve arkadaşları (2022), vakumlu kurutmanın, dondurarak kurutmaya uygun bir alternatif olup olmadığı değerlendirdikleri çalışmada her iki kurutma tekniğinin pancarın fizikokimyasal özellikleri, betalain pigmentleri, antioksidan potansiyeli ve fenolik bileşikler üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Sıcaklık artışının kuruma hızının artmasına yardımcı olduğunu ve kuruma süresini etkili bir şekilde kısalttığı saptanmıştır. Genel olarak, vakum kurutma, pancarın bileşim içeriğini dondurarak kurutmadan daha iyi korumuştur. Sonuç olarak, çalışma 50°C’de vakumda kurutmanın dondurarak kurutma yerine uygun bir alternatif olabileceğini göstermektedir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Kırmızı pancarlar yerel marketlerden temin edildi. Yıkayıp soyulduktan sonra 1-3 mm kalınlıkta doğrandı. Mikrodalga fırında 800W'da haşlandı. Haşlama işlemi peroksidaz testi ile takip edilip enzimler inaktive edildiği noktada işlem sonlandırıldı. Mikrodalga işlemi için Samsung marka (ME71A, Samsung, Kore) mikrodalga kullanıldı. Ardından kurutma işlemi 3 farklı yöntemle gerçekleştirildi. Birinci yöntemde sıcaklığı ayarlanabilen kurutma kabiniinde gerçekleştirildi (Ani vd. 2022). Ön işlemi tamamlanan örnekler 70°C'de %10 nem içeriğine ulaşıncaya dek kurutma işlemine tabi tutuldu (Ingle vd. 2017). İkinci yöntemde mikrodalga fırında 450W'da %10 nem içeriğine ulaşıncaya dek kurutma işlemine tabi tutuldu (Zin vd. 2022; Dirim vd. 2019). Son olarak sıcak hava kurutma yönteminde 70°C sıcaklıkta %10 nem içeriğine ulaşıncaya kadar kurutuldu (Nemzer vd. 2011). Kurutulan pancar dilimleri öğütölüp toz haline getirildi. Öğütme işlemi için Sinbo (SCM 2934) elektrikli öğütücü kullanıldı. Kırmızı pancar tozu üretim akış şeması Şekil 3'te verilmiştir.

Kurutulup toz haline getirilen pancar ekşi hamura ön denemeler yapıldıktan sonra örnek kontrol, %4, %8 ve %12 oranlarında beyaz un yerine hamura ilave edildi. Yapılan ekmeklerin reçeteleri Tablo 3'te verilmiştir. Kırmızı pancar tozlu ekmeklerin yapım aşamaları Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 3. Kırmızı pancar tozu üretimi akış şeması

3.1. Ekşi Hamur Üretimi

Ekşi hamur üretimi Akgün, (2007)'nin kullandığı metodun modifiye edilmesiyle oluşturulmuştur.

1. Gün: 100 g beyaz un, 100 g içme suyu karıştırıldı ve cam kavanoz içinde oda sıcaklığında (22-28°C) üzeri örtülerek dinlenmeye bırakıldı.
2. Gün: Hamurun üzerine 50 g beyaz un, 50 g içme suyu eklenerek tekrar karıştırıldı üzeri örtülerek 1 gün dinlenmeye bırakıldı.
3. Gün: Hamur karışımına 50 g beyaz un, 50 g içme suyu eklenerek karıştırıldı ve dinlenmeye bırakıldı.
4. Gün: Hamur karışımının yarısı ayrılıp üzerine 50 g beyaz un, 50 g içme suyu eklendi karıştırılıp dinlenmeye bırakıldı.
5. Gün: Hamur karışımının yarısı ayrılıp üzerine 50 g beyaz un, 50 g içme suyu eklendi karıştırılıp dinlenmeye bırakıldı.

6. Gün: Hamur karışımının yarısı ayrılıp üzerine 50 g beyaz un, 50 g içme suyu eklendi karıştırılıp dinlenmeye bırakıldı.

7. Gün: Hamur karışımının yarısı ayrılıp üzerine 50 g beyaz un, 50 g içme suyu eklendi karıştırılıp dinlenmeye bırakıldı.

8. Gün: Hamur karışımının yarısı ayrılıp üzerine 50 g beyaz un, 50 g içme suyu eklendi karıştırılıp dinlenmeye bırakıldı.

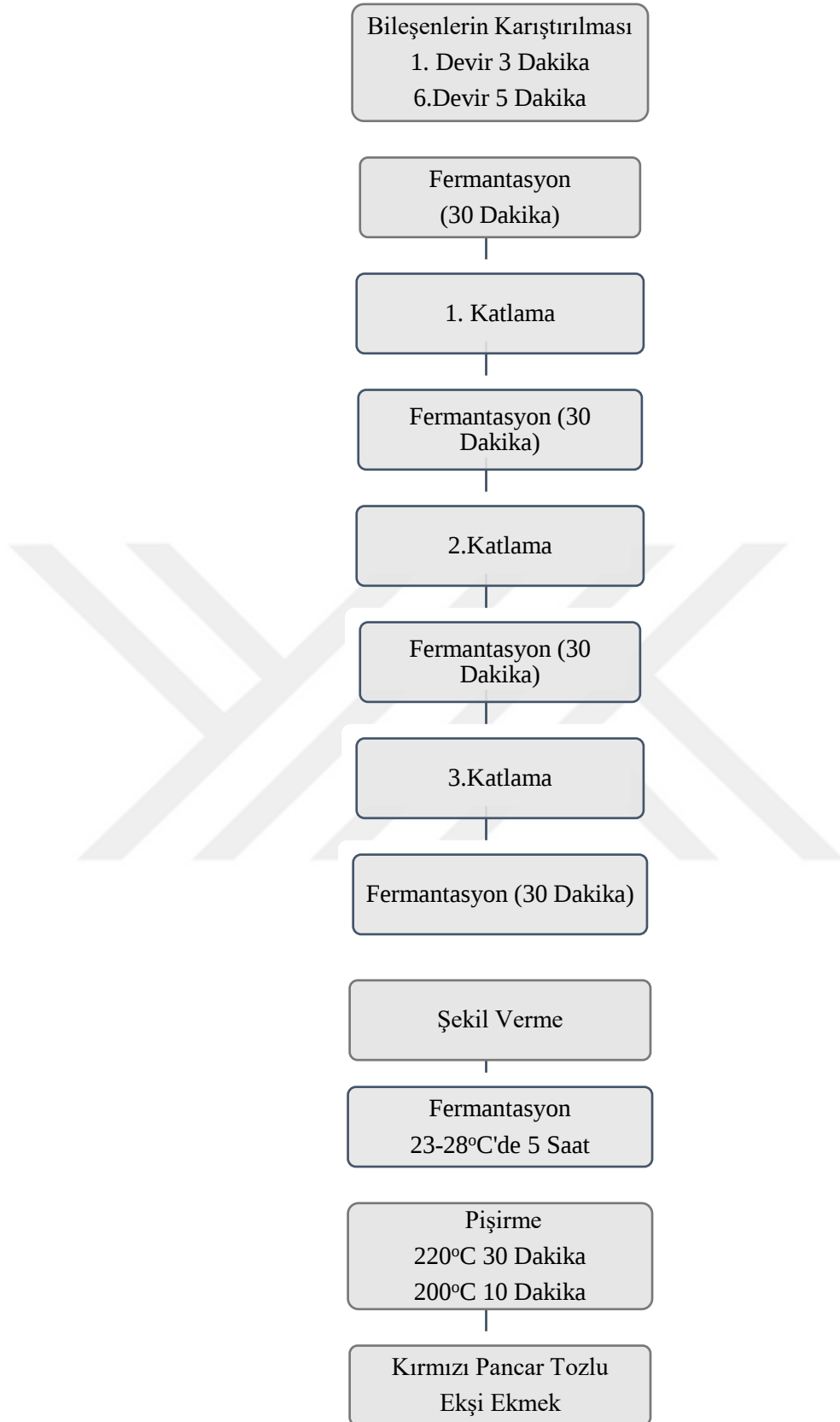
9. Gün: Hamur karışımının yarısı ayrılıp üzerine 50 g beyaz un, 50 g içme suyu eklendi karıştırılıp dinlenmeye bırakıldı.

10. Gün: Hamur pH değeri ölçülmüştür. 3.8-4.0 arası kullanıma uygundur. Buzdolabı koşullarında 4°C’de depolanmıştır. 3 günde bir 100 g beyaz un ve 100 g içme suyu ile besleme yapılmıştır.

Tablo 3. Hazırlanan ekşi hamur ekmeklerinin reçeteleri

Bileşenler	Örnek kontrol	%4	%8	%12
Buğday unu	500	460	420	380
Pancar tozu	0	40	80	120
Ekşi maya	140	140	140	140
Tuz	10	10	10	10
Su	350	350	350	350
Total	1000	1000	1000	1000

*%12; %12 pancar tozu, %8; %8 pancar tozu, %4; %4 pancar tozu, örnek kontrol; pancar tozu içermeyen



Şekil 4. Kırmızı pancar tozlu ekşi mayalı ekmeğin üretim akış şeması

3.2. Örneklerin Analize Hazırlanması

Kırmızı pancar tozlu ekmekler 25 mm kalınlıkta kesilerek 35°C’de kurutuldu. Kurutulan ekmekler öğütücüde toz haline getirildi (Meral ve Doğan, 2012). Örnekler 25 gr tartıldı. Üzerine 50 mL etil alkol ilave edilerek 6 saat karıştırıcıda karıştırıldı ve süzüldü. Örnekteki etanol 50°C’de evaporatörde uzaklaştırıldı. Elde edilen ekstrelerden 1mg/mL konsantrasyonlu örnek çözeltileri hazırlandı.

3.3. Kullanılan Kimyasal Maddeler ve Cihazlar

2,2’-Azino-bis (3-etilbenztiyoazolin-6-sulfonikasit) (ABTS), neokuprin (2,9-dimetil-1,10-fenantrolin), 1,1-difenil-2-pikril-hidrazil (DPPH) radikali, Folin- Ciocalteu’s phenol reagent, kuersetin, gallik asit, trikloroasetik asit (TCA), Bakır (II) Klorür (CuCl₂), Sodyum Asetat (CH₃COONa), Potasyum hegzasiyanoferrat (K₃(Fe(CN)₆), Potasyum Persülfat (K₂O₈S₂), Monosodyum Fosfat (NaH₂PO₄), Hidrojen Klorür (HCl), Demir (III) Klorür (FeCl₃), Amonyum Tiyosiyanat (NH₄SCN), Alüminyum Nitrat Al(NO₃)₃, Sodyum karbonat (Na₂CO₃), Potasyum asetat (CH₃COOK) Sigma- Aldrich GmbH, (Sternheim Germany).

Etüv

UV-VIS Spektrofotometre

Otomatik pipetler

Hassas terazi

Vorteks

Manyetik karıştırıcı

Buzdolabı

pH metre

Rotary evaporatör

Orbital çalkalayıcı

3.4. Analiz Metodları

3.4.1. Peroksidaz Aktivitesi Testi (Haşlama Yeterliliğinin Saptanması)

Peroksidaz enzimi ısıya dayanıklı bir enzimdir. Peroksidaz enziminin varlığının olmaması haşlamanın yeterli yapıldığını gösterir. Peroksidaz enzimi 78°C’da 15 saniyede inaktif olan, oksitlendiğinde renk değişikliğine sebep olan bir enzimdir. Meyve ve sebzelerin dondurulması ve kurutulması işlemlerinde haşlama yöntemi üretimde dikkatle yapılması gerekir.

5 gr örnek alınarak, 5 mL saf su ve sırasıyla %1'lik guaiacol (1 mL) ve % 0.5'lik hidrojen peroksit (1 mL) ilave edilerek kırmızımsı kahverengi bir renk gözleendiğinde test pozitif, renk oluşmamışsa negatif olarak değerlendirilir (Anonim, 2013).

Herhangi bir renk farklılığı gözlenmediyse peroksidaz enzimi inaktif olmuştur. Haşlama işlemi yeterli yapılmıştır. Kırmızı-kahverengi renk oluşmuşsa peroksidaz enzimi inaktif değildir bu da haşlama işleminin yeterli yapılmadığını gösterir (Cemeroğlu, 2010).

3.4.2. Kül Tayini

Darası kaydedilen porselen krozelere örneklerden 3.0 ± 0.1 g tartılır. Krozeler kül fırınına yerleştirilir. Sıcaklık kademeli olarak arttırılır ve 550°C de yakılır. Açık gri-beyaz renkte kül görölene dek yakma işlemine devam edilir. İşlem sonunda soğumuş krozeler tartılır ve değerleri kaydedilir. Yakma işlemi öncesindeki tartım değerleri kullanılarak kül miktarı hesaplanır (Keleş, 1983).

3.4.3. Kuru Madde Tayini

Darası alınan kurutma kaplarında 3.0 ± 0.1 g ekmek örnekleri tartılır, 105°C 'da sabit tartım elde edilene kadar kurutmaya devam edilir. Kurutma işlemi bittikten sonra örnekler desikatörde soğutulur ve kurutulan örnekler tartılır. Tartım değerleri kullanılarak kuru madde miktarı hesaplanır (Keleş, 1983).

3.4.4. pH Tayini

Çoğu gıdadaki tat dengesinin oluşmasında asitliğin rolü büyüktür ve pH ölçümü en fazla yapılan tayinlerden biridir. Besinlerin asitliği uygulanılacak işlemler açısından önemlidir. Uygulanacak işlemler çoğu zaman pH değerine göre belirlenir. Tampon çözeltilerle (pH'sı 4.00, 7.00 ve 10.1) kalibre edilen pH-metre ile homojenize edilmiş örneklerin doğrudan pH değerleri belirlenir (Cemeroğlu, 2010).

3.4.5. Fe^{3+} - Fe^{2+} İndirgeme Kapasitesi Yöntemi

Fosfat tamponunun hazırlanması (0.2 M, pH:6.6): 2.4 g Na_2HPO_4 90 mL saf suda çözüldükten sonra pH'sı 6.6 olacak şekilde ayarlandı. Son hacim 100 mL'ye tamamlandı. % 0.1'lik FeCl_3 çözeltisinin hazırlanması: 0.165 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ destile suda çözündürölüp son hacmi 100 mL'ye tamamlandı. %10'luk TCA çözeltisinin hazırlanması: 10 g TCA destile suda çözündürölüp, son hacim 100 mL'ye saf suyla tamamlandı. %1'lik $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ çözeltisinin hazırlanması: 1 g $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ alındıktan sonra belli bir miktar saf

suda çözündürüldükten sonra son hacim 100 mL olacak şekilde tamamlandı. Oyaizu metoduna göre yapılan bu metotta (Oyaizu, 1986) hazırlanan ekstrakt ve standart antioksidan çözeltileri 1 mg/mL konsantrasyonunda hazırlandı. Daha sonra gerçekleşen tepkime karışımına 1 mL %10'luk TCA ilave edildi. Son olarak da 0.25 mL %0.1'lik FeCl₃ ilavesi yapılarak 700 nm'lik dalga boyunda saf suya karşı absorbens değerleri okundu.

3.4.6. Cu²⁺-Cu⁺ İndirgeme Kapasitesi Yöntemi (CUPRAC Metodu)

Bu yöntem, hem lipofilik hem de hidrofilik antioksidanlar içeren çeşitli matrislere de kullanılmıştır. Cu²⁺-Neeokuprin'in Cu⁺-Neeokuprin'a indirgenmesi esasına dayanır. İndirgenen Cu⁺-Neeokuprin kompleksi 450 nm'de maksimum absorbens verir. Cu²⁺ indirgeme Apak metodunun kısmi değişimiyle yapılmıştır (Gülçin 2008; Apak vd. 2022). 1 M'lık CH₃COONa tamponunun hazırlanması (pH:6.5): 4.1 g CH₃COONa alınıp 40 mL desitle suda çözündürülüp, pH'sı 6.5'e ayarlandıktan sonra çözeltinin hacmi 50 mL olacak şekilde ayarlandı. 7.5x10⁻³ M'lık etil alkol içeren neokuprin çözeltisinin hazırlanması: 0.035 g neokuprin alınıp 25 mL etil alkolde manyetik karıştırıcı üzerinde çözündürüldü. 0.01 M CuCl₂ çözeltisinin hazırlanması: 0.033 g CuCl₂ (MA: 134.5 g mol⁻¹) alınıp 25 mL saf suda çözündürüldü. Tez kapsamında hazırlanan çözeltiler sırasıyla CH₃COONH₄ tampon çözeltisinden 0.125 mL, CuCl₂ çözeltisinden 0.01 M, 0.125 mL, neokuprin çözeltisinden 7.5x10⁻³ M, 0.125 mL alınarak numunelere ilave edilerek son hacim saf su ile 1 mL'ye tamamlandı. 30 dakikalık beklemenin ardından absorbens değerleri 450 nm'de saf suya karşı ölçüldü.

3.4.7. ABTS Radikal Giderme Aktivite Yöntemi

Bu yöntemde ABTS, oksidanlar tarafından yoğun renkli olan ABTS^{•+} radikal katyonuna oksitlenir ve antioksidan kapasite, test bileşiklerinin ABTS radikali ile doğrudan reaksiyona giren rengi azaltma yeteneği olarak ölçülür. 734 nm dalga boyunda absorbens verir. Re ve arkadaşlarının yaptığı metoda göre ABTS radikali giderme aktivitesi belirlendi (Re vd. 1999). ABTS^{•+} çözeltisinin hazırlanması: 50 mL saf su içerisinde 0.075 g ABTS alınarak çözüldü. Potasyum persülfat çözeltisinin hazırlanması: 0.02 g K₂O₈S₂, 50 mL'lik ABTS^{•+} çözeltisi içerisine azar azar eklenildi. Yarım saat magnetik karıştırıcıda karıştırıldı.

Standartlar ve hazırlanan ekstraktlardan deney tüplerine farklı konsantrasyonlarda ilave edilirken içerisine 0.5 mL ABTS radikal çözeltisinde eklenilerek son hacim 2 mL olacak şekilde etanol ile tamamlandı. Deney tüpleri vorteks ile karıştırılarak 30 dakika

karanlık ortamda inkübasyon gerçekleşti. Etanoldan oluşan köre karşı absorbands 734 nm’de ölçüm yapıldı.

3.4.8. DPPH Serbest Radikal Giderme Aktivite Yöntemi

DPPH· çözeltisinin hazırlanması: 0.025 g DPPH· 100 mL etil alkolde tamamiyle çözülünceye 6 saat boyunca manyetik karıştırıcı ile karıştırılır. Işıktan korumak için beherin etrafı alüminyum folyo ile kapatılmıştır. (Blois, 1958; Gülçin, 2012). Bu sayede serbest radikalın oluşturulması hedeflendi. Stok çözeltinin doğruluğunu tespit etmek için kontrol çözeltisi hazırlandı. Bu amaçla deney tüpüne 2 mL etanol, 0.5 mL DPPH· çözeltisi eklenerek absorbands değeri kaydedildi. Deney tüpleri içerisine sırasıyla hazırlanan ekstraktlar ve standartlar farklı konsantrasyonlarda aktararak son hacimleri etil alkol ile 2 mL’ye tamamlandı. Sonrasında deney tüpleri içerisine hazırlanan DPPH· çözeltisinden 500 µL eklenerek 30 dakika karanlık ortamda beklemeye bırakıldı. Daha sonra kör olarak kullanılan etanole karşı 517 nm’de absorbandsları ölçüldü. Hesaplamalar aşağıdaki denkleme göre yapılmıştır.

$$\text{DPPH· giderme aktivitesi (\%)} = [1 - (A_1 / A_2)] \times 100$$

Bu formüle göre A1, DPPH çözeltisine hazırlanan ekstrelerin eklenmesiyle ölçülen absorbands değerini A2 ise, sadece DPPH çözeltisini içeren kontrolün absorbands değerini göstermektedir.

3.4.9. Total Flavonoid Miktarı Yöntemi

Standart kuersetin çözeltisinin hazırlanması: 15 mg kuersetin 15 mL saf etanolda çözüldü. 1 M’lik CH₃COOK çözeltisinin hazırlanması: 5.2 g CH₃COOK alınarak 40 mL saf suda çözüldükten sonra total hacim 50 mL olacak şekilde tekrar saf su ilave edildi. %10’luk Al(NO₃)₃ çözeltisinin hazırlanması: 5 g Aliminyum nitrat alındı ve 45 mL destile suda çözüldü.

Örnek ekstrelerindeki total flavonoid miktarı, Park vd. (1997)’nin metoduna göre yapıldı. 750 µL kırmızı pancarlı ekmek numunesi deney tüpüne eklendi. 100 µL (1 M) suda hazırlanmış CH₃COOK ve 100 µL (%10) Al(NO₃)₃ çözeltilerini içeren 3350 µL etanol çözeltisi ile seyreltildi ve karıştırıcıda karıştırıldı. Oda sıcaklığında 40 dakika inkübe edildikten sonra 415 nm’de absorbandsları kaydedildi. Toplam flavonoid konsantrasyonu tayini için kuersetin standart olarak kullanıldı ve standart kuersetin grafiğinden elde edilen denklemden toplam flavonoid konsantrasyonu mikrogram kuersetin ekivalen (KE) olarak belirlendi.

3.4.10. Total Fenolik Bileşik Yöntemi

Hazırlanan ekstrelerde fenolik bileşik miktarı, Folin-Ciocalteu reaktifi ile standart fenolik bileşik olarak gallik asit kullanıldı. İlk olarak gallik asitten bir standart grafik hazırlandı; kırmızı pancar tozunun ekstrelerinin fenolik bileşik içeriğini belirlemek için hazırlanan stok çözelti kullanıldı.

Folin-Ciocalteu Reaktifi'alındığı şekildeki gibi kullanılmıştır. %2'lik Na₂CO₃ çözeltisinin hazırlanması: 1 g Na₂CO₃ tartılıp 40 mL saf suda çözöldü ve son hacmi saf suyla 50 mL olacak şekilde ayarlandı.

Stok çözeltiden 750 µL ekstre alınarak deney tüpüne konuldu ve hacim 25 mL'ye saf suyla tamamlandı. Karışıma 0.5 mL Folin-Ciocalteu ve 3 dakika sonra 1.5 mL %2'lik Na₂CO₃ eklendi. Örnekler 2 saat karıştırıldı. Ardından 760 nm'deki absorbands, saf sudan oluşan köre karşı okundu. Örneklerin absorbands değeriğine karşılık gelen gallik asit ekivalen (GAE) miktarı standart grafikten elde edilen denklem ile tespit edildi. Sonuçlar, (GAE) olarak ifade edildi (Köksal ve Gülçin, 2008).

3.4.11. Betalainler ve Toplam Betalain Miktarı Yöntemi

Kurutulup öğütölen ekmek örneklerinden 10 gr tartıldı, fosfat tamponu ilave edildi. Manyetik karıştırıcı ile 60 dk karıştırıldı. Filtre kağıdından süzüldükten sonra hacim (1:5 w/v) 50 mL'ye tamamlandı. 5000 rpm'de 5 dk santrifüj edildikten sonra elde edilen pigment (betasiyanin ve betaksantin) miktarları, 1 cm kuvars küvet kullanılarak, iki farklı dalga boyunda (480 ve 538 nm) spektrofotometrede absorbands okuması yapıldı. Sonuçlar kg örnek başına mg pigment olarak ifade edilmektedir (Stintzing vd. 2005; Ravichandran vd. 2013).

$$\text{Betasiyanin (mg/kg)} = [(A_1 \times DF \times MW_1 \times 1000) / (\epsilon_1 \times l)]$$

$$\text{Betaksantin (mg/kg)} = [(A_2 \times DF \times MW_2 \times 1000) / (\epsilon_2 \times l)]$$

$$\text{Toplam betalain (mg/kg)} = \text{Betasiyanin (mg/kg)} + \text{Betaksantin (mg/kg)}$$

A₁: 480 nm

A₂: 538 nm

DF: Seyreltme faktörü

MW₁=550 g/mol; ε₁ =60.000 L/mol

MW₂=308 g/mol; ε₂ =48.000 L/mol

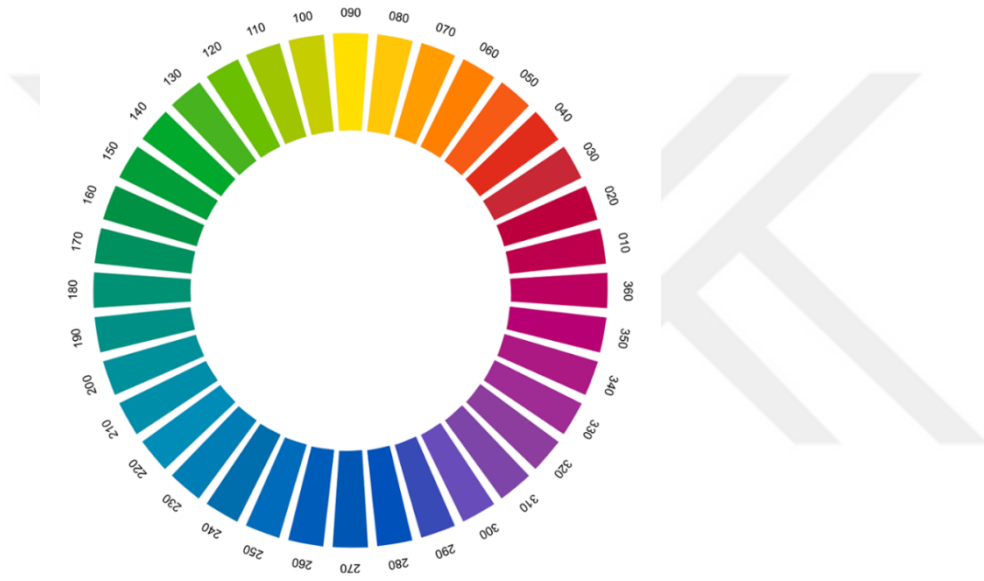
L: Küvet uzunluğu (1 cm)

ε: Molar absorpsiyon katsayısı (L/mol cm)

3.4.12. Renk Analizi

Örneklerin renk ölçümleri kolorimetre (3NH NR10QC Çin) cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonucunda L^*, a^*, b^* Hunter renk parametreleri okunur. L^* değeri parlaklık-koyuluk, $+a^*$ değerleri kırmızı, $-a^*$ değerleri yeşil, $+b^*$ değerleri sarı, $-b^*$ değerleri mavi rengi temsil etmektedir. Renk parametreleri hue, chroma, browning indeks (kahverengileşme) değişimleri incelenir. Ekmeklerin iç doku kısmında renk ölçümü yapıldı. Elde edilen Ayrıca L^*, a^*, b^* değerleri kullanılarak Chroma (C), renk açısı parametreleri hesaplandı (Maskan 2001).

$$C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad \alpha = \tan^{-1}(b^*/a^*)$$



Şekil 5. Hue açısı değerlerinin renk şeması (URL-1, 2022).

3.4.13. İstatistiksel Analiz

Araştırma sonuçlarının değerlendirilmesinde IBM SPSS Statistics 22 (for Win, Release 22.0.0.0) (2013) programı kullanılmıştır. Sonuçlar 3 tekrarlı ölçümlerin ortalaması $\pm$ standart sapma olarak hesaplanmıştır. Kurutma yöntemleri ve pancar tozu miktarları arasındaki farklılıkları belirlemek için Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. Örnekler arasındaki farklılıklar % 95 güven aralığında verilmiştir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

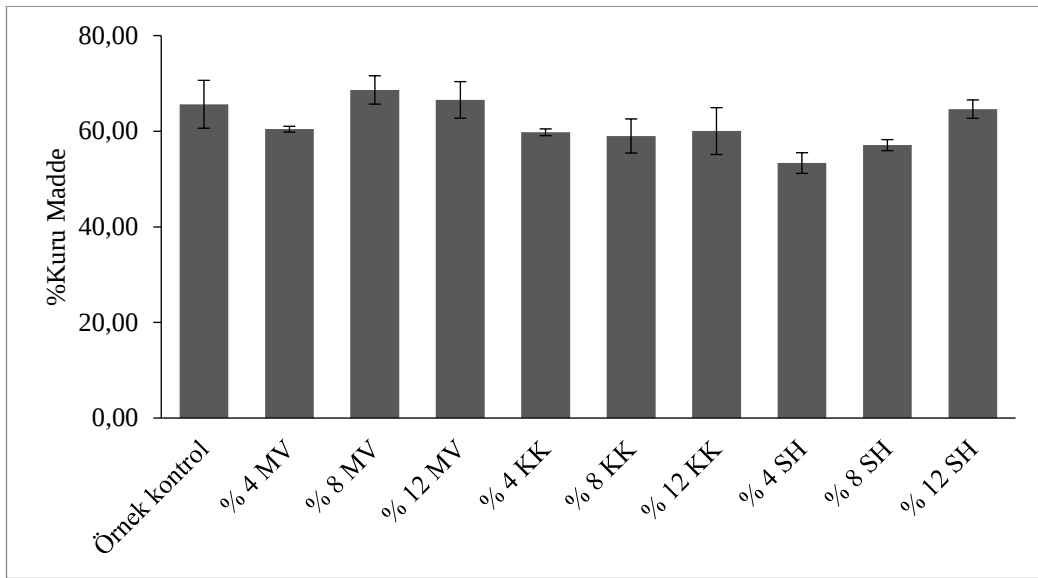
Tez çalışması kapsamında kırmızı pancar tozu katılmış örnekler ve pancar tozu içermeyen kontrol örneğinin kuru madde, kül (toplam mineral madde), pH, toplam betalain ve renk analizleri yapılmıştır. Renk analizlerinden elde edilen L^* , a^* , b^* , hue, kroma ve browning index verileri karşılaştırılmıştır. Ayrıca örneklerin antioksidan aktivitelerinin belirlenmesi amacıyla Fe^{3+} - Fe^{2+} indirgeme kapasitesi, Cu^{2+} - Cu^+ indirgeme kapasitesi, DPPH ve ABTS radikali giderme aktivitesi analizlerinden elde edilen verilere dayanarak grafikler hazırlanarak karşılaştırmalar yapılmıştır.

4.1. Kuru Madde, Kül Miktarları ve pH Değerine Ait Bulgular

Tablo 4. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin kuru madde, kül miktarları ve pH değerleri

	Kuru Madde (%)	Kül (%)	pH
Örnek Kontrol	65.63±5.007	1.556±0.108	5.206±0.015
%4 MV	60.43±0.599	1.854±0.048	5.426±0.015
%8 MV	68.63±2.957	2.065±0.059	5.543±0.011
%12 MV	66.54±3.822	2.495±0.111	5.720±0.026
%4 KK	59.76±0.706	1.812±0.039	5.266±0.011
%8 KK	58.99±3.562	2.244±0.062	5.493±0.005
%12 KK	60.02±4.899	2.448±0.070	5.566±0.005
%4 SH	53.34±2.164	1.854±0.059	5.030±0.020
%8 SH	57.08±1.150	2.239±0.061	5.206±0.005
%12 SH	64.61±1.925	2.472±0.117	5.396±0.005

Besin maddeleri su ve kuru madde olarak 2 kısımdan oluşmuştur. Ortamdan su uzaklaştırıldığında geriye kuru madde kalır (Uylaşer ve Başoğlu, 2011). Gıdalardaki nem miktarının saptanması ticari açıdan şart olduğu gibi, gıdanın raf ömrünü değerlendirme açısından da çok önemlidir (Cemeroğlu, 2010). Pancar tozu içermeyen kontrol örneğinde kuru madde miktarının %65.63 olduğu belirlenmiştir (Tablo 4). Kırmızı pancar tozu ilave edilerek hazırlanan ekmeklerin kuru madde oranları %53.34 ile %68.83 arasında değişmektedir (Tablo 4).



Şekil 6. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin kuru madde miktarlarının karşılaştırılması

Farklı tekniklerle kurutulan pancar tozları eklenerek pişirilen ekmeklerin kuru madde oranları Tablo 4’te gösterilmektedir. Çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre ekmeklere ilave edilen pancar tozu oranlarının kuru madde miktarlarını önemli seviyede etkilediği belirlenmiştir. Buna göre pancar tozu ilave edilmeyen kontrol örneğinin kuru madde oranının diğer örneklerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Tablo 5). Tüm örneklerin hamur formülasyonlarında bulunan su miktarları ve pişirme süreleri eşittir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda pancar tozu ilave edilmesinin kuruma hızını ve dolayısıyla pişirme süresini etkileyebileceği düşünülmektedir. Farklı tekniklerle kurutulan pancar tozları eklenerek pişirilen ekmeklerin kuru madde oranları karşılaştırıldığında en yüksek kuru madde miktarı mikrodalga kurutma yönteminde bulunmuştur (Tablo 6). Kurutma kabini ve sıcak hava kurutma yöntemleri arasında önemli bir fark olmadığı görülmüştür. Kurutma işleminin kurutulan örneklerin fiziksel ve kimyasal özelliklerine etki edebileceği bilinmektedir.

Tablo 5. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin kuru madde, kül miktarları ve pH değerlerinin pancar tozu oranına göre Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları

Pancar Tozu Oranı	%KM	% Kül	pH
Örnek Kontrol	65.635±4.33 ^a	1.556 ±0.094 ^d	5.21±0.1 ^c
%4	57.847±3.59 ^b	1.84 ±0.047 ^c	5.24±0.17 ^c
%8	61.574±5.87 ^b	2.183 ±0.103 ^b	5.41±0.16 ^b
%12	63.729±4.36 ^b	2.471 ±0.091 ^a	5.56±0.14 ^a

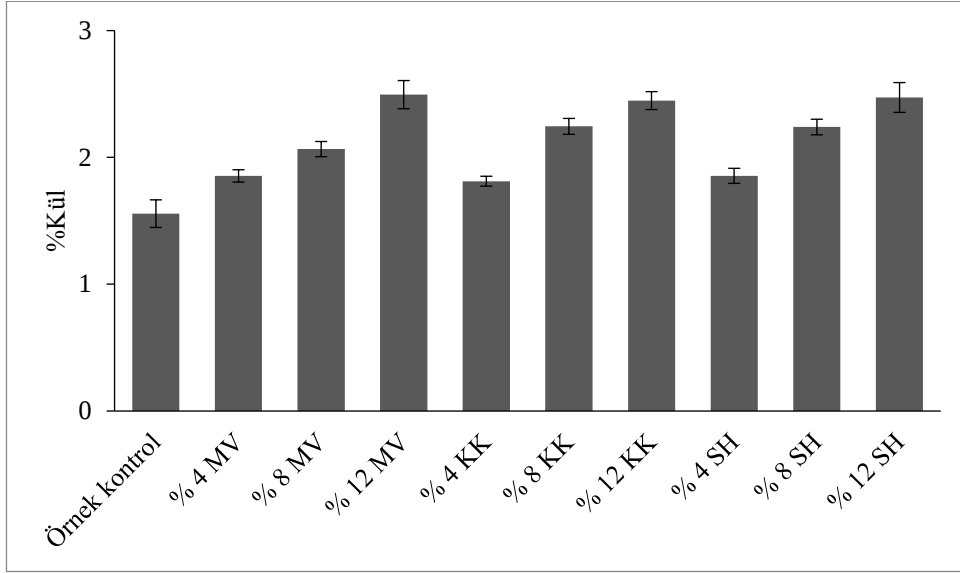
*Aynı sütünde farklı harflerle işaretlenen değerler istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<. 0.01)

Tablo 6. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin kuru madde, kül miktarları ve pH değerlerinin pancar tozu kurutma yöntemlerine göre Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları

Kurutma yöntemi	%KM	% Kül	pH
Mikrodalga	65.21±4.42 ^a	2.14±0.29 ^a	5.56±0.13 ^a
Kurutma kabini	59.60±3.08 ^b	2.17±0.28 ^a	5.44±0.14 ^a
Sıcak Hava Kurutma	58.35±5.21 ^b	2.19±0.28 ^a	5.21±0.16 ^b

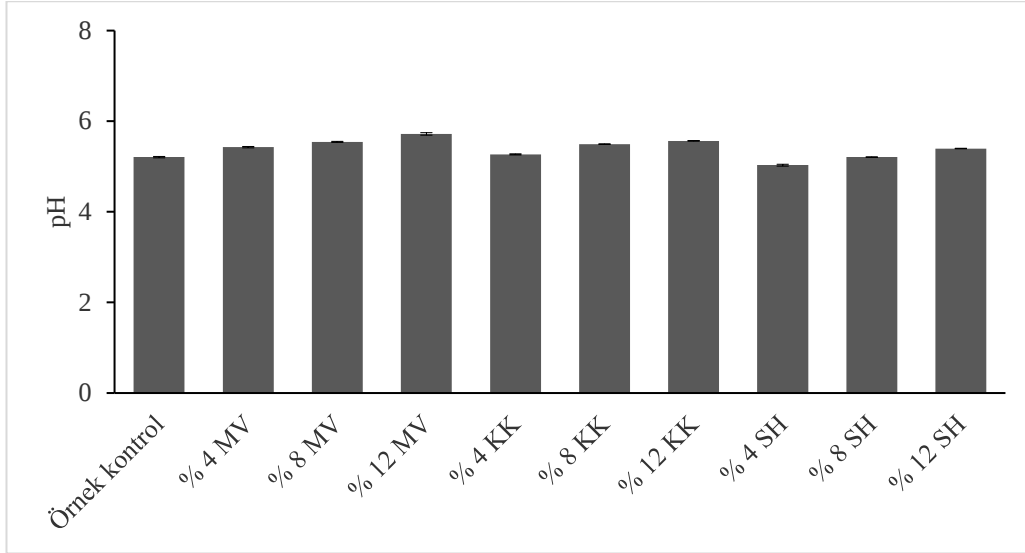
*Aynı sütünde farklı harflerle işaretlenen değerler istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<. 0,01)

Her organik madde gibi gıdalarda yakıldıklarında geride kül denen inorganik bir kalıntı bırakmaktadır. Gıdalar yakıldıktan sonra geride kalan kül miktarı ve bu külün bileşimi gıdalara göre farklılık göstermektedir (Cemeroğlu, 2010). Pancar tozu içermeyen kontrol örneğinde kül miktarının %1.556 olduğu belirlenmiştir. Kırmızı pancar tozu ilave edilerek hazırlanan ekmeklerin kül oranları %1.812 ile %2.495 arasında değişmektedir. Farklı tekniklerle kurutulan pancar tozları eklenerek pişirilen ekmeklerin kül oranları Tablo 4’te verilmiştir. Duncan çoklu karşılaştırma test verilerine göre ekmeğe katılan pancar tozu miktarlarının ekmeğin kül oranını önemli seviyede etkilediği görülmüştür (Tablo 4). Pancar tozu ilave edilmeyen kontrol örneğinde kül miktarı en düşüktür. Diğer örneklerde ise kül miktarının artan pancar tozu oranına bağlı olarak yükseldiği görülmektedir (Ani vd. 2022). Buğday ununun kül oranı (Demir vd. 2011)’e göre % 0.5-0.8 arasındadır. (Gül vd. 2021)’e göre pancar tozunun kül oranı %7.12 düzeyindedir. Taze pancarın kül miktarı 1.82±0.02’dir (Kaur vd. 2022). Bu sonucun ortaya çıkmasında pancar tozunun kül oranının beyaz buğday ununun kül miktarından yüksek olması etkili olmuştur. Nitekim bu çalışmada ekmeklere ilave edilen pancar tozu miktarı kadar kullanılan beyaz un miktarı azaltılmıştır. Örneklerin un ve pancar tozu oranları Tablo 2’de verilmiştir. Farklı tekniklerle kurutulan pancar tozları eklenerek pişirilen ekmeklerin kül miktarları arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmamıştır. Lucky ve diğerleri (2020), Pancar tozunun buğday unundan daha yüksek protein, diyet lifi ve kül içeriğine sahip olduğunu belirtmişler.



Şekil 7. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin kül miktarlarının karşılaştırılması

Pancar tozu içermeyen kontrol örneğinde pH değeri 5.206 olduğu belirlenmiştir. Kırmızı pancar tozu ilave edilerek hazırlanan ekmeklerin pH değerlerinin 5.030 ile 5.720 arasında olduğu belirlenmiştir. Farklı tekniklerle kurutulan pancar tozları eklenerek pişirilen ekmeklerin pH değerleri Tablo 4’te verilmiştir. Duncan çoklu karşılaştırma test verilerine göre ekmeğe katılan pancar tozu miktarlarının ekmeğin pH değerine önemli düzeyde etkisi olduğu belirlenmiştir. Pancar tozu katılmayan kontrol örneği ve %4 pancar tozlu ekmeklerin pH değerleri en düşük düzeyde olmakla birlikte aralarındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir (Tablo 4). Diğer örneklerde pancar tozu oranı artışına bağlı olarak pH değerinde artış meydana gelmiştir. Karataş, (2002)’e göre kırmızı pancarın pH değeri 6.1’dir. Paslı (2015), Kara kavuç, kırmızı pancar, nar ve çileğin ekşi maya ekmeklerinde starter kültür kaynağı olarak değerlendirdiği çalışmasında, kontrol ekşi mayalı ekmeğin pH değeri 5.58, kırmızı pancarın starter olarak kullanıldığı ekşi mayalı ekmeğin pH değeri 5.40 olarak bildirmiştir. Tez çalışmamızda elde edilen pH değerleri literatür ile benzerlik göstermektedir. Kontrol örneğinin pH değerinden yüksek olan pancar bileşeninin ekmek formülasyonuna %8 ve üzeri oranlarda eklenmesi ile pH değerinin arttığı görülmüştür. Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre farklı tekniklerle kurutulan pancar tozları eklenerek pişirilen ekmeklerde en düşük pH değeri sıcak hava ile kurutma yönteminde tespit edilmiştir (Tablo 6). Mikrodalga ve kurutma kabini ile kurutma yöntemlerinin pH değerleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmamaktadır.

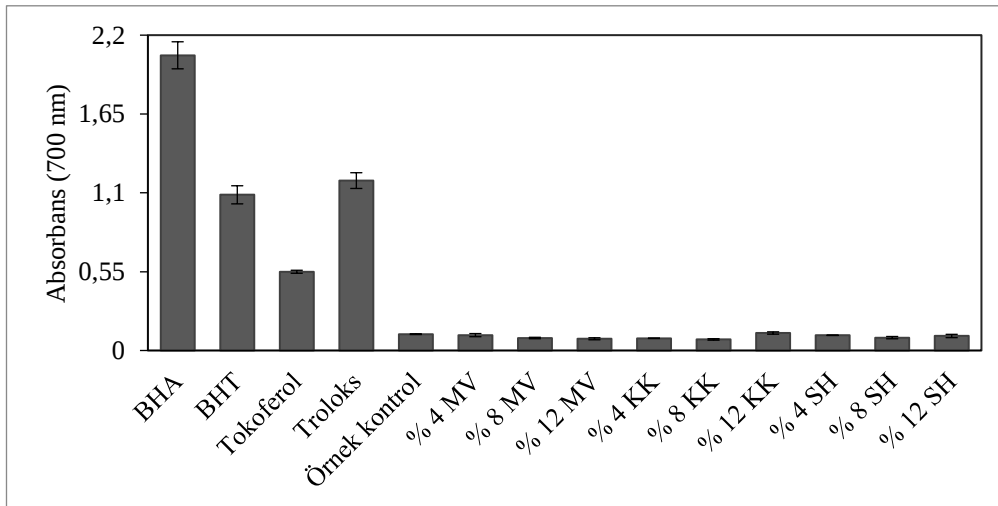


Şekil 8. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin pH değerlerinin karşılaştırılması

4.2. Fe^{3+} - Fe^{2+} İndirgeme Kapasitesi Sonuçları

Kırmızı pancar tozu kullanılarak hazırlanan ekmeklerin etil alkol ekstratlarının Fe^{3+} - Fe^{2+} indirgeme kapasiteleri BHA, BHT, α -tokoferol ve Troloks standart antioksidanları ile karşılaştırılmıştır.

Kırmızı pancar tozu kullanılarak hazırlanan ekmeklerin Fe^{3+} - Fe^{2+} İndirgeme kapasitelerinin karşılaştırılmasında Şekil 9'da görüldüğü gibi ekmek örneklerinin aktivitelerinin BHA, BHT, α -tokoferol ve Troloks standart antioksidanlardan düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 9. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin Fe^{3+} - Fe^{2+} indirgeme kapasitelerinin karşılaştırılması

Kırmızı pancar tozu kullanılarak hazırlanan örnekler ve standartların Fe^{3+} - Fe^{2+} indirgeme kapasitesiteleri BHA > BHT > Troloks > α -tokoferol > ekmek örnekleri sıralamasında aktivite göstermektedirler (Tablo 8). Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre ekmeklere pancar tozu ilavesinin Fe^{3+} - Fe^{2+} indirgeme kapasitesini arttırmadığı görülmüştür (Tablo 7). Ayrıca test sonuçlarına göre farklı tekniklerle kurutulan pancar tozları eklenerek pişirilen ekmeklerde kurutma yönteminin Fe^{3+} - Fe^{2+} indirgeme kapasitesini etkilemediği görülmüştür (Tablo 7). İndirgeme kapasitesi herhangi bir bileşiğin antioksidan aktivitesini belirlemedeki önemli faktörlerden biridir (Meir vd. 1995). Antioksidan bir molekül indirgenebilir fakat her indirgenen molekül antioksidan olmak zorunda değildir. Pro-oksidanları etkili bir şekilde süpüren bir

Tablo 7. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin Fe^{3+} - Fe^{2+} İndirgeme ve Cu^{+2} - Cu^{+} İndirgeme kapasitelerinin pancar tozu oranına göre Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları

Pancar tozu	Fe^{3+} - Fe^{2+} İndirgeme	Cu^{+2} - Cu^{+} İndirgeme
Örnek Kontrol	0.114±0.002 ^a	0.803±0.011 ^a
%4	0.099±0.012 ^b	0.714±0.063 ^b
%8	0.085±0.008 ^b	0.681±0.023 ^b
%12	0.102±0.019 ^b	0.686±0.024 ^b

*Aynı sütünde farklı harflerle işaretlenen değerler istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<. 0.01)

Tablo 8. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin Fe^{3+} - Fe^{2+} İndirgeme ve Cu^{+2} - Cu^{+} İndirgeme kapasitelerinin kurutma yöntemlerine göre Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları

Kurutma yöntemi	Fe^{3+} - Fe^{2+} İndirgeme	Cu^{+2} - Cu^{+} İndirgeme
Mikrodalga	0.092±0.014 ^a	0.728±0.054 ^a
Kurutma kabini	0.095±0.021 ^a	0.686±0.021 ^b
Sıcak Hava Kurutma	0.099±0.010 ^a	0.667±0.017 ^b

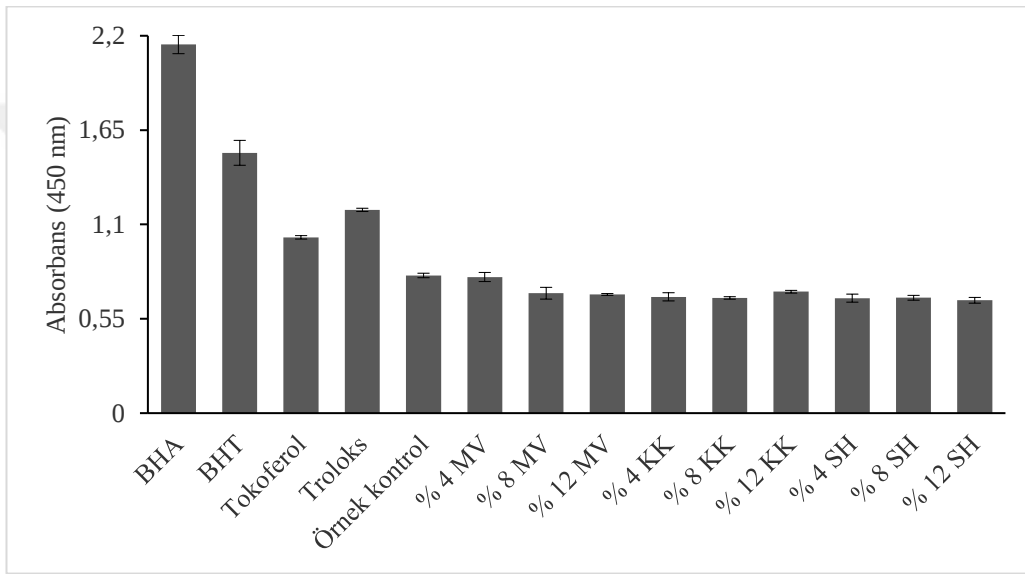
*Aynı sütünde farklı harflerle işaretlenen değerler istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<. 0.01)

4.3. Cu^{+2} - Cu^{+} İndirgeme Kapasitesi Sonuçları

Kırmızı pancar tozu kullanılarak hazırlanan ekmeklerin etil alkol ekstratlarının Cu^{+2} - Cu^{+} indirgeme kapasiteleri BHA, BHT, α -tokoferol ve Troloks standart antioksidanları ile karşılaştırılmıştır.

Kırmızı pancar tozu kullanılarak hazırlanan ekmeklerin Cu^{+2} - Cu^{+} indirgeme kapasitelerinin karşılaştırılmasında Şekil 10'da görüldüğü gibi ekmek örneklerinin aktivitelerinin BHA, BHT, α -tokoferol ve Troloks gibi standart antioksidanlardan düşük olduğu görülmektedir.

Kırmızı pancar tozu kullanılarak hazırlanan örnekler ve standartların Cu^{+2} - Cu^{+} indirgeme kapasiteleri $\text{BHA} > \text{BHT} > \text{Troloks} > \alpha\text{-tokoferol} > \text{ekmek}$ örnekleri sıralamasında aktivite göstermektedirler (Tablo 9). Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre ekmeklere pancar tozu ilavesinin Cu^{+2} - Cu^{+} indirgeme kapasitesini arttırmadığı görülmüştür (Tablo 7). Ayrıca test sonuçlarına göre farklı tekniklerle kurutulan pancar tozları eklenerek pişirilen ekmeklerde kurutma yönteminin Cu^{+2} - Cu^{+} indirgeme kapasitesini etkilediği görülmüştür. Farklı tekniklerle kurutulan pancar tozları eklenerek pişirilen ekmeklerin Cu^{+2} - Cu^{+} indirgeme kapasiteleri karşılaştırıldığında en yüksek değer mikrodalga ile kurutma yönteminde bulunmuştur (Tablo 8).



Şekil 10. Standart antioksidanların ve ekşi mayalı ekmek örneklerinin Cu^{+2} - Cu^{+} indirgeme kapasitelerinin karşılaştırılması

Tablo 9. 20 µg mL⁻¹ konsantrasyonlarında standart antioksidanlar ve ekşi mayalı ekmek örneklerinin Fe³⁺-Fe²⁺ İndirgeme ve Cu⁺²-Cu⁺ İndirgeme kapasitelerinin karşılaştırılması

	Fe ³⁺ -Fe ²⁺ İndirgeme (700nm)	Cu ⁺² -Cu ⁺ İndirgeme (450nm)
BHA	2.059±0.094	2.149±0.053
BHT	1.086±0.063	1.517±0.072
α-tokoferol	0.549±0.010	1.025±0.009
Troloks	1.185±0.054	1.185±0.009
Örnek kontrol	0.113±0.002	0.802±0.013
%4 MV	0.107±0.011	0.793±0.026
%8 MV	0.087±0.004	0.699±0.034
%12 MV	0.081±0.007	0.692±0.005
%4 KK	0.085±0.000	0.678±0.024
%8 KK	0.077±0.005	0.671±0.007
%12 KK	0.122±0.008	0.708±0.007
%4SH	0.106±0.001	0.670±0.023
%8 SH	0.089±0.008	0.672±0.014
%12 SH	0.101±0.011	0.658±0.016

4.4. ABTS Radikal Giderme Aktivite Yöntemine Ait Bulgular

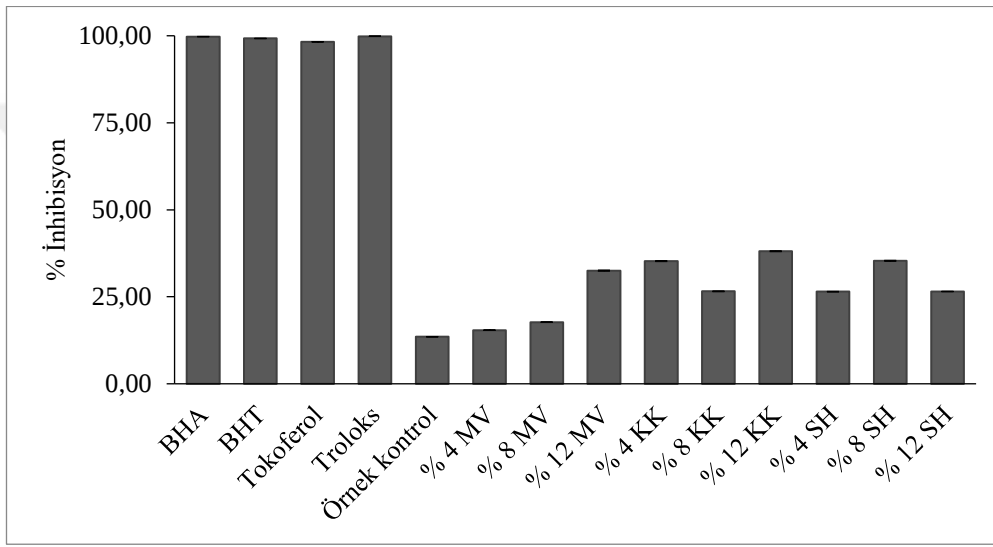
Kırmızı pancar tozu kullanılarak hazırlanan ekmeklerin etil alkol ekstratlarının ABTS serbest radikal giderme aktiviteleri BHA, BHT, α-tokoferol ve Troloks gibi standart antioksidanlarla karşılaştırılmıştır.

Kırmızı pancar tozu kullanılarak hazırlanan ekmeklerin ABTS serbest radikali giderme aktivitelerinin karşılaştırılmasında Şekil 11’de görüldüğü gibi ekmek örneklerinin aktivitelerinin BHA, BHT, α-tokoferol ve Troloks gibi standart antioksidanlardan düşük olduğu görülmektedir.

Kırmızı pancar tozu kullanılarak hazırlanan örnekler ve standartların ABTS serbest radikal giderme aktivitesi BHA > BHT > Troloks > α-tokoferol > ekmek örnekleri sıralamasında aktivite göstermektedirler (Tablo 12).

ABTS⁺, esasen numunede bulunan polifenoller tarafından süpürülen serbest bir radikaldir. Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre ekmeklere pancar tozu ilavesinin ABTS radikali giderme aktivitesini önemli düzeyde etkilediği görülmektedir (Tablo 10). İlave edilen pancar tozu oranındaki artışa bağlı olarak ABTS radikali giderme aktivitesinin arttığı belirlenmiştir. Jaiswa ve ark. (2022) jöle barlarına farklı oranlarda (%0, %2.5, %5 %7.5 ve %10) kırmızı pancar ilave ettikleri çalışmada ticari pektinlerin

ABTS radikali giderme aktivitesini %6.39-13.94 aralığında bulmuşlardır. Pancar oranındaki artışın ABTS radikali giderme aktivitesini yükselttiğini belirlemişlerdir. Tez çalışmamızda elde edilen ABTS radikali giderme aktivitesindeki artış literatür ile benzerlik göstermektedir. Ayrıca test sonuçlarına göre farklı tekniklerle kurutulan pancar tozları eklenerek pişirilen ekmeklerde kurutma yönteminin ABTS radikali giderme aktivitesini etkilemediği görülmüştür (Tablo 11). Tez kapsamında DPPH aktivitesi ile ABTS radikali giderme aktivitesi verileri birbiri ile benzerlik göstermemektedir. ABTS radikallerinin DPPH radikallerinden daha reaktif olması nedeniyle bu farklılığın ortaya çıktığı düşünülmektedir (Topal, 2014).



Şekil 11. Standart antioksidanlar ve ekşi mayalı ekmek örneklerinin ABTS radikali giderme aktivitesinin karşılaştırılması

Tablo 10. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin DPPH ve ABTS radikali giderme aktivitelerinin pancar tozu oranına göre Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları

Pancar Tozu Oranı	DPPH (% İnhibisyon)	ABTS (% İnhibisyon)
Örnek kontrol	2.22±0.62 ^a	13.52±2.87 ^d
%4	1.37±0.55 ^b	25.71±11.85 ^c
%8	1.55±0.78 ^b	26.54±12.18 ^b
%12	1.62±0.83 ^b	32.37±11.87 ^a

*Aynı sütünde farklı harflerle işaretlenen değerler istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<. 0.01)

Tablo 11. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin DPPH ve ABTS radikali giderme aktivitelerinin kurutma yöntemlerine göre Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları

Kurutma yöntemi	DPPH (% İnhibisyon)	ABTS (% İnhibisyon)
Mikrodalga	1.81±0.70 ^a	21.87±12.12 ^a
Kurutma kabini	1.18±0.68 ^a	33.30±12.01 ^a
Sıcak Hava Kurutma	1.55±0.67 ^a	29.45±9.59 ^a

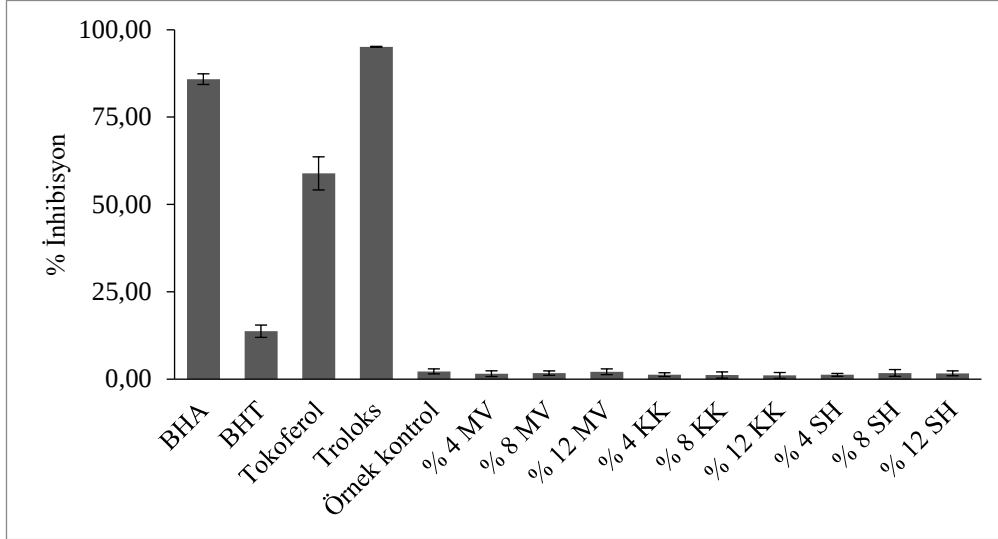
*Aynı sütünde farklı harflerle işaretlenen değerler istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<. 0.01)

4.5. DPPH Serbest Radikal Giderme Aktivitesine Ait Bulgular

Kırmızı pancar tozu kullanılarak hazırlanan ekmeklerin etil alkol ekstratlarının DPPH serbest radikal giderme aktiviteleri BHA, BHT, α - tokoferol ve Troloks standart antioksidanları ile karşılaştırılmıştır.

Kırmızı pancar tozu kullanılarak hazırlanan ekmeklerin DPPH serbest radikali giderme aktivitelerinin karşılaştırılmasında Şekil 11'de görüldüğü gibi ekmek örneklerinin aktivitelerinin BHA, BHT, α - tokoferol ve Troloks gibi standart antioksidanlardan düşük olduğu görülmektedir. Kırmızı pancar tozu kullanılarak hazırlanan örnekler ve standartların DPPH serbest radikal giderme aktivitesi Troloks > BHA > α - tokoferol > BHT > ekmek örnekleri sıralamasında aktivite göstermektedirler (Tablo 12). Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre ekmeklere pancar tozu ilavesinin DPPH serbest radikal giderme aktivitesini arttırmadığı görülmüştür (Tablo 10). Ayrıca test sonuçlarına göre farklı tekniklerle kurutulan pancar tozları eklenerek pişirilen ekmeklerde kurutma yönteminin DPPH serbest radikal giderme aktivitesini etkilemediği görülmüştür (Tablo 11).

Borjan ve diğerlerinin (2022), kırmızı pancar tozunda soxhlet, soğuk, ultrason ve süperkritik sıvı ekstraksiyonu gibi işleme tekniklerinin betalain içeriği ve antioksidan, aktiviteleri üzerindeki etkisini araştırdıkları çalışmada DPPH radikali giderme aktivitesi 5.79-11.40 μ mol/ TE 100g bulmuşlar.

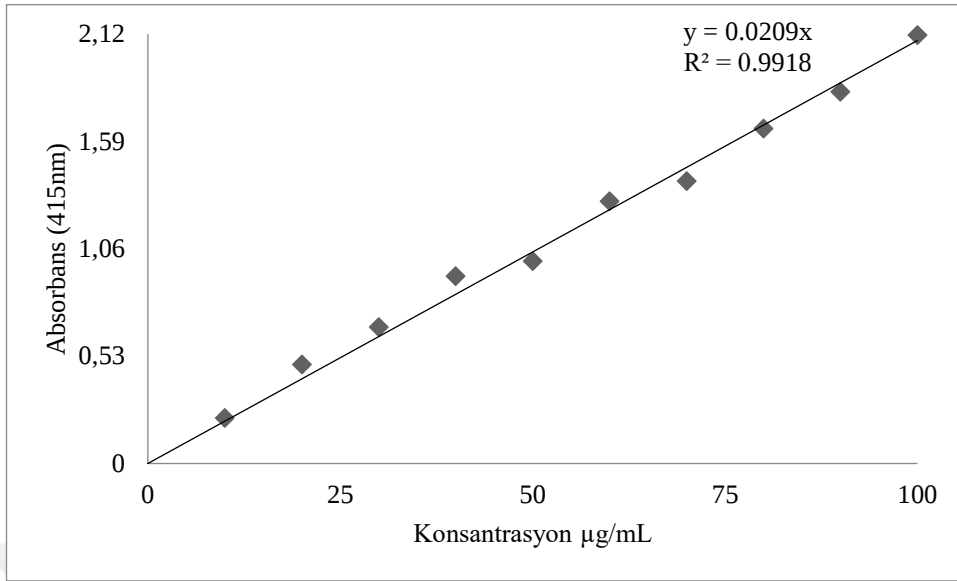


Şekil 12. Standart antioksidanlar ve ekşi mayalı ekmek örneklerinin DPPH radikali giderme aktivitesinin karşılaştırılması

Tablo 12. Standart antioksidanlar ve ekşi mayalı ekmek örneklerinin DPPH ve ABTS radikali giderme aktivitelerinin karşılaştırılması

	DPPH (%)	ABTS (%)
BHA	85.87±1.522	99.76±0.0050
BHT	13.73±1.766	99.22±0.0067
α-tokoferol	58.89±4.742	98.27±0.0156
Troloks	95.14±0.118	99.80±0.005
Örnek Kontrol	2.220±0.719	13.52±0.023
%4 MV	1.575±0.813	15.39±0.019
%8 MV	1.729±0.626	17.69±0.035
%12 MV	2.117±0.820	32.51±0.119
%4 KK	1.290±0.544	35.25±0.099
%8 KK	1.187±0.891	26.57±0.076
%12 KK	1.058±0.853	38.08±0.083
%4SH	1.239±0.409	26.47±0.051
%8 SH	1.729±0.974	35.34±0.101
%12 SH	1.678±0.698	26.52±0.033

4.6. Total Flavonoid Miktarına Ait Bulgular



Şekil 13. Total flavonoid miktarı için hazırlanan standart grafik

Kırmızı pancar tozu kullanılarak hazırlanan ekmeklerin etil alkol ekstralarında bulunan total flavonoid bileşik miktarı için kuersetin standart olarak kullanıldı. Total flavonoid bileşik miktarı kuersetin ekivalen (KE) olarak hesaplanarak (r^2 : 0.9918) Şekil 13'teki standart grafik elde edildi.

$$\text{Absorbans } \lambda_{415} \text{ nm} = 0.0209 \times (\text{KE}), (r^2: 0.9937)$$

Kırmızı pancar tozu kullanılarak hazırlanan ekmeklerin etil alkol ekstralarının total flavonoid bileşik miktarı tayininde %4MV > %12MV > %8MV > %8KK > %12KK > %4KK > %4SH > %12SH > %8SH > Örnek Kontrol sıralamasında değişim göstermiştir (Tablo 15). Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre ekmeklere pancar tozu ilavesinin total flavonoid miktarını önemli düzeyde etkilediği görülmektedir. İlave edilen pancar tozu oranındaki artışa bağlı olarak total flavonoid miktarının arttığı belirlenmiştir (Tablo 13).

Zin ve diğerlerinin, (2022) kırmızı pancarın taç kısmından betasiyanin, fenolik, flavonoid ve antioksidanın sulu ekstraksiyonu üzerine mikrodalga ön işleminin etkilerini inceledikleri çalışmada total flavonoid miktarını 11.31 mg KE/g bulmuşlar. Tez çalışmamızda elde edilen total flavonoid miktarları literatür ile benzerlik göstermektedir. Farklı tekniklerle kurutulan pancar tozları eklenerek pişirilen ekmeklerin total flavonoid miktarları karşılaştırıldığında en yüksek değer mikrodalga ile kurutma yönteminde bulunmuştur (Tablo 14). Kurutma kabini ile kurutma ve sıcak hava ile kurutma yöntemleri arasında önemli düzeyde fark bulunmamıştır.

Tablo 13. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin Total Flavonoid ve Total Fenolik miktarlarının pancar tozu oranına göre Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları

Pancar Tozu Oranı	Total Flavonoid ($\mu\text{g KE/mg}$ ekstre)	Total Fenolik ($\mu\text{g GAE/mg}$ ekstre)
Örnek kontrol	11.79 $\pm$ 3.26 ^b	71.04 $\pm$ 0.31 ^a
%4	22.27 $\pm$ 3.04 ^a	69.86 $\pm$ 19.11 ^a
%8	21.50 $\pm$ 2.49 ^a	64.37 $\pm$ 15.45 ^a
%12	21.45 $\pm$ 3.01 ^a	61.59 $\pm$ 3.83 ^a

*Aynı sütünde farklı harflerle işaretlenen değerler istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<. 0.01)

Tablo 14. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin Total Flavonoid ve Total Fenolik miktarlarının pancar tozuna göre Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları

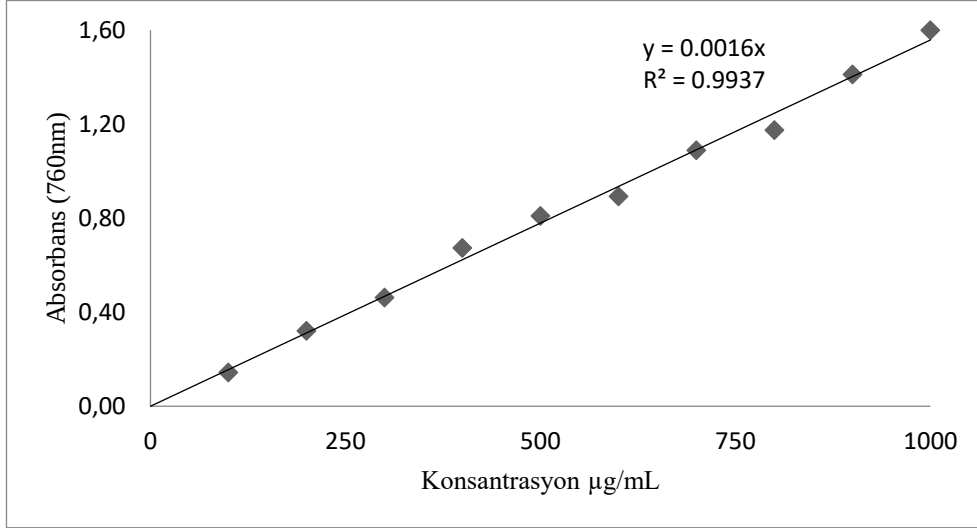
Kurutma yöntemi	Total Flavonoid ($\mu\text{g KE/mg}$ ekstre)	Total Fenolik ($\mu\text{g GAE/mg}$ ekstre)
Mikrodalga	24.74 $\pm$ 1.57 ^a	63.75 $\pm$ 3.56 ^b
Kurutma kabini	20.85 $\pm$ 1.42 ^b	53.61 $\pm$ 5.62 ^c
Sıcak Hava Kurutma	19.63 $\pm$ 2.12 ^b	78.47 $\pm$ 16.21 ^a

*Aynı sütünde farklı harflerle işaretlenen değerler istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<. 0.01)

4.7. Total Fenolik Bileşik Miktarına Ait Bulgular

Etil alkol ekstralarının ($750 \mu\text{g mL}^{-1}$) toplam gallik asit kullanılarak oluşturulan grafik çizilip, çıkarılan denklem yardımıyla total fenolik bileşik miktarı gallik asit ekivalenti (GAE) olarak hesaplandı (r^2 : 0.9937). Bu amaçla hazırlanan standart gallik asit grafiği Şekil 14'te verilmiştir. Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre ekmeklere pancar tozu ilavesinin total fenolik miktarını önemli düzeyde etkilemediği görülmektedir (Tablo 13). Vaitkeviciene ve arkadaşları (2022) pancar genotiplerinin kabuk ve etlerindeki bazı antioksidanlardaki değişimlerini değerlendirdikleri çalışmada total fenolik bileşik miktarını 14.4-36.1 mg/g bulmuşlar. Tez çalışmamızda bulduğumuz değerler ile benzerlik göstermektedir. Farklı tekniklerle kurutulan pancar tozları eklenerek pişirilen ekmeklerin total fenolik miktarları karşılaştırıldığında en yüksek değer sıcak hava ile kurutma yönteminde en düşük değer kurutma kabininde bulunmuştur (Tablo 14). Literatürde toplanan veriler, kırmızı pancardaki total fenolik içeriğinin oldukça değişken olduğunu ve birçok faktörden etkilenebileceğini göstermektedir (Vaitkeviciene vd. 2022).

Fenolik bileşiklerin miktarları, aynı türden bitkiler arasında bile genotip, yetiştirme koşulları, bitkinin gelişme aşaması, olgunluk ve analiz edilen bitki kısmı ve ayrıca hasat öncesi gibi bitkilerin çeşitli yönlerindeki farklılıklar nedeniyle farklılık gösterir (Vaitkeviciene vd. 2022).



Şekil 14. Total fenolik miktarı için hazırlanan standart grafik

Kırmızı pancar tozu kullanılarak hazırlanan ekmeklerin etil alkol ekstralarının total fenolik bileşik miktarını hesaplamak için aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır. Bu eşitliğe göre hesaplanan total fenolik bileşik miktarı Tablo 14'te verilmiştir.

$$\text{Absorbans } \lambda 760 \text{ nm} = 0.0016 \times (\text{GA}), (r^2: 0.9937)$$

Tablo 15. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin (750 µg mL⁻¹) Total Fenolik ve Total Flavonoid miktarlarının karşılaştırılması

Pancar Tozu	Total Fenolik (µg GAE/mg ekstre)	Total flavonoid (µg KE/mg ekstre)
Örnek kontrol	71.04±0.360	11.78±3.768
%4 MV	65.83±1.301	25.77±1.367
%8 MV	59.37±1.082	24.09±0.962
%12 MV	66.04±2.194	24.35±2.156
%4 KK	50.20±0.21	20.62±2.414
%8 KK	49.58±0.721	21.18±1.365
%12 KK	61.04±0.954	20.74±0.406
%4SH	93.54±3.18	20.43±1.333
%8 SH	84.16±0.721	19.21±1.962
%12 SH	57.70±0.360	19.25±3.302

4.8. Betalainler ve Toplam Betalain Miktarlarına Ait Bulgular

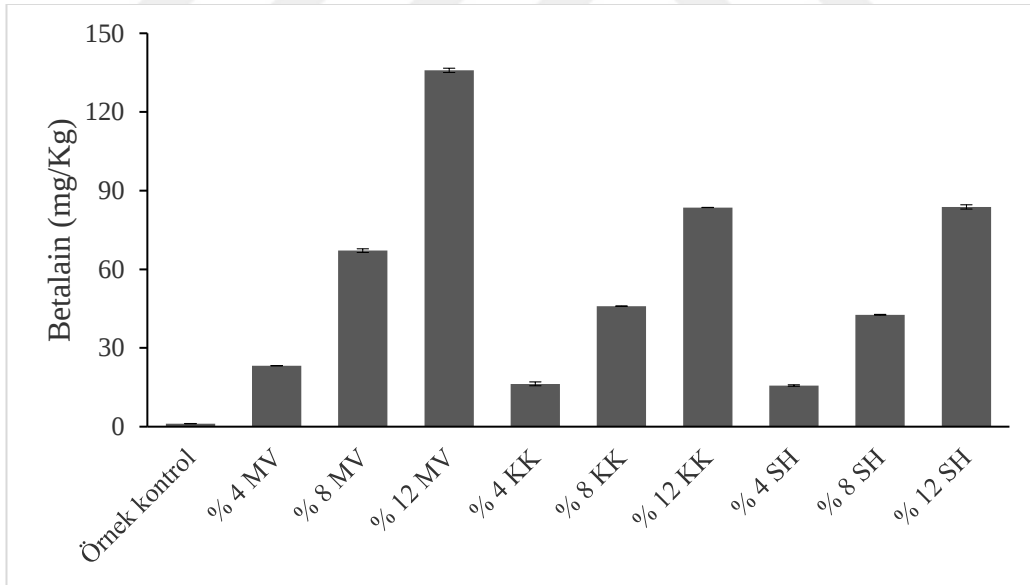
Gıdaların biyoaktif bileşenleri olarak diyet antioksidanlarına büyük ilgi vardır. Önceki çalışmalar, pancar köklerinden elde edilen betalainlerin yüksek antiradikal etkiye ve antioksidan aktiviteye sahip olduğunu bildirmiştir (Cai vd. 2005).

Tablo 16. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin betalain, betaksantin ve toplam betalain miktarlarının karşılaştırılması

Pancar tozu	Betasiyanin mg/kg	Betaksantin mg/kg	Toplam betalain mg/kg
Örnek kontrol	0.870±0.045	0.288±0.032	1.159±0.067
%4 MV	16.91±0.091	6.320±0.064	23.23±0.081
%8 MV	44.94±0.477	22.16±0.224	67.11±0.695
%12 MV	87.67±0.183	48.18±0.641	135.8±0.824
%4 KK	11.82±0.412	4.491±0.320	16.31±0.733
%8 KK	33.45±0.045	12.48±0.096	45.93±0.083
%12 KK	60.86±0.045	22.71±0.096	83.58±0.050
%4 SH	11.93±0.206	3.753±0.064	15.68±0.270
%8 SH	30.8±0.137	11.87±0.288	42.67±0.151
%12 SH	59.4±0.504	24.39±0.298	83.79±0.796

Yapılan analizler sonucunda pancar tozu içermeyen kontrol örneğinde betasiyanin, betaksantin ve toplam betalain miktarları sırasıyla 0.870 mg/kg, 0.288 mg/kg ve 1.159 mg/kg düzeyinde bulunmuştur (Tablo 16). Pancar tozu ilave edilen örneklerde

betasiyanin miktarları 11.82 mg/kg ile 87.67 mg/kg arasındadır. Betaksantin miktarları 3.753 mg/kg ile 48.18 mg/kg arasındadır. Toplam betalain miktarları 15.68 mg/kg ile 135.8 mg/kg aralığındadır. Betalainler ile ilgili değerler Tablo 16’da verilmiştir. Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre ekmeklere ilave edilen pancar tozu oranlarının betasiyanin miktarlarını önemli seviyede etkilediği belirlenmiştir (Tablo 17). Buna göre pancar tozu ilave edilmeyen kontrol örneğinin betasiyanin miktarı diğer örneklerden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ekmekte pancar ilavesinin artmasıyla betasiyanin miktarları artış göstermiştir. Test sonuçlarına göre ekmeklere ilave edilen pancar tozu oranlarının betaksantin miktarlarını önemli seviyede etkilediği görülmüştür (Tablo 17). Buna göre pancar tozu ilave edilmeyen kontrol örneğinin betaksantin miktarı diğer örneklerden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ekmekte pancar ilavesinin artmasıyla betaksantin miktarları artış göstermiştir. Çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre ekmeklere ilave edilen pancar tozu oranlarının toplam betalain miktarlarını önemli seviyede etkilediği belirlenmiştir. Buna göre pancar tozu ilave edilmeyen kontrol örneğinin toplam betalain miktarı diğer örneklerden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ekmekte pancar ilavesinin artmasıyla toplam betalain miktarları artış göstermiştir (Tablo 18).



Şekil 15. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin betalain miktarlarının karşılaştırılması

Farklı tekniklerle kurutulan pancar tozları eklenerek pişirilen ekmeklerin betasiyanin miktarları karşılaştırıldığında en yüksek betasiyanin miktarı mikrodalga kurutma yönteminde bulunmuştur (Tablo 17). Kurutma kabini ve sıcak hava kurutma yöntemleri arasında önemli bir fark olmadığı görülmüştür. Farklı kurutma tekniklerinin betaksantin miktarları karşılaştırıldığında en yüksek betaksantin miktarı mikrodalga

kurutma yönteminde bulunmuştur. Kurutma kabini ve sıcak hava kurutma yöntemleri arasında önemli bir fark bulunmamıştır. Yine toplam betalain miktarları karşılaştırıldığında en yüksek mikrodalga kurutma yönteminde bulunmuştur. Diğer kurutma yöntemleri arasında önemli düzeyde fark bulunmamıştır (Tablo 17).

Ravichandran ve diğerlerinin (2013)'de kırmızı pancarın işlenmesinin betalainler ve antioksidan aktivite üzerinde etkisi olduğunu bildirmişler. Haşlama ve kavurma işlemlerinde betalain içeriğinde azalma olmasına rağmen mikrodalga, kaynatma, kavurma ve vakum işlemlerinde antioksidan ve betalain miktarının arttığını belirtmişler. Tez çalışmamızda ekmeklerdeki pancar tozu miktarı artışı ile toplam betalain miktarlarının arttığı görülmektedir.

Betalainler 50°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda bozulabilir. Başta kırmızı pancar olmak üzere betasiyaninlerin termal bozunması geniş çapta incelendiği çalışmada bunun betasiyanin-sto-betalamik asit ve siklodopa-5-O-glukozit bozunmasına neden olduğu bulunmuştur. Alkali koşullarda betalain sarı betalamik asit ve renksiz siklodopa-5-O-glukozite dönüşebilir (Borjan vd. 2022).

Tablo 17. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin betasiyanin, betaksantin ve toplam betalain miktarlarının pancar tozu oranına göre Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları

Pancar Tozu Oranı	Betasiyanin mg/kg	Betaksantin mg /kg	Toplam betalain mg/kg
Örnek kontrol	0.871±0.039 ^d	0.288±0.02 ^d	1.159±0.06 ^d
%4	13.556±2.53 ^c	4.855±1.15 ^c	18.412±3.647 ^c
%8	36.401±6.51 ^b	15.507±5.017 ^b	51.909±11.49 ^b
%12	69.315±13.79 ^a	31.766±12.34 ^a	101.081±26.09 ^a

*Aynı sütünde farklı harflerle işaretlenen değerler istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<. 0.01)

Tablo 18. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin betasiyanin, betaksantin ve toplam betalain miktarlarının kurutma yöntemlerine göre Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları

Kurutma yöntemi	Betasiyanin mg/kg	Betaksantin mg/kg	Toplam betalain mg/kg
Mikrodalga	49.85±30.86 ^a	25.56±18.31a	75.41±49.17 ^a
Kurutma kabini	35.38±21.28 ^b	13.23±7.91b	48.61±29.20 ^b
Sıcak hava kurutma	34.04±20.70 ^b	13.34±9.01b	47.38±29.70 ^b

*Aynı sütünde farklı harflerle işaretlenen değerler istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<. 0.01)

4.9. Renk Analizine Ait Bulgular

Renk gıdanın tüketici tarafından tercihinde rol oynayan en önemli özelliklerinden biridir. Gıdanın ilk olarak kalite kontrolü rengine bakılarak yapılmaktadır. Renk ve görünüş tüketicide olumlu izlenim bırakmazsa diğer özellikleri (tat, lezzet, vitamin, minarel içeriği) ne kadar iyi olursa olsun tüketici için bir önemi olmamaktadır (Başoğlu, 2011).

Tablo 19. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin L*, a*, b*, hue, kroma ve browning indeks değerleri

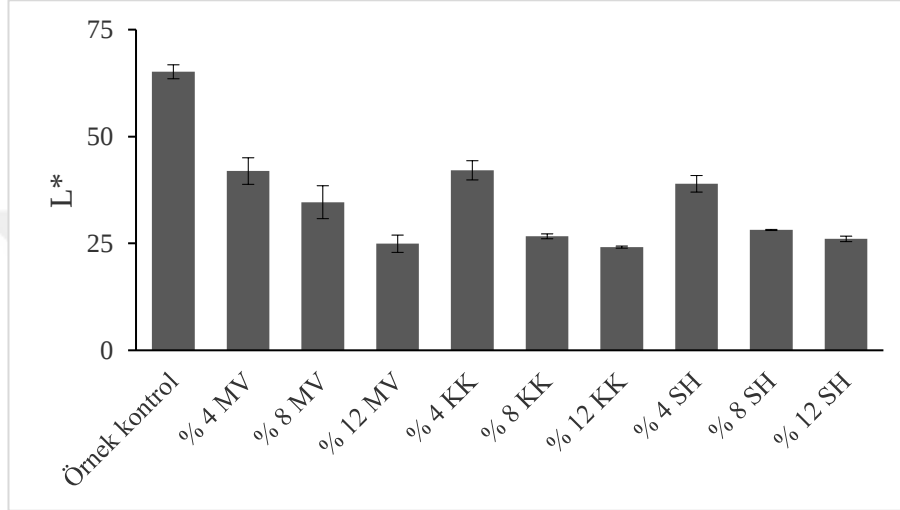
Pancar Tozu	L*	a*	b*	Hue	Kroma	B.I
Örnek K	65.1±1.6	7.19±0.1	10.7±0.4	56.1±1.4	12.9±0.3	25.67±0.7
%4 MV	41.9±3.1	21.5±1.2	29.3±1.1	53.7±2.0	36.4±1.1	147.1±12.2
%8 MV	34.6±3.8	26.2±1.9	31.4±2.8	50.1±2.8	41.0±2.7	222.0±26.6
%12MV	24.9±2.0	28.6±1.4	31.7±0.4	47.9±1.1	42.7±1.2	398.7±54.6
%4 KK	42.1±2.2	16.5±0.1	26.6±1.1	58.1±1.2	31.3±0.9	122.6±3.49
%8 KK	26.6±0.5	14.4±0.8	25.0±0.7	60.1±1.4	28.9±0.8	219.3±7.82
%12 KK	24.1±0.2	10.4±0.5	15.9±0.4	56.8±1.9	19.1±0.2	131.9±4.07
%4 SH	38.9±1.9	16.4±0.8	26.1±0.7	57.7±1.8	30.9±0.5	133.3±5.40
%8 SH	28.1±0.1	17.4±1.3	20.9±2.5	50.0±3.5	27.3±2.2	165.0±25.7
%12 SH	26.0±0.6	27.1±0.8	18.8±2.7	34.7±4.5	33.1±0.9	182.8±19.9

Örneklerin L*, a*, b*, Hue, Kroma ve Browning Index değerleri Tablo 19’da verilmiştir. Pancar tozu içermeyen kontrol örneğinin L* değeri 65.1 , a* değeri 7.19 , b* değeri 10.70, Hue değeri 56.1, kroma değeri 12.89, browning indeks değeri 25.67 dir. Pancar içeren ekmek örneklerinin L* değerleri 24.15 ile 42.08 arasında, a* değerleri 10.42 ile 28.63 arasında, b* değeri 15.99 ile 31.71 arasında, hue değeri 34.72 ile 60.09 arasında, kroma değeri 19.09 ile 42.73 arasında ve browning indeks değeri 122.6 ile 398.7 arasındadır.

Tablo 20. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin L*, a*, b*, hue, kroma ve browning indeks değerlerinin pancar tozu oranına göre Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları

PT	L*	a*	b*	Hue	Kroma	BI
ÖK	65.1±1.6 ^a	7.1±0.1 ^b	10.7±0.3 ^d	56.0±1.2 ^a	12.8±0.2 ^b	25.6±0.61 ^d
%4	40.9±2.6 ^b	18.1±2.6 ^a	27.3±1.7 ^a	56.5±2.6 ^a	32.8±2.8 ^a	134.4±12.6 ^c
%8	29.8±4.1 ^c	19.3±5.4 ^a	25.8±4.9 ^b	53.4±5.6 ^a	32.4±6.7 ^a	202.1±33.7 ^b
%12	25.0±1.3 ^d	22.0±8.8 ^a	22.1±7.3 ^c	46.5±9.9 ^b	31.6±10.3 ^a	237.8±126.1 ^a

*Aynı sütünde farklı harflerle işaretlenen değerler istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<. 0.01)



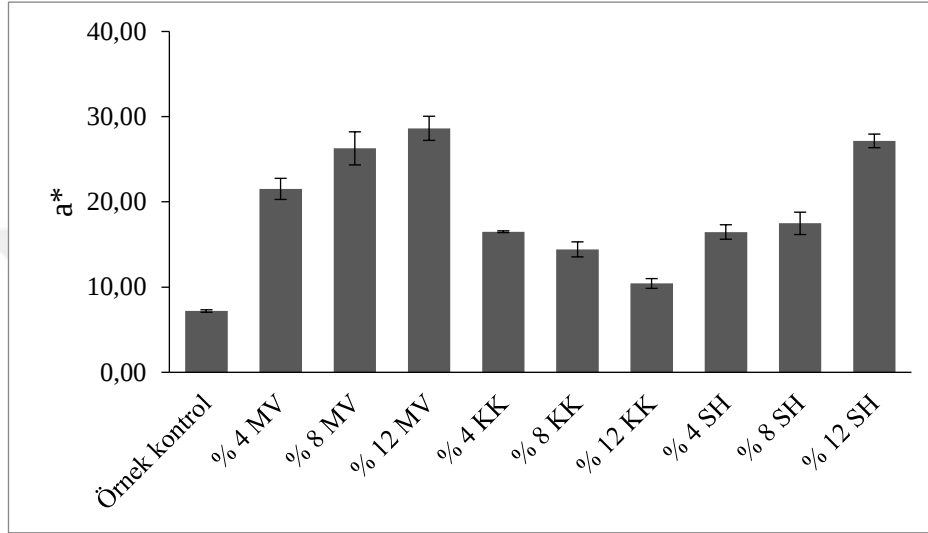
Şekil 16. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin L* değerlerinin karşılaştırılması

Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre ekmeklere ilave edilen pancar tozu oranlarının L* değerini önemli seviyede etkilediği belirlenmiştir. En yüksek L değeri %0 kontrol örneğinde 65.13 ölçüldü. (Şekil 16). Pancar tozu katılmış örneklerde pancar tozu miktarı arttıkça L* değeri azalmaktadır (Tablo 19). Buna göre pancar tozu konsantrasyonu arttıkça ekmek renginin koyulaştığı görülmektedir. Lee ve Ju 2016'nın pancar tozu oranları %0, %2, %4 ve %6 olan hamurların fermentasyon hızına etkisini araştırdıkları çalışmada en yüksek L değerini pancar içermeyen kontrol örneğinde 81.09 ölçmüşler. Aynı çalışmada pancar tozu miktarı arttıkça L* değerinin azaldığını bildirmişler. Tez çalışmamızda elde edilen L* değerleri literatür ile benzerlik göstermektedir. Farklı kurutma tekniklerinin L* değeri üzerinde etkisi karşılaştırıldığında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunamamıştır (Tablo 21).

Tablo 21. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin L*, a*, b*, hue, kroma ve browning indeks değerlerinin kurutma yöntemlerine göre Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları

KY	L*	a*	b*	Hue	Kroma	BI
MV	30.8±7.8 ^a	25.5±3.4 ^a	30.8±1.9 ^a	50.6±3.2 ^b	40.1±3.2 ^a	255.9±116.1 ^a
KK	30.9±8.5 ^a	13.8±2.7 ^c	22.5±5.0 ^b	58.4±1.9 ^a	26.4±5.6 ^b	158.0±46.4 ^b
SH	31.1±6.1 ^a	20.4±5.2 ^b	21.9±3.7 ^b	47.5±10.6 ^b	30.4±2.8 ^b	160.4±27.3 ^b

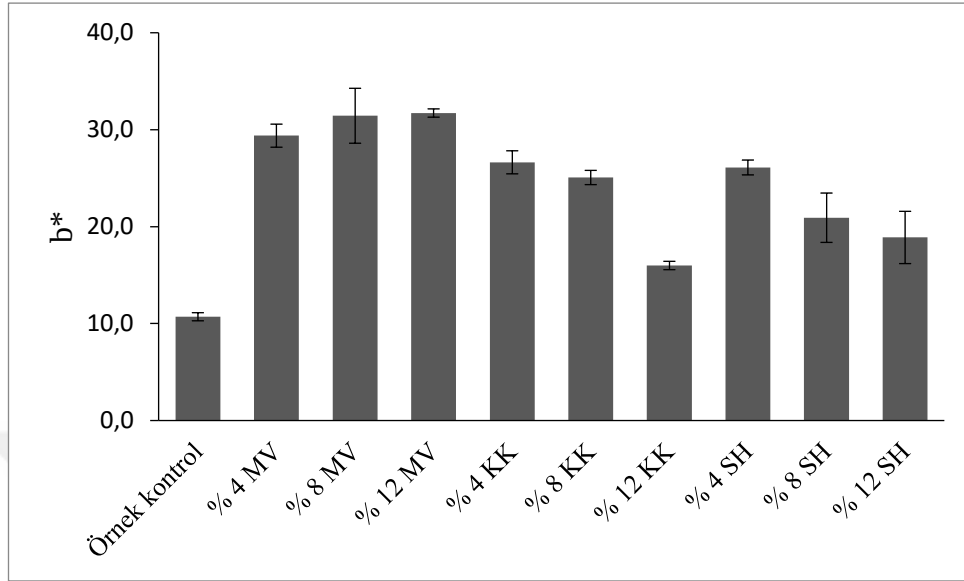
*Aynı sütünde farklı harflerle işaretlenen değerler istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<. 0.01)



Şekil 17. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin a* değerlerinin karşılaştırılması

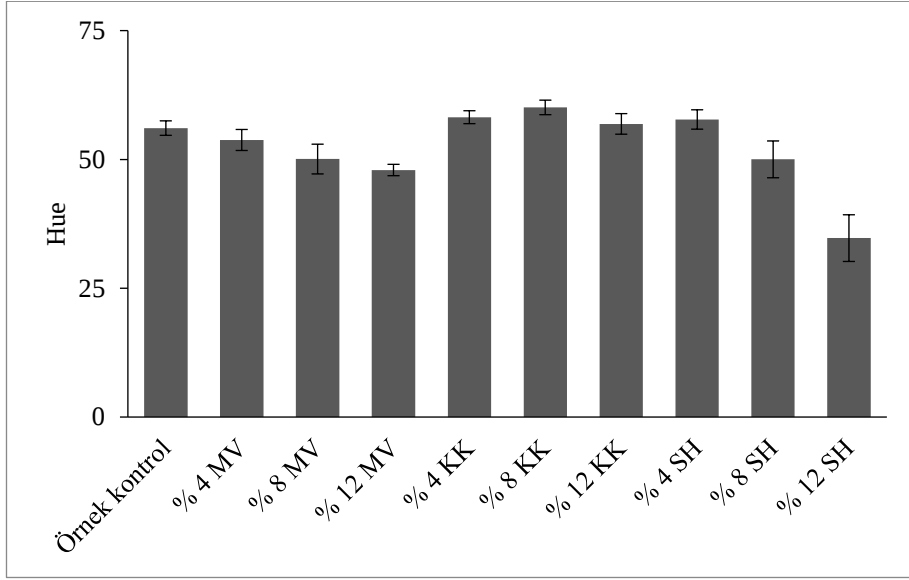
Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre ekmeklere ilave edilen pancar tozu oranlarının a* değerini önemli seviyede etkilediği belirlenmiştir. En düşük a* değeri %0 kontrol örneğinde 7.19 ölçülmüştür (Tablo 19). Buna göre pancar tozu ilave edilen örneklerin a* değerleri pancar tozu ilave edilmeyen kontrol örneğinden yüksek çıkmıştır. Artan pancar tozu konsantrasyonuna bağlı olarak görülen artış istatistiksel olarak önemli seviyede değildir (Tablo 20). Buna göre pancar tozu ilave edilmiş ekmeklerin kontrol örneğine göre daha kırmızı bir renge sahip olduğu görülmüştür. Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre farklı kurutma tekniklerinin a* değerleri üzerinde önemli etkiye sahip olduğu belirlenmiştir (Tablo 21). Mikrodalga kurutma tekniğinde a* değeri 25.48 bulunmuştur. Farklı kurutma teknikleri ile kurutulmuş pancar tozu katkılı ekmek örneklerinde a* değerleri mikrodalga > sıcak hava kurutma > kurutma kabini şeklinde sıralanmıştır (Tablo 21). Mikrodalga ile kurutmanın pancar tozu katılmış örneklerde kırmızı rengin daha yüksek seviyede olmasını sağladığı görülmüştür. Dirim ve diğerlerinin (2019) yaptıkları çalışmada 180-900W arasında mikrodalga ile kuruttukları kırmızı pancar pürelerinde 21 gr ağırlıkta ölçtükleri a* değerlerini 16.63-

20.89 arasında bulmuşlardır. Aynı çalışmada mikrodalga kullanımının a^* değerini arttırdığı belirtilmiştir. Tez çalışmamızda mikrodalga tekniğinden elde edilen a^* değerleri literatür ile benzerlik göstermektedir.



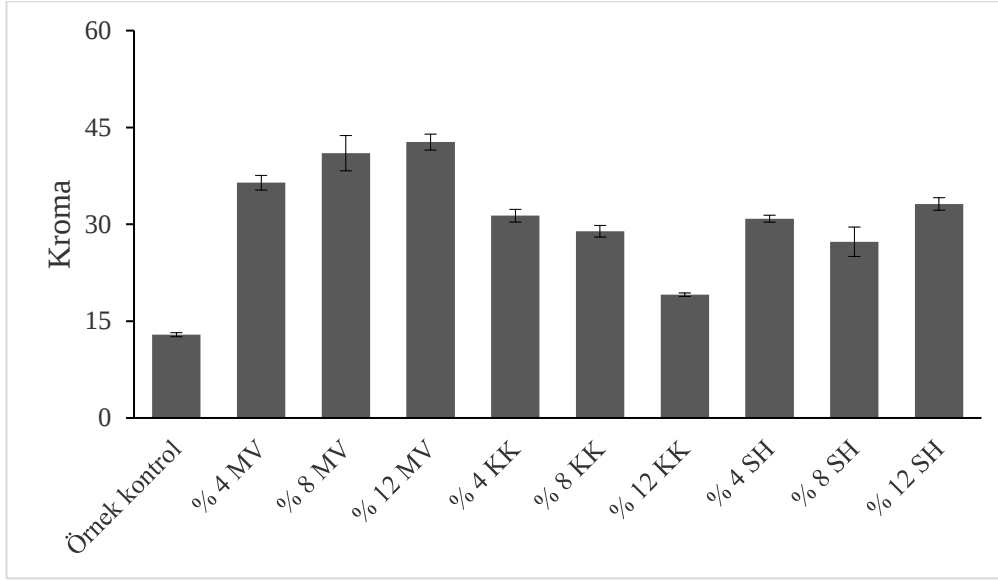
Şekil 18. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin b^* değerlerinin karşılaştırılması

Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre ekmeklere ilave edilen pancar tozu oranlarının b^* değerini önemli seviyede etkilediği görülmüştür (Tablo 19). En düşük b^* değeri kontrol örneğinde 10.7 ölçülmüştür. Örneklerdeki pancar tozu miktarı arttıkça b^* değeri artmıştır. En yüksek b^* değeri %4 pancar tozu içeren örneklerde görülmüştür (Tablo 20). Buna göre pancar tozu ilave edilmiş ekmeklerin kontrol örneğine göre daha kuvvetli bir sarı renk tonuna sahip olduğu anlaşılmaktadır. Lee ve diğerlerinin (2016) Pancar tozu oranları %0, %2, %4 ve %6 olan hamurların fermantasyon hızına etkisini araştırdıkları çalışmada en düşük b^* değerini pancar içermeyen kontrol örneğinde 17.22 ölçmüşler. Örneklerde pancar tozu miktarı arttıkça b^* değerinin arttığını bildirmişler. Tez çalışmamızda elde edilen b^* değerlerindeki artış literatür ile benzerlik göstermektedir. Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre farklı kurutma tekniklerinin b^* değerleri üzerinde önemli etkiye sahip olduğu belirlenmiştir (Tablo 21). Farklı kurutma teknikleri ile kurutulmuş pancar tozu katkılı ekmek örneklerinde b^* değeri en yüksek mikrodalga kurutma yönteminde bulunmuştur. Sıcak hava ile kurutma ve kurutma kabini yöntemleri arasında istatistiksel olarak fark bulunmamıştır. Mikrodalga ile kurutmanın pancar tozu katılmış örneklerde sarı rengin daha iyi korunmasını sağladığı görülmüştür.



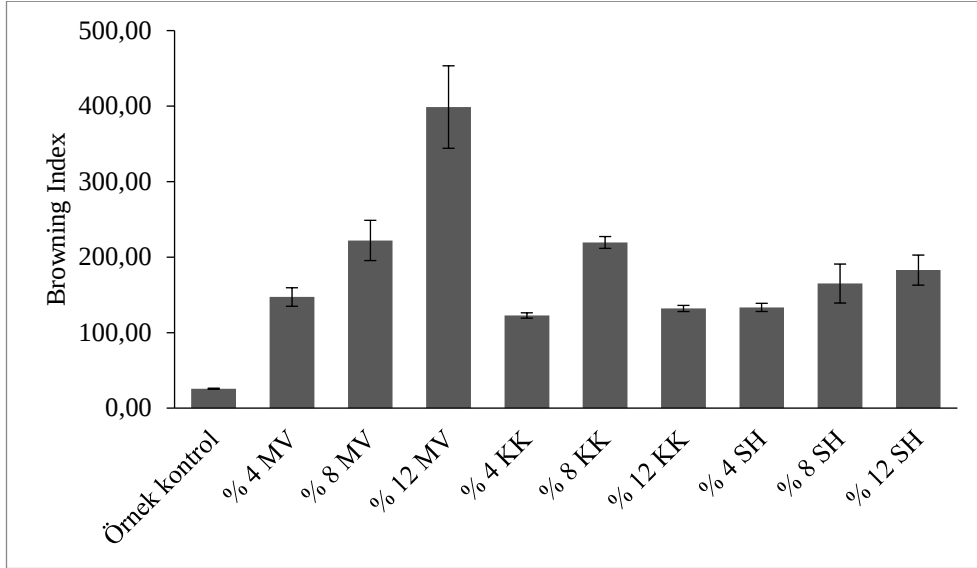
Şekil 19. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin Hue açısı değerlerinin karşılaştırılması

Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre ekmeklere ilave edilen pancar tozu oranlarının Hue değerini (renk açısı) önemli düzeyde etkilemiştir. Buna göre %12 pancar tozu içeren ekmeklerin hue değeri 46.52 ölçülmüştür. %12 pancar tozu içeren örneklerin hue değeri diğer örneklerden daha düşüktür (Tablo 19). Hue skalasına göre %12 pancar tozu oranına sahip ekmeklerin kırmızı renk tonunun daha belirgin olduğu görülmektedir. Hue açısı Şekil 5’te verilmiştir. Kontrol, %4 ve %8 kırmızı pancar tozu içeren ekmeklerin hue değeri arasında önemli bir fark bulunmamıştır. Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre farklı kurutma tekniklerinin hue değerleri üzerinde önemli etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Farklı kurutma teknikleri ile kurutulmuş pancar tozu katkılı ekmek örneklerinde hue değeri en yüksek 58.39 kabin kurutma yönteminde bulunmuştur (Tablo 21). Hue skalasına göre kabin kurutma yöntemi ile kurutulmuş pancar tozu katkılı ekmeklerin sarı renk tonunun daha belirgin olduğu görülmektedir. Sıcak hava ile kurutma ve mikrodalga kurutma yöntemleri arasında istatistiksel olarak fark bulunmamıştır.



Şekil 20. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin Kroma değerlerinin karşılaştırılması

Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre ekmeklere ilave edilen pancar tozu oranlarının kroma değerini önemli seviyede etkilediği belirlenmiştir. Pancar tozu ilave edilen örneklerin kroma değeri pancar tozu ilave edilmeyen kontrol örneğinden yüksek çıkmıştır. Kontrol %0 örneğinin kroma değeri 12.89 ölçülmüştür (Tablo 19). Pancar tozu ilave edilen örneklerin kroma değeri en yüksek 32.88 hesaplanmıştır. Buna göre pancar tozu ilave edilmiş ekmeklerin renk doygunluğunun daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Mikrodalga kurutma tekniğinin kroma değerinin diğer kurutma tekniklerin kroma değerinden yüksek olduğu görülmektedir. Kroma değerleri karşılaştırıldığında mikrodalga ile kurutulmuş pancar tozu katkılı ekmeklerin renk doygunluğunun daha yüksek olduğu görülmektedir (Tablo 20). Dirim ve diğerlerinin (2019) yaptıkları çalışmada 180-900 W arasında mikrodalga ile kuruttukları kırmızı pancar pürelerinde 21 g ağırlıkta ölçtükleri kroma değerleri 16.80-21.90 arasındadır. Aynı çalışmada mikrodalga kullanımı ve pancar miktarı artışının kroma değerini arttırdığını bildirmişlerdir. Tez çalışmamızda mikrodalga tekniğinden elde edilen kroma değeri 40.06'dır (Tablo 21). Literatürde belirtilen değerlerden daha yüksektir. Sıcak hava kurutma ile kurutma kabini yöntemlerinin kroma değerleri arasında istatistiksel olarak fark bulunmamıştır.



Şekil 21. Ekşi mayalı ekmek örneklerinin Browning Index değerlerinin karşılaştırılması.

Browning indeks değeri esmerleşme reaksiyonlarının renge etkisini belirten bir parametredir. Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre ekmeklere ilave edilen pancar tozu oranlarının kahverengileşmeyi önemli seviyede etkilediği belirlenmiştir. Pancar tozu ilave edilmeden hazırlanan kontrol örneğinde BI değeri 25.67 ile en düşük düzeydedir. Artan pancar tozu konsantrasyonuna bağlı olarak BI değerinin arttığı görülmektedir (Şekil 21). Örneklerde kullanılan kırmızı pancar tozunun artışından kaynaklı kırmızılık nedeniyle BI değerinin yüksek çıktığı düşünülmektedir. Farklı kurutma teknikleri ile kurutulmuş pancar tozu katkılı ekmek örneklerinde en yüksek BI değeri mikrodalga kurutma yönteminde 255.98 bulunmuştur (Tablo 20). Maskan, (2001) sıcak hava ve mikrodalga kurutma yöntemini karşılaştırdığı kivi meyvesi üzerindeki renk değişimlerini araştırmıştır. Mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan örneklerin diğer kurutma yöntemleriyle kurutulan ürünlere göre daha fazla kahverengileşme olduğunu bildirmiştir. Tez çalışmamızda mikrodalga tekniğinden elde edilen browning indeks değerindeki artış literatür ile benzerlik göstermektedir. Sıcak hava ile kurutma ve kabin kurutma yöntemleri arasında ise istatistiksel olarak fark bulunmamıştır (Tablo 20).

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Pancar, fenolik bileşikler, flavonoidler, karotenoidler, askorbik asitler, vitaminler, mineraller, nitrat ve en önemlisi ana renklendirici olan betalainler nedeniyle güçlü besleyici özellikleri, sağlığı iyileştiren faaliyetleri ve fonksiyonel değeri olan olağanüstü bir sebzedir.

Pancar tozu üretiminde ön işlem olarak haşlama uygulamasıyla enzim inaktivasyonu sağlanması hedeflenmiştir. Enzim inaktivasyonu ile kırmızı pancarda bulunan renk pigmentlerinin olumlu yönde etkilendiği görülmüştür.

Ekmeğe pancar tozu ilave edilmesi ile toplam mineral madde miktarının arttığı görülmüştür. Pancar tozu ilavesi ekmeğin mineral madde açısından besin değerini zenginleştirmektedir. Pancar tozu ilavesinin ABTS radikali giderme aktivitesini yükselttiği görülmüştür. En yüksek ABTS inhibisyonu %12'lik pancar tozu ilave edilen örneklerde görülmüştür. %12'lik örneklerin ABTS giderme aktiviteleri ortalama % 32.37 düzeyindedir. ABTS inhibisyonunun en yüksek olduğu kurutma yöntemi ortalama %33.30 değeri ile kurutma kabini olmuştur. Pancar tozu ilavesi total flavonoid miktarını arttırmıştır. Total flavonoid miktarının en yüksek olduğu kurutma yöntemi ortalama 24.74 µg KE/mg miktarı ile mikrodalga kurutma yöntemidir. Pancar tozu ilavesi ile ekmek örneklerinde betalain miktarlarını arttırmaktadır. En yüksek betalain miktarına sahip olan örnek, mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulmuş %12'lik pancar tozlu ekmek olmuştur. Toplam betalain miktarının en yüksek olduğu kurutma yöntemi ortalama 75.41 mg/kg miktarı ile mikrodalga kurutma yöntemidir.

Ekmeğe pancar tozu ilave etmek antioksidan yöntemler içerisinde DPPH serbest radikal giderme, Fe^{3+} - Fe^{2+} , Cu^{+2} - Cu^{+} indirgeme kapasitelerini ciddi anlamda etkilememiştir. Diğer bir yöntem olan total fenolik bileşik miktarının düşük olduğu belirlendi. En yüksek L^* değeri 65.13 pancar tozu içermeyen kontrol örneğinde görülmüştür. Pancar tozu oranı arttıkça renk koyulaşmakta L^* değeri azalmaktadır. Pancar tozu ilave edilen örneklerde a^* değeri kontrol örneğinin a^* değerinden yüksektir. Ekmeğe pancar tozu ilave edilmesi ile kırmızı renk kazandırılmıştır. Mikrodalga kurutma tekniği ile elde edilen pancar tozlarının a^* değerleri diğer tekniklere göre daha yüksektir. Pancar tozu üretiminde kırmızı rengi en iyi koruyan kurutma yöntemi mikrodalga olmuştur. En yüksek b^* değeri %4 pancar tozu içeren örneklerde görülmüştür. Mikrodalga ile pancar kurutma yönteminde b^* değerinin en yüksek olduğu görülmüştür. Mikrodalga tekniğinde sarı renk daha iyi korunmuştur. En düşük hue açısı değerleri %12

pancar tozu içeren örneklerde görülmüştür. Pancar tozu oranındaki artışa karşılık renk açısı kırmızıya dönmektedir. Pancar tozu ilave edilen örneklerin renk doygunluğu pancar tozu ilave edilmeyen kontrol örneğine göre daha yüksektir. Renk doygunluğu değerlerinde en yüksek ortalamaya sahip kurutma tekniği mikrodalgadır.

Pancar tozu üretiminde kurutma işleminin mikrodalga fırında yapılması ile antioksidan aktivitede ve renk ölçümlerinde diğer kurutma yöntemlerine göre daha üstün olduğu görüşmüştür.

Sonuç olarak, pancarın ekmek üretimine dahil edilmesinin ekmeğin genel besinsel niteliklerini iyileştirdiğini ortaya koydu. Pancar oranının artmasıyla ekmeğin besin kalitesinin artması, pancar tozunun buğday ununa göre daha az karbohidrat daha fazla protein, kül ve lif içermesiyle açıklanabilir. Bu nedenle, ekmeğe pancar tozu eklenmesi, ekmeğin genel besin değerini iyileştirmektedir. Pancar ekmeğinin artan lif ve azaltılmış karbohidrat içeriği, onu obezite ve diyabet yönetimi için daha iyi bir seçenek haline getirmektedir.

Pancardan üretilen ekmek, içerdiği maddeler nedeniyle şeker hastaları tarafından kilo kontrolü ve kalp-damar hastalıklarının önlenmesi için kullanılabilir. Renkli görünüm, onu çocuklar için çekici hale getirebilir. Besin değerlerinin artması nedeniyle sağlıklı beslenen bireyler tarafından da tüketilebilirler.

Daha sağlıklı ve besleyici hale getirmek için buğday ekmeğine pancar tozu eklemek, unlu mamullerdeki lif, demir, kalsiyum, fosfor ve antioksidan eksikliğini telafi etmeye yardımcı olabilir.

Ekmek ülkemizde hem genç hem de yaşlılar tarafından diyetin bir parçası ve atıştırmalık olarak tüketilmektedir. Bu nedenle, çeşitli tatlar ve besinler içeren ekmek, günlük diyetimizin temeli olmaya devam etmektedir. Bu nedenle buğday unu ve pancar tozu kullanılarak yapılan ekmek ile yeni bir ürünün geliştirilmesine yardımcı olacağı gibi, tüketiciler için mevcut ekmek çeşitleri genişletilebilir. Kırmızı pancarın ekmek gibi temel bir gıdaya dahil edilmesi ile pancar tüketiminin artması sağlanabilir.

KAYNAKÇA

- Ak, T. ve Gülçin, İ. (2008). Antioxidant and radical scavenging properties of curcumin. *Chemico-Biological Interactions*, 174(1), 27-37.
- Akgün, F. B. (2007). *Ekşi hamur tozu eldesi ve ekmek üretiminde kullanılabilme olanakları*, Yüksek lisans tezi, Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (179460).
- Amarowicz, R., Karamać, M. ve Shahidi, F. (1999). Synergistic activity of capelin protein hydrolysates with synthetic antioxidants in a model system. *Journal of Food Lipids*, 6(4), 271-275.
- Amarowicz, R., Naczek, M. ve Shahidi, F. (2000). Antioxidant activity of crude tannins of canola and rapeseed hulls. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 77(9), 957.
- Ani, I. F., Adetola, A. B., Alfa, T., Ajuzie, N. C., Ibagere, O. F., Akinlade, A. R. . . . Omotoye, A. A. (2022). Quality assessment of bread made from whole wheat flour and beetroot powder. *Journal of Dietitians Association of Nigeria*, 18(1), 11-16.
- Anonim, (2013). Konserve analizleri-2 Gıda Teknolojisi [PDF Belgesi], 15 Ocak 2023 tarihinde, [http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Konserve Analizleri.pdf](http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Konserve_Analizleri.pdf) adresinden erişildi.
- Antolovich, M., Prenzler, P. D., Patsalides, E., McDonald, S. ve Robards, K. (2002). Methods for testing antioxidant activity. *Analyst*, 127(1), 183-198.
- Apak, R., Calokerinos, A., Gorinstein, S., Segundo, M. A., Hibbert, D. B., Gülçin, İ. . . . Arancibia-Avila, P. (2022). Methods to evaluate the scavenging activity of antioxidants toward reactive oxygen and nitrogen species (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 94(1), 87-144.
- Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M., Esin Karademir, S. ve Erçağ, E. (2006). The cupric ion reducing antioxidant capacity and polyphenolic content of some herbal teas. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 57(5-6), 292-304.
- Attoe, E. L. ve Von Elbe, J. H. (1982). Degradation kinetics of betanin in solutions as influenced by oxygen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 30(4), 708-712.
- Aykın-Dinçer, E., Güngör, K. K., Çağlar, E. ve Erbaş, M. (2021). The use of beetroot extract and extract powder in sausages as natural food colorant. *International Journal of Food Engineering*, 17(1), 75-82.
- Azeredo, H. M. (2009). Betalains: properties, sources, applications, and stability—a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(12), 2365-2376.

- Bangar, S. P., Sharma, N., Sanwal, N., Lorenzo, J. M. ve Sahu, J. K. (2022). Bioactive potential of beetroot (*Beta vulgaris*). *Food Research International*, 111-556.
- Bastos, E. L. ve Schliemann, W. (2022). *Betalains as antioxidants*. (Der.), In Plant Antioxidants and Health içinde (51-93s). Cham: Springer.
- Başıoğlu, F., (2011). *Gıda kalite kontrolünün esasları ve gıda güvenliği yönetim sistemleri*. Dora Yayınları.
- Bimpilas, A., Tsimogiannis, D., Balta-Brouma, K., Lymperopoulou, T. ve Oreopoulou, V. (2015). Evolution of phenolic compounds and metal content of wine during alcoholic fermentation and storage. *Food Chemistry*, 178, 164-171.
- Blois, M. S. (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, 181(4617), 1199-1200.
- Borjan, D., Šeregelj, V., Andrejč, D. C., Pezo, L., Šaponjac, V. T., Knez, Ž. . . . Marevci, M. K. (2022). Green techniques for preparation of red beetroot extracts with enhanced biological potential. *Antioxidants*, 11(5), 805.
- Cai, Y. ve Corke, H. (1999). Amaranthus betacyanin pigments applied in model food systems. *Journal of Food Science*, 64(5), 869-873.
- Cai, Y., Sun, M. ve Corke, H. (1998). Colorant properties and stability of Amaranthus betacyanin pigments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(11), 4491-4495.
- Cai, Y. Z., Sun, M. ve Corke, H. (2005). Characterization and application of betalain pigments from plants of the Amaranthaceae. *Trends in Food Science and Technology*, 16(9), 370-376.
- Cardoso-Ugarte, G. A., Sosa-Morales, M. E., Ballard, T., Liceaga, A. ve San Martín-González, M. F. (2014). Microwave-assisted extraction of betalains from red beet (*Beta vulgaris*). *LWT-Food Science and Technology*, 59(1), 276-282.
- Castro-Enríquez, D. D., Montañó-Leyva, B., Toro-Sánchez, D., Juaréz-Onofre, J. E., Carvajal-Millan, E., Burrueal-Ibarra, S. E. . . . Rodríguez-Félix, F. (2020). Stabilization of betalains by encapsulation-a review. *Journal of Food Science and Technology*, 57(5), 1587-1600.
- Cauvain, S. P. ve Young, L. S. (2011). The stability and shelf life of bread and other bakery products. In *Food and Beverage Stability and Shelf Life* (ss. 657-682). Woodhead Publishing.
- Cemeroğlu, B. S. (2007). *Gıda analizleri*. Bizim Büro Basımevi.
- Cemeroğlu, B. ve Özkan, M. (2004). *Kurutma teknolojisi*, Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, Başkent Klişe Matbaacılık.

- Cemeroğlu, B., Yemenicioğlu, A. ve Özkan, M. (2001). Meyve ve sebzelerin bileşimi soğukta depolanmaları. *Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları*, 24(3), 21-25.
- Christinet, L., Burdet, F. X., Zaiko, M., Hinz, U. ve Zrýd, J. P. (2004). Characterization and functional identification of a novel plant 4, 5-extradiol dioxygenase involved in betalain pigment biosynthesis in *Portulaca grandiflora*. *Plant Physiology*, 134(1), 265-274.
- 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.
- Czapski, J. (1985). The effect of heating conditions on losses and regeneration of betacyanins. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*, 180(1), 21-25.
- Demir, M. K., Elgün, A. ve Elgün, S. M. (2011). Farklı tip unlara ozon uygulamasının, un, hamur ve ekmek kalitesi üzerine etkisi. *Gıda*, 36(4), 209-216.
- Deshmukh, G. P., Inka, P., Sindhav, R. ve Jose, N. (2010). Application of beetroot as natural coloring pigment and functional ingredient in dairy and food products. *Int J Curr Microbiol Appl Sci*, 7, 16-35.
- Dirim, S. N., Talih, M. ve Koç, G. Ç. (2019). Drying characteristics of red beet (*Beta vulgaris esculentacruenta*) puree in a microwave oven. *Gıda*, 44(4), 654-671.
- Downham, A. ve Collins, P. (2000). Colouring our foods in the last and next millennium. *International Journal of Food Science & Technology*, 35(1), 5-22.
- Duqueyroix, A., Ait Aider-Kaci, F. ve Aider, M. (2022). Impact of the anodic and cathodic electro-activation treatment on the physico-chemical and antioxidant capacity of red beetroot juice. *ACS omega*, 42(2),4-25.
- Dziki, D., Różyło, R., Gawlik-Dziki, U. ve Świeca, M. (2014). Current trends in the enhancement of antioxidant activity of wheat bread by the addition of plant materials rich in phenolic compounds. *Trends in Food Science and Technology*, 40(1), 48-61.
- El-Beltagi, H. S., El-Mogy, M. M., Parmar, A., Mansour, A. T., Shalaby, T. A. ve Ali, M. R. (2022). Phytochemical characterization and utilization of dried red beetroot (*Beta vulgaris*) peel extract in maintaining the quality of Nile Tilapia fish fillet. *Antioxidants*, 11(5), 906.
- Gänzle, M. G. (2014). Enzymatic and bacterial conversions during sourdough fermentation. *Food Microbiology*, 37, 2-10.
- Georgiev, V. G., Weber, J., Kneschke, E. M., Denev, P. N., Bley, T. ve 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.
- Grotewold, E. (2006). The genetics and biochemistry of floral pigments. *Annual Review of Plant Biology*, 57(1), 761-780.
- Gül, H., Hayıt, F., Özer, B. ve Acun, S., (2021). Kırmızı pancarunun glutensiz bisküvi üretiminde kullanılması. *Mühendislik Bilimleri Ve Tasarım Dergisi*, 9(4), 1166-1173.
- Gülçin, I. (2008). Measurement of antioxidant ability of melatonin and serotonin by the DMPD and CUPRAC methods as trolox equivalent. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 23(6), 871-876.
- Gülçin, İ. (2009). Antioxidant activity of l-adrenaline: A structure–activity insight. *Chemico-Biological Interactions*, 179(2-3), 71-80.
- Gülçin, I. (2012). Antioxidant activity of food constituents: an overview. *Archives of Toxicology*, 86(3), 345-391.
- Gülçin, İ., Elias, R., Gepdiremen, A., Chea, A. ve Topal, F. (2010a). Antioxidant activity of bisbenzylisoquinoline alkaloids from *Stephania rotunda*: cepharanthine and fangchinoline. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 25(1), 44-53.
- Gülçin, I., Kirecci, E., Akkemik, E., Topal, F. ve Hisar, O. (2010b). Antioxidant, antibacterial, and anticandidal activities of an aquatic plant: duckweed (*Lemna minor* L. Lemnaceae). *Turkish Journal of Biology*, 34(2), 175-188.
- Gülçin, İ., Şat, İ. G., Beydemir, Ş., Elmastaş, M. ve Küfrevioğlu, Ö. İ. (2004). Comparison of antioxidant activity of clove (*Eugenia caryophyllata* Thunb) buds and lavender (*Lavandula stoechas* L.). *Food Chemistry*, 87(3), 393-400.
- Gülçin, I., Topal, F., Çakmakçı, R., Bilsel, M., Gören, A. C. ve Erdogan, U. (2011a). Pomological features, nutritional quality, polyphenol content analysis, and antioxidant properties of domesticated and 3 wild ecotype forms of raspberries (*Rubus idaeus* L.). *Journal of Food Science*, 76(4), 585-593.
- Gülçin, İ., Topal, F., Sarıkaya, S. B. Ö., Bursal, E., Bilsel, G. ve Gören, A. C. (2011b). Polyphenol contents and antioxidant properties of medlar (*mespilus germanica* l.) *Records of Natural Products*, 5(3), 158.
- Herbach, K. M., Stintzing, F. C. ve Carle, R. (2006). Betalain stability and degradation structural and chromatic aspects. *Journal of Food Science*, 71(4), 41-50.
- Hoseney, R. C. ve Rogers, D. E. (1990). The formation and properties of wheat flour doughs. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 29(2), 73-93.

- Huys, G., Daniel, H. M. ve Vuyst, L. D. (2013). *Taxonomy and biodiversity of sourdough yeasts and lactic acid bacteria*. (Der.), In Handbook on Sourdough Biotechnology içinde (ss. 105-154). Boston, Springer.
- Ingle, M., Thorat, S. S., Kotecha, P. M. ve Nimbalkar, C. A. (2017). Nutritional assessment of beetroot (*Beta vulgaris* L.) powder cookies. *Asian Journal of Dairy & Food Research*, 36(3) 45.
- Jain, G. ve Gould, K. S. (2015). Are betalain pigments the functional homologues of anthocyanins in plants. *Environmental and Experimental Botany*, 119, 48-53.
- Jaiswal, S., Dhillon, B., Sodhi, N. S. ve Sogi, D. S. (2022). Physico-chemical, antioxidant, textural and sensory analyses of jelly bars formulated with the incorporation of beetroot extract and guava pectin. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 1-10.
- Jurić, S., Jurić, M., Król-Kilińska, Ż., Vlahoviček-Kahlina, K., Vinceković, M., Dragović-Uzelac, V. . . . Donsi, F. (2020). Sources, stability, encapsulation and application of natural pigments in foods. *Food Reviews International*, 1-56.
- Kaimainen, M., Laaksonen, O., Järvenpää, E., Sandell, M. ve Huopalahti, R. (2015). Consumer acceptance and stability of spray dried betanin in model juices. *Food Chemistry*, 187, 398-406.
- Kanner, J., Harel, S. ve Granit, R. (2001). Betalains a new class of dietary cationized antioxidants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(11), 5178-5185.
- Karataş, D. (2022). *Kırmızı pancar (Beta vulgaris L.) 'dan sirke üretimi ve kırmızı pancar sirkelerinin bazı fizikokimyasal ve duyuşsal özellikleri*. Yüksek lisans tezi, Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (742652).
- Kartal, A. S. K. (2011). *Mikrodalga ve kuru hava yardımıyla kurutma yöntemlerinin meyve pestillerinin kuruma sürelerine etkisinin incelenmesi*, Doktora tezi, Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (310670).
- Kaur, S., Kaur, N., Aggarwal, P. ve Grover, K. (2022). Sensory attributes, bioactive compounds, antioxidant activity and color values of jam and candy developed from Beetroot (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Applied and Natural Science*, 14(2), 459-468.
- Kavitkar, R. S., Rao, K. J., Mishra, D., Chavhan, B., Deshmukh, G. P. ve Prajapati, R. (2017). Utilization of beetroot extract as colouring agent in lassi. *International Journal of Pure and Applied Biosciences*, 5(6), 295-299.
- Keleş, F. (1983). *Meyve ve sebze işleme teknolojisi laboratuvar notları*, Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Erzurum.

- Khan, M. I. ve Giridhar, P. (2015). Plant betalains: Chemistry and biochemistry. *Phytochemistry*, 117, 267-295.
- Khazaei, K. M., Jafari, S. M., Ghorbani, M. ve Kakhki, A. H. (2014). Application of maltodextrin and gum Arabic in microencapsulation of saffron petal's anthocyanins and evaluating their storage stability and color. *Carbohydrate Polymers*, 105, 57-62.
- Kidoń, M. ve Czapski, J. (2007). Wpływ obróbki termicznej na zawartość barwników betalainowych i zdolność przeciwutleniającą buraka ćwikłowego. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 1(50), 124-131.
- Koca, N., Burdurlu, H. S. ve Karadeniz, F. (2007). Kinetics of colour changes in dehydrated carrots. *Journal of Food Engineering*, 78(2), 449-455.
- Koul, V. K., Jain, M. P., Koul, S., Sharma, V. K., Tikoo, C. L. ve Jain, S. M. (2002). Spray drying of beet root juice using different carriers. *Indian Journal of Chemical Technology*. 14(1), 442-445.
- Köksal, E. ve Gülçin, İ. (2008). Antioxidant activity of cauliflower (*Brassica oleracea* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32(1), 65-78.
- Lazăr, S., Constantin, O. E., Horincar, G., Andronoiu, D. G., Stănciuc, N., Muresan, C. . . Răpeanu, G. (2022). Beetroot by-product as a functional ingredient for obtaining value-added mayonnaise. *Processes*, 10(2), 227.
- Lee, E. J. ve Ju, H. W. (2016). Quality characteristics of bread added with beet powder. *Journal of the East Asian Society of Dietary Life*, 26(1), 55-62.
- Lucky, A. R., Al-Mamun, A., Hosen, A., Toma, M. A. ve Mazumder, M. A. R. (2020). Nutritional and sensory quality assessment of plain cake enriched with beetroot powder. *Food Research*, 4(6), 2049-2053.
- Mammadov, R. (2014). *Tohumlu bitkilerde sekonder metabolitler*. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Maskan, M. (2001). Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48(2), 169-175.
- Meir, S., Kanner, J., Akiri, B. ve Philosoph-Hadas, S. (1995). Determination and involvement of aqueous reducing compounds in oxidative defense systems of various senescing leaves. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(7), 1813-1819.
- Mella, C., Vega-Gálvez, A., Uribe, E., Pasten, A., Mejias, N. ve Quispe-Fuentes, I. (2022). Impact of vacuum drying on drying characteristics and functional properties of beetroot (*Beta vulgaris*). *Applied Food Research*, 2(1), 100120.

- Meral, R. ve Doğan, İ. S. (2012). Karadut (*Morus nigra*) katkılı ekmeğin antioksidan aktivitesi ve fenolik kompozisyonu. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 2(4), 43-48.
- Minervini, F., De Angelis, M., Di Cagno, R. ve Gobbetti, M. (2014). Ecological parameters influencing microbial diversity and stability of traditional sourdough. *International Journal of Food Microbiology*, 171, 136-146.
- Mudgal, D. (2022). Nutritional composition and value added products of beetroot: A review. *Journal of Current Research in Food Science*, 3(1), 01-09.
- Nemzer, B., Pietrzkowski, Z., Spórna, A., Stalica, P., Thresher, W., Michałowski, T. . . . Wybraniec, S. (2011). Betalainic and nutritional profiles of pigment-enriched red beet root (*Beta vulgaris* L.) dried extracts. *Food Chemistry*, 127(1), 42-53.
- O'Connor, A. (2012). An overview of the role of bread in the UK diet. *Nutrition Bulletin*, 37(3), 193-212.
- Okarter, N., Liu, C. S., Sorrells, M. E. ve Liu, R. H. (2010). Phytochemical content and antioxidant activity of six diverse varieties of whole wheat. *Food Chemistry*, 119(1), 249-257.
- Oyaizu, M. (1986). Studies on products of browning reaction antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. *The Japanese Journal of Nutrition and Dietetics*, 44(6), 307-315.
- Park, Y. K., Koo, M. H., Ikegaki, M. ve Contado, J. O. S. E. (1997). Comparison of the flavonoid aglycone contents of *Apis mellifera* propolis from various regions of Brazil. *Biology Tecnology*, 97-106.
- Paslı, A. A. (2015). Kara havuç, kırmızı pancar, nar ve çileğin ekşi maya ekmeklerinde starter kültür kaynağı olarak değerlendirilmesi, Doktora tezi, Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (398058).
- Pavlov, A., Kovatcheva, P., Georgiev, V., Koleva, I. ve Ilieva, M. (2002). Biosynthesis and radical scavenging activity of betalains during the cultivation of red beet (*Beta vulgaris*) hairy root cultures. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 57(7-8), 640-644.
- Pedreño, M. A. ve Escribano, J. (2001). Correlation between antiradical activity and stability of betanine from *Beta vulgaris* L roots under different pH, temperature and light conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(7), 627-631.
- Petit-Paly, G., Andreu, F., Chénieux, J. C. ve Rideau, M. (1994). *Phytolacca americana* L.(pokeweed): In vitro production of betacyanins and medicinal compounds. (Der.), In Medicinal and Aromatic Plants VII içinde (ss. 366-385). Berlin, Heidelberg, Springer.

- Podsędek, A. (2007). Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: A review. *LWT-Food Science and Technology*, 40(1), 1-11.
- Polturak, G. ve Aharoni, A. (2018). “La Vie en Rose”: Biosynthesis, sources, and applications of betalain pigments. *Molecular Plant*, 11(1), 7-22.
- Punia Bangar, S., Singh, A., Chaudhary, V., Sharma, N. ve Lorenzo, J. M. (2022). Beetroot as a novel ingredient for its versatile food applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-25.
- Raczyk, M., Kruszewski, B. ve Zachariasz, E. (2022). Effect of tomato, beetroot and carrot juice addition on physicochemical, antioxidant and texture properties of wheat bread. *Antioxidants*, 11(11), 2178.
- Ramirez-Melo, L. M., Socorro Cruz-Cansino, N., Delgado-Olivares, L., Ramirez-Moreno, E., Zafra-Rojas, Q. Y., Hernandez-Traspena, J. L. . . . Suarez-Jacobo, A. (2022). Optimization of antioxidant activity properties of a thermosonicated beetroot (*Beta vulgaris* L.) juice and further in vitro bioaccessibility comparison with thermal treatments. *LWT Food and Science Tecnology*, 154, 112780.
- Ramos, J. A., Furlaneto, K. A., De Mendonça, V. Z., de Carvalho Mariano-Nasser, F. A., Lundgren, G. A., Fujita, E. . . . Vieites, R. L. (2017). Influence of cooking methods on bioactive compounds in beetroot. *Semina: Ciências Agrárias*, 38(3), 1295-1301.
- Ravichandran, K., Saw, N. M. M. T., Mohdaly, A. A., Gabr, A. M., Kastell, A., Riedel, H. . . . Smetanska, I. (2013). Impact of processing of red beet on betalain content and antioxidant activity. *Food Research International*, 50(2), 670-675.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. ve Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10), 1231-1237.
- Rodriguez-Amaya, D. B. (2019). *Natural food pigments and colorants*. (Der.), In Bioactive Molecules in Food içinde (ss. 867-901). Springer.
- Ryan, L. A. M., Dal Bello, F. ve Arendt, E. K. (2008). The use of sourdough fermented by antifungal LAB to reduce the amount of calcium propionate in bread. *International Journal of Food Microbiology*, 125(3), 274-278.
- Sawicki, T., Bączek, N. ve 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.
- Sediyama, M. A., Santos, M. R., Vidigal, S. M. ve Salgado, L. T. (2011). Produtividade e exportação de nutrientes em beterraba cultivada com cobertura morta e adubação orgânica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15, 883-889.

- Selomulyo, V. O. ve Zhou, W. (2007). Frozen bread dough: Effects of freezing storage and dough improvers. *Journal of Cereal Science*, 45(1), 1-17.
- Shahidi, F. ve Zhong, Y. (2015). Measurement of antioxidant activity. *Journal of Functional Foods*, 18, 757-781.
- Shih, C. C. ve Wiley, R. C. (1982). Betacyanine and betaxanthine decolorizing enzymes in the beet (*Beta vulgaris* L.) root. *Journal of Food Science*, 47(1), 164-166.
- Spada, P. D., de Souza, G. G. N., Bortolini, G. V., Henriques, J. A. ve Salvador, M. (2008). Antioxidant, mutagenic, and antimutagenic activity of frozen fruits. *Journal of Medicinal Food*, 11(1), 144-151.
- Stintzing, F. C. ve Carle, R. (2006). Cactus fruits-more than colour. *Fruit Processing*, 16, 166-171.
- Stintzing, F. C. ve Carle, R. (2004). Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. *Trends in Food Science and Technology*, 15(1), 19-38.
- Stintzing, F. C., Herbach, K. M., Mosshammer, M. R., Carle, R., Yi, W., Sellappan, S. ve Felker, P. (2005). Color, betalain pattern, and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia* spp.) clones. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(2), 442-451.
- Strack, D., Vogt, T. ve Schliemann, W. (2003). Recent advances in betalain research. *Phytochemistry*, 62(3), 247-269.
- Sutor-Świeży, K., Antonik, M., Proszek, J., Nemzer, B., Pietrzkowski, Z., Popenda, Ł. . . Wybraniec, S. (2022). Dehydrogenation of betacyanins in heated betalain-rich extracts of red beet (*Beta vulgaris* L.). *International Journal of Molecular Sciences*, 23(3), 1245.
- Şimşek, A. (2019). Kırmızı pancar (*Beta Vulgaris* L.) betalainleri üzerine termal destekli ultrasonik ekstraksiyonun etkisi. *Gıda Teknolojisi*, 44(2), 318-327.
- Takács-Hájos, M. ve Vargas-Rubóczki, T. (2022). Evaluation of bioactive compounds in leaf and root of five beetroot varieties. *Journal of Agriculture and Food Research*, 7, 100280.
- Tanaka, Y., Sasaki, N. ve Ohmiya, A. (2008). Biosynthesis of plant pigments: anthocyanins, betalains and carotenoids. *The Plant Journal*, 54(4), 733-749.
- Thiruvengadam, M., Chung, I. M., Samynathan, R., Chandar, S. H., Venkidasamy, B., Sarkar, T. . . . Simal-Gandara, J. (2022). A comprehensive review of beetroot (*Beta vulgaris* L.) bioactive components in the food and pharmaceutical industries. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-33.

- Topal, F. (2014). *Bazı eugenol türevlerinin sentezi ve biyolojik aktivitelerinin belirlenmesi*, Doktora tezi, Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (361157).
- Topal, F., Nar, M., Gocer, H., Kalin, P., Kocyigit, U. M., Gülçin, İ. . . Alwasel, S. H. (2016). Antioxidant activity of taxifolin: an activity–structure relationship. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 31(4), 674-683.
- Topal, M., Ozturk Sarıkaya, S. B. ve Topal, F. (2021). Determination of angelica archangelica's antioxidant capacity and mineral content. *Chemistry Select*, 6(31), 7976-7980.
- URL-1 (2022). <https://i.stack.imgur.com/PokCt.png>, 15 Ocak 2023.
- Uylaşer, V. ve Başoğlu, F. (2011). *Temel gıda analizleri*. Dora Yayınları.
- Vaitkevičienė, N., Sapronaitė, A. ve Kulaitienė, J. (2022). Evaluation of proximate composition, mineral elements and bioactive compounds in skin and flesh of beetroot grown in lithuania. *Agriculture*, 12(11), 18-33.
- Yen, G. C. ve Chen, H. Y. (1995). Antioxidant activity of various tea extracts in relation to their antimutagenicity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(1), 27-32.
- Yıldız, Ö. Ü. G. ve İzli, G. (2020). *Gıdaların kurutulmasında mikrodalga ve sıcak hava yöntemleri*. İksad Yayınları.
- Zin, M. M., Nagy, K., Bánvölgyi, S., Abrankó, L. ve Nath, A. (2022). Effect of microwave pretreatment on the extraction of antioxidant-rich red color betacyanin, phenolic, and flavonoid from the crown of Cyllindra-type beetroot (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Food Process Engineering*, 45(12), e14175.

ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul’da tamamladı. 2013 yılında başladığı Giresun Üniversitesi Şebinkarahisar Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu Gıda Teknolojisi bölümünden 2017 yılında mezun oldu. 2019-2020 Eğitim-Öğretim yılında Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı ve yüksek lisans öğrenimine halen devam etmektedir. Evli ve bir kız çocuk annesidir.

